กลุ่มที่ 1

Quality Engineering and Management

การควบคุมความชื้นของไม้ยางพาราโดยใช้การวิเคราะห์และออกแบบการทดลอง

Moisture controlling of rubber wood by Experimental Design and Analysis

จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์^ สุภฤษ ภัทรสิรินาถ นรินทร์ แสนสุข
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000 E-mail : j_pen2000@hotmail.com^
Chanpen Anurattananon^ Supakit Pattarasirinaht Narin Saensuk
Department of Industrial Engineering and Management , Faculty of Engineering and Industrial Technology , Silpakorn University , Amphor Muang , Nakornpathom 73000
E-mail : j_pen2000@hotmail.com^

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาในการอบไม้ยางพาราอบแห้ง โดยศึกษาอุณหภูมิที่ใช้อบและขนาดของไม้ยางพาราที่มีผลต่อความชื้นของเนื้อไม้ โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอนหลักดังนี้ 1) ศึกษาการผลิตไม้ยางพารา 2) ศึกษาความชื้นของไม้ยางพาราและวิธีการลดความชื้นของไม้ยางพารา 3) ศึกษาตู้อบที่ใช้ในการอบไม้ยางพารา 4) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์และเป็นแนวทางในการเก็บข้อมูลการลดความชื้นในไม้ยางพาราที่อุณหภูมิต่างกันแต่ระยะเวลาในการอบเท่ากัน โดยใช้อุณหภูมิในการทดลอง 3 ระดับ คือ ที่อุณหภูมิ 80 , 85 และ 90 องศาเซลเซียส และใช้ขนาดของไม้ยางพารา 3 ขนาด คือ ขนาดไม้ยางพารา 1 ,1.5 และ 2 นิ้ว โดยจะเก็บข้อมูลซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง 5) วางแผนในการเก็บข้อมูล และทำการเก็บข้อมูลความชื้นของไม้ยางพารา 6) วิเคราะห์ผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลบันทึกผลของไม้ 7) สรุปผลการทดลอง ผลที่ได้คือที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้อบ และขนาดของไม้ยางพารามีผลต่อค่าความชื้นของไม้ยางพารา โดยระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ให้ความชื้นต่ำที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้ขนาดไม้ยางพารา 2 นิ้ว ซึ่งค่าความชื้นของไม้ยางพาราที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานของโรงงานที่กำหนดไว้

คำหลัก ยางพารา ความชื้น การวิเคราะห์และออกแบบทดลอง

Abstract

This research had purpose to reduce drying time for drying rubber wood by studying drying temperature and size of rubber wood that affect moisture of rubber wood. The operating procedure of this research was as follow, 1.)To study production process of rubber wood. 2.)To study moisture of rubber wood and how to reduce the moisture of the wood. 3.)To study about rubber wood drying machine. 4.)To study theories about reducing moisture of rubber wood at different temperature and time to dry the wood. Temperature used for experiment were 80 , 85 and 90 degrees Celsius. Size of rubber woods used for experiment were 1 ,1.5 and 2 inch, for three replicates. 5.)To plan for collecting moisture of rubber wood at each experiment. 6.)To analyze result of data collected. 7.)To summarize the experimental results. The result was showed that drying temperature and size of wood affected the moisture of rubber wood. The appropriate level of factors which made minimum moisture of rubber wood was at drying temperature of 90 degrees Celsius using size of 2-inch rubber wood. This level of factors can reduce moisture of rubber wood more than factory moisture standard.

Keywords: rubber wood , moisture , Experimented Design and Analysis

1.บทนำ

ไม้ยางพารา นับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญยิ่งของประเทศ สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากมาย เช่น การก่อสร้างที่ต้องการความสวยงามของไม้ ทำเฟอร์นิเจอร์ลังใส่ของ หรือแม้แต่ผลิตภัณฑ์ขนาดเล็ก เช่น ก้านไม้ขีดไฟ เป็นต้น แต่ในที่นี้การวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับด้านอุณหภูมิ และระยะเวลาต่าง ๆ ที่มีผลต่อความชื้นของเนื้อไม้ ดังนั้นอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพารา จึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว มีผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นที่นิยมทั้งในและต่างประเทศ อย่างไรก็ตามไม้ยางพารานับเป็นทรัพยากรที่มีความทนทานตามธรรมชาติต่ำ ถูกทำลายด้วยแมลง มอด และรา ได้ง่ายรวมถึงเป็นไม้ที่มีปริมาณแป้งและน้ำตาลสูง จึงกลายเป็นอาหารของพวกแมลงและเชื้อรา ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมไม้ยางพารา การป้องกันการผุพังจากการเข้าทำลายของแมลง เชื้อรา และศัตรูทำลายไม้อื่นๆ ด้วยการนำสารประเภทกำจัดเชื้อราและแมลงเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของไม้ โดยการใช้น้ำยาเคมีซึ่งเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันรักษาเนื้อไม้ให้แทรกซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้มากที่สุด และคงทนติดกับเนื้อไม้โดยการอัดน้ำยาด้วยแรงดันซึ่งจะช่วยให้น้ำยาเข้าไปในเนื้อไม้ได้ลึก และทั่วถึงภายในเวลาอันรวดเร็ว หากน้ำยาสามารถซึมเข้าไปถึงใจกลางไม้ได้จะเป็นการป้องกันที่ดีที่สุด ผลจากการอัดน้ำยาทำให้ไม้ยางพารามีความชื้นสูง จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการอบไม้ก่อนที่นำเข้าสู่กระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมความชื้นของไม้ยางพารา
2. เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมความชื้นของไม้ยางพารา
3. เพื่อควบคุมความชื้นของไม้ยางพาราและลดระยะเวลาในการอบไม้ยางพาราอบแห้ง

3. วิธีการวิจัย

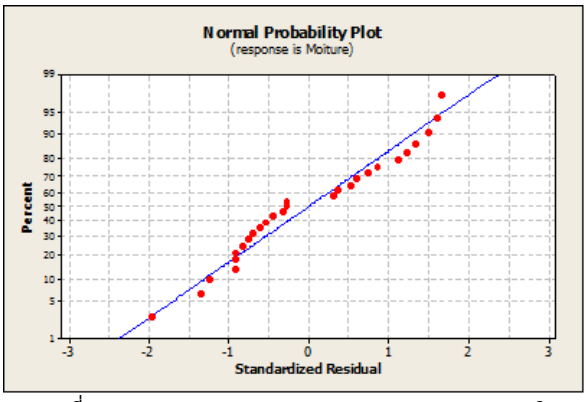
3.1 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น
3.2 สำรวจข้อมูลพื้นฐานและเก็บข้อมูล
3.3 ออกแบบตารางการเก็บข้อมูลความชื้นของไม้
3.4 ปรับเปลี่ยนวิธีการเก็บข้อมูลความชื้นของไม้
3.5 เก็บข้อมูลความชื้นของไม้
3.6 วิเคราะห์ผลที่ได้
3.7 ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ไม้เสียจากกระบวนการอบ
3.8 พัฒนาปรับปรุงกระบวนการอบไม้ยางพารา
3.9 ทดลองนำไปใช้งาน
3.10 เปรียบเทียบผลจากการอบแบบเดิมกับการอบแบบที่ได้ปรับปรุงแล้ว
3.11 กำหนดมาตรฐานการทำงาน
3.12 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษา ใช้แบบแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ โดยใช้ปัจจัยอุณหภูมิอบแห้ง 3 ระดับคือที่อุณหภูมิ 80 , 85 และ 90 องศาเซลเซียส และขนาดของไม้ยางพาราที่ 1 , 1.5 และ 2 นิ้ว โดยใช้จำนวนซ้ำ 3 ซ้ำ มีจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 27 ตัวอย่าง

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์การทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (General Full Factorial)

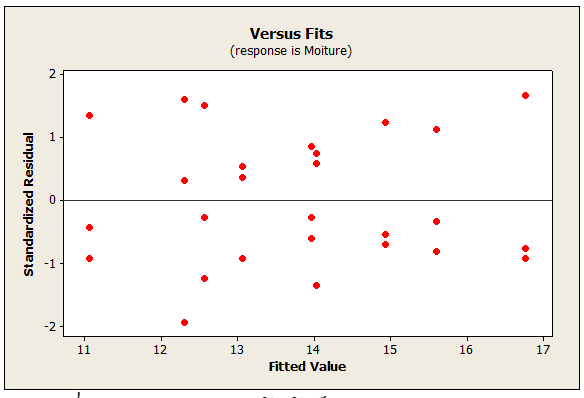
1) ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 1 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ

จากรูปที่ 1 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวใกล้เส้นตรงหรือข้อมูลถูกลากผ่านได้โดย เส้นตรง ซึ่งแสดงว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นมีการแจกแจงแบบปกติ

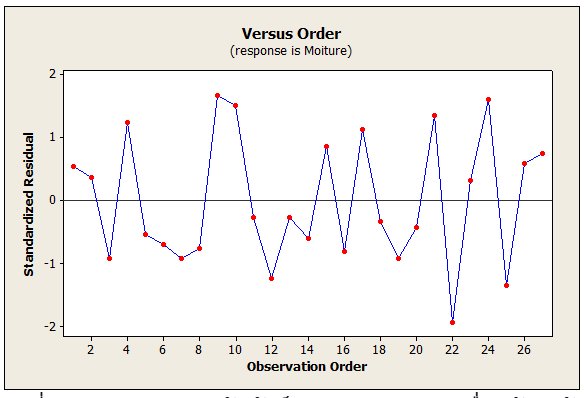
2) ผลการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและค่าพยากรณ์

จากรูปที่ 2 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอรอบเส้นกึ่งกลางศูนย์ และไม่มีลักษณะรูปแบบคล้ายลำโพง (Megaphone) แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนคงที่

3) ผลการตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าคลาดเคลื่อน



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความคลาดเคลื่อนกับลำดับที่ของการทดลอง

จากรูปที่ 3 พบว่า จุดของข้อมูลกระจายตัวรอบเส้นกึ่งกลางศูนย์ และไม่มีลักษณะ ของแนวโน้มหรือมีรูปแบบอย่างชัดเจน แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแปรสุ่มอิสระไม่มี สหสัมพันธ์ (Correlation) ต่อกัน

4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

General Linear Model: Moisture versus Temperature, size

```
Factor       Type   Levels  Values
Temperature  fixed       3  80, 85, 90
size         fixed       3  1.0, 1.5, 2.0


Analysis of Variance for Moisture, using Adjusted SS for Tests

Source            DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS      F      P
Temperature        2  27.8689  27.8689  13.9344  24.34  0.000
size               2  47.1267  47.1267  23.5633  41.15  0.000
Temperature*size   4   0.5644   0.5644   0.1411   0.25  0.908
Error             18  10.3067  10.3067   0.5726
Total             26  85.8667


S = 0.756698   R-Sq = 88.00%   R-Sq(adj) = 82.66%
```

รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์**ความแปรปรวน**

จากรูปที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่าปัจจัยอุณหภูมิอบและขนาดของไม้ยางพาราผลต่อความชื้นของไม้ยางพาราอย่างมีนัยสำคัญ (P-Value < 0.05)

4.3 ผลการวิเคราะห์ความถดถอย

```
The regression equation is
Moisture = 33.0 - 0.244 Temperature + 1.39 X1 + 3.28 X2


Predictor        Coef  SE Coef      T      P
Constant       33.005    2.844  11.61  0.000
Temperature  -0.24437  0.03333  -7.33  0.000
X1             1.3889   0.3413   4.07  0.001
X2             3.2819   0.3525   9.31  0.000


S = 0.724107   R-Sq = 85.8%   R-Sq(adj) = 83.9%


Analysis of Variance

Source          DF      SS      MS      F      P
Regression       3  69.691  23.230  44.30  0.000
Residual Error  22  11.535   0.524
Total           25  81.226


Source       DF  Seq SS
Temperature   1  24.100
X1            1   0.133
X2            1  45.458
```

รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความถดถอย

รูปที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความถดถอย โดยตัวแปร X1 และ X2 แทนตัวแปรบ่งชี้ (Indicator Variable) ของตัวแปรขนาดของไม้ยางพารา จะเห็นได้ว่าตัวแปรอุณหภูมิ X1 และ X2 มีนัยสำคัญ

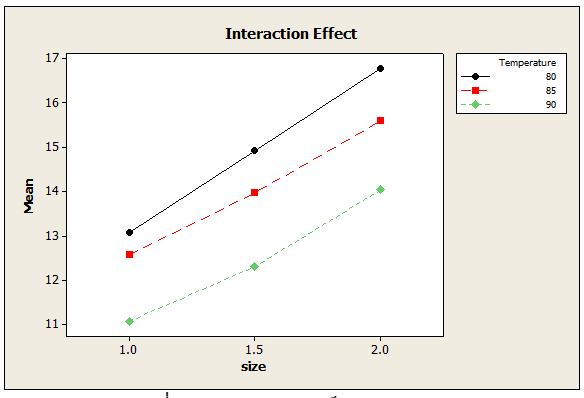
ผลการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ 3 ประการ พบว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ค่าความคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนคงที่และค่าความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแปรสุ่มอิสระไม่มีสหสัมพันธ์ (correlation) ต่อกัน แสดงได้ว่า ข้อมูลหลังจากไม่พบข้อมูลผิดปกติจากการวิเคราะห์สมการถดถอยมีความถูกต้องและเหมาะสม

หลังจากนั้นจึงได้ทำการทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งบ่งบอกว่าตัวแปรมีผลต่อความชื้นของไม้ยางพารา และเมื่อวิเคราะห์ความถดถอยพบว่า สมการประมาณค่าที่ใช้อธิบายค่าตอบสนองที่เหมาะสม คือ

$$Y = 33.0 - 0.244 *Temp + 1.39 X_1 + 3.28 X_2$$

4.4 การวิเคราะห์หาจุดเหมาะสม

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ผลต่อค่าความชื้นไม้ยางพารา



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบร่วม

จากรูปที่ 6 กราฟผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความชื้นไม้ยางพารา เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการอบไม้ยางพาราและขนาดของไม้ยางพาราที่ใช้ในการอบทดสอบ ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า ถ้าใช้อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส กับไม้ยางพาราขนาด 2” ร่วมกัน ค่าความความชื้นจะมีค่า สูง และได้ประสิทธิภาพในการใช้งานที่ต่ำ และถ้าใช้อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส กับไม้ยางพารา 2” จะได้ค่าความชื้นต่ำ ดังนั้นถ้าต้องการไม้ยางพาราที่มีคุณภาพสูง ความชื้นต่ำ ควรใช้อุณหภูมิอบที่ 90 องศาเซลเซียส กับไม้ที่มีขนาด 2 นิ้ว

4.5 ผลการทดลองเพื่อยืนยันผล

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดสอบค่าความชื้นของไม้ยางพาราของตัวอย่างทดลอง

ลำดับตัวอย่างทดอง	ค่าความชื้นของไม้ยางพารา
ไม้ท่อนที่ 1	12.1
ไม้ท่อนที่ 2	11.3
ไม้ท่อนที่ 3	11.8

เมื่อพิจารณาค่าประมาณค่าความชื้นของไม้ยางพารา โดยการแทนค่าระดับสภาวะของปัจจัยที่จุดเหมาะสมในสมการประมาณค่า (Estimated function) จะได้ว่า

$$Y = 33.0 - 0.244 *Temp + 1.39 X_1 + 3.28 X_2$$

ระดับปัจจัยที่ทาให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากหัวข้อที่ 4.5 จะสามารถแสดงการแทนค่าได้ดังต่อไปนี้

ให้ $X_1 = 0$, $X_2 = 0$ และให้ Temperature = 90 แล้วแทนค่าในสมการจะสามารถทานายค่าความชื้นของไม้ยางพาราเท่ากับ 11.04 เปอร์เซ็นต์ (%)

จะเห็นได้ว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างค่าชื้นของไม้ยางพาราที่ได้จากการทดลองกับค่าประมาณที่ได้จากสมการเป็น

$$|(12.1 – 11.04) / 11.04| \times 100\% = 9.601\ \%$$

$$|(11.3 – 11.04) / 11.04| \times 100\% = 2.355\ \%$$

$$|(11.8 – 11.04) / 11.04| \times 100\% = 6.884\ \%$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะเท่ากับ 6.28 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถยอมรับการทดลองได้

5. สรุปผลและอภิปรายผล

การทดลองนี้เป็นการหาระดับสภาวะปัจจัยที่เหมาะสมในการอบไม้ยางพารา โดยคำนึงถึงมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่กำหนด เพื่อเป็นการยืนว่าการเปลี่ยนกระบวนการอบไม้ยางพาราสามารถทำได้ โดยที่ค่าความชื้นของไม้ยางพารานั้นยังคงผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด และส่งผลพลอยได้ในการเพิ่มกำลังการผลิตจากการที่สามารถลดขั้นตอนและเวลาในการผลิตลงเนื่องจากการกระบวนการอบไม้ยางพารานั้นไม่มีขั้นตอนในการนำไม้ยางพาราออกมาเช็คค่าความชื้น แล้วนำกลับไปเข้าไปอบอีกครั้ง นอกจากนั้นยังสามารถปรับปรุงกระบวนการ

ให้มีมาตรฐาน โดยการกำหนดสภาวะปัจจัยที่เหมาะสม ส่งผลให้ควบคุมคุณภาพการอบไม้ยางพาราได้

การออกแบบการทดลองนี้มีค่าตอบสนองต่อค่าความชื้นของไม้ยางพารา โดยได้ตั้งสมมติฐานการทดลองไว้ว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการอบไม้ยางพารา และขนาดของไม้ยางพารา มีผลต่อค่าความชื้นของไม้ยางพาราหรือไม่ การทดลองนี้ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีปัจจัยและระดับปัจจัยดังนี้

1. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบไม้ยางพารา (Temperature) มี 3 ระดับปัจจัย ประกอบไปด้วย ที่อุณหภูมิ 80 ,85 และ 90 องศาเซลเซียส

2. ขนาดของไม้ยางพาราที่ใช้ในการอบทดลอง (Size) มี3 ระดับปัจจัย ประกอบไปด้วย ที่ขนาด 1,1.5 และ 2 นิ้ว โดยทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง

เมื่อได้ทำการทดสอบค่าความชื้นของไม้ยางพารา ณ ระดับสภาวะปัจจัยต่างๆ เป็นที่เรียบร้อย จึงได้นำผลการทดลองที่ได้มาตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง พบว่า ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องเหมาะสมจึงนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่กำหนดขึ้นในการทดลอง คือ ปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้อบ และขนาดของไม้ยางพาราที่ใช้ในการอบทดสอบ ล้วนมีผลต่อค่าความชื้นของไม้ยางพารา โดยปัจจัยที่เหมาะสมหรือให้ความชื้นต่ำที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้ขนาดไม้ยางพาราทดสอบขนาด 2 นิ้ว ซึ่งค่าความชื้นของไม้ยางพาราที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐานของโรงงานที่กำหนดไว้ นอกจากนั้นยังวิเคราะห์แบบจำลองถดถอย เพื่อใช้พยากรณ์ค่าความชื้นของไม้ยางพาราที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเปลี่ยนสภาวะปัจจัยได้ หรือใช้กำหนดระดับปัจจัยเพื่อให้ค่าความชื้นของไม้ยางพาราเป็นไปตามที่ต้องการ ได้สมการพยากรณ์ค่าความชื้นของไม้ยางพาราดังนี้

$$Y = 33.0 - 0.244 *Temp + 1.39 X_1 + 3.28 X_2$$

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม

7. เอกสารอ้างอิง

[1] “การใช้ประโยชน์ไม้ยางพาราในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ” “ผลการศึกษาการพัฒนาศักยภาพไม้ ยางพาราของโลก” INTERNATIONAL TRADE CENTRE UNCTAD / GATT ป 1991

[2] Montgomery, D.C. 2001. Design and Analysis of Experiments. 5th edition. The United States of America: Johnson Wiley & Sons.

[3] ฆนนัช พระพุทธคุณ และธีรเดช วุฒิพรพันธ์. (2553). การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จโดยวิธีการทดลองเชิงแฟกทอเรียล. บทความวิชาการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 21(2),ราชกิจจานุเบกษา ปี ๒๕๔๖ เล่ม ๑๒๐ ตอนพิเศษ ๖๖ ง วันที่ ๑๓ มิถุนายน ๒๕๔๖

[4] จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์. 2550. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชาการออกแบบ และวิเคราะห์การทดลอง 614433.

[5] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและ วิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: ท้อป.

[6] ป่าไม้ ,กรม ,“อัตราการเติบโตของไม้ยางพารา” 2527

[7] ปารเมศ ชุติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[8] วิจัยยาง ,สถาบัน ,กรมวิชาการเกษตรเอกสารวิชาการยางพารา , 2540

[9] วิทยางานทวี , “ศักยภาพของไม้ยางพาราที่จะเป็นอุตสาหกรรมสำคัญของประเทศไทย” ,สมาคม ธุรกิจไม้ยางพาราไทย ,2540

[10] วิรัชช พานิชวงศ์. 2546. การวิเคราะห์การถดถอย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

การหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับการกลึงแกนลูกหินขัดข้าวด้วยวิธีการทากุชิ

The Optimization for Rice Polishing Cylinder core Turning of Taguchi Method

สุรพงศ์ บางพาน*[1] พีรพันธ์ บางพาน[1] ธิติกานต์ บุญแข็ง[2] วิทยา อินทร์สอน[3] อรุณ อุ่นไธสง[4]
[*1]สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ. เชียงใหม่ 53000 E-mail: pong_pang49@yahoo.com*
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ. วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
[3]แผนกวิชาช่างโลหะการ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ อ.เมือง จ. สุรินทร์ 32000
[4]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อ. เมือง จ. สุรินทร์ 32000

Surapong Bangphan*[1], Phiraphan Bangphan[1]
Department of Industrial Technology, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology, Muang, Chiang Mai, 53000, E-mail: pong_pang49@yahoo.com*
Thitikan Boonkang[2], Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Muang, Ubon Ratchathani, 34190
Withaya Insorn[3] Department of Metal ,Surin Technical College, Muang, Surin 32000
Arun Ounthaisong[4] Faculty of Industrial Technology ,Surindra Rajabhad University, Muang, Surin, 32000

บทคัดย่อ

วิธีการทากุชิเป็นวิธีการทางสถิติเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่ดีที่สุดและเป็นการปรับปรุงคุณภาพของชิ้นส่วนประกอบในโรงงานอุตสาหกรรม วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เป็นการนำเอาตัวอย่างด้วยวิธีการทากุชิมาใช้ในการดำเนินกระบวนการกลึงหรือเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ตารางแนวฉาก ค่า S/N และการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้นำมาใช้ในการศึกษาเพื่อศึกษาถึงลักษณะสมรรถนะของการกลึง การทดลองเป็นการนำเอาเหล็กกล้าคาร์บอนสูงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 มิลลิเมตร และความยาวเท่ากับ 470 มิลลิเมตรโดยใช้มีดกลึงที่ทำจากเหล็กความเร็วรอบสูง และหาประสิทธิภาพการกลึงโดยวัดอัตราการกำจัดเศษที่ได้รับ คือค่า MRR (Material Removal Rate) ทำการกำหนดปัจจัยที่ศึกษามี 3 ตัวแปร ได้แก่ ความเร็วเพลาหมุน อัตราการป้อน และระยะการป้อนลึกจะถูกนำมาพิจารณา ซึ่งสอดคล้องกับตารางแนวฉากที่เหมาะสมในการเลือกเพื่อทำการทดลองสำหรับนำมาใช้ในงานนี้ หลังจากนำมาใช้ในการทดลองกับอัตราการกำจัดเศษทำการวัดค่าด้วยค่า S/N ที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นจำนวนสำหรับการทดลองคือ 9 รัน (Run) และหลังจากทำการทดลองและยืนยันผลการทดลองพบว่าค่า S/N ที่แสดงด้วยวิธีการทากุชิเป็นวิธีการที่มีประโยชน์ช่วยลดลงของจำนวนปัจจัยที่ทำการทดลองโดยที่ไม่มีผลกระทบใดๆต่อการทดลองนี้และยังสามารถช่วยประหยัดเวลาในการทดลองอีกด้วย

คำหลัก วิธีการทากุชิ กระบวนการกลึง ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักร การผลิต

Abstract

Taguchi Method is a statistical approach to optimize the process parameters and improve the quality of components that are manufactured. The objective of this study is to illustrate the procedure adopted in using Taguchi Method to a machining or turning process operation. The orthogonal array, signal-to-noise

ratio, and the analysis of variance are employed to study the performance characteristics on turning operation. The experiment is turning the high carbon steel sizing a diameter of 25.4 mm and a length of 470 mm by using a cutting tool made of the high speed steel. The machining efficiency is evaluated by measuring the rate of turning scrap or Material Removal Rate (MRR). In this analysis, three factors namely spindle speed; feed rate and depth of cut were considered. Accordingly, a suitable orthogonal array was selected and experiments were conducted. After conducting the experiments the scrap or Material Removal Rate (MRR) was measured and Signal to Noise ratio (S/N) was calculated. Therefore the number of experiments are 9 runs and after doing experiment and confirmation test, it shows that the Taguchi method is useful in reducing the number of factors that does not effect on this experiment and saving the experimental time.

Keywords: Taguchi method, turning process, machining parameter, production

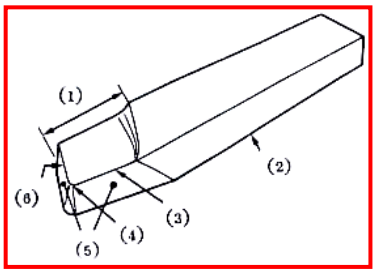
1. บทนำ

เครื่องกลึง (Turning) เป็นเครื่องจักรที่ทำงานโดยจับยึดชิ้นงานให้แน่นและชิ้นงานหมุนเพื่อทำการตัดเฉือนโลหะชิ้นงานที่ถูกตัดเฉือนด้วยเครื่องกลึงซึ่งจะเคลื่อนที่ไปตามความยาวของชิ้นงานที่ทำการตัดเฉือน การกลึงตัดเฉือนประกอบด้วย การกลึงปาดหน้า ลบคม กลึงปอก กลึงเกลียว ตลอดจนการเจาะชิ้นงานบนเครื่องกลึงเป็นต้น ซึ่งต้องอาศัยความเร็วรอบ อัตราการป้อน และความลึกในการตัดเฉือน รวมทั้งน้ำหล่อเย็นที่ช่วยให้การกลึงมีประสิทธิภาพ เครื่องกลึงจึงนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถทำการผลิตได้หลากหลายรูปแบบส่วนเครื่องกลึงที่ใช้ในการทดสอบหาประสิทธิภาพดังแสดงในรูปที่ 1

1.1 มีดกลึง (Cutting Tool)

มีดกลึงที่ใช้งานโดยทั่วไป จะทำมาจากเหล็กเครื่องมือ (Tool steel) ที่ต้องทนความร้อนได้สูง มีความเหนียว มีความแข็ง ตัวอย่างเช่น เหล็กรอบสูง (High speed steel) ทังสเตนคาร์ไบต์ (Carbide tip) หรือเซรามิก (Ceramic) เป็นต้น รูปร่างลักษณะมีดกลึงที่ทำจากเหล็กรอบสูงจะมีทั้งชนิดที่เป็นแท่งใหญ่ไม่ต้องใช้ด้ามจับ ในขณะทำงานและแท่งขนาดเล็กต้องอาศัยด้ามจับขณะทำงาน แต่ในงานวิจัยนี้จะเลือกมีดกลึงชนิดเป็นแท่งใหญ่ไม่ต้องใช้ด้ามจับที่ทำจากวัสดุเหล็กรอบสูง (High speed steel) ดังแสดงในรูปที่ 2 ส่วนรูปที่ 3 ตัวอย่างการกลึงปอกชิ้นงานด้วยมีดกลึงคมตัดขวา (Right hand tool)

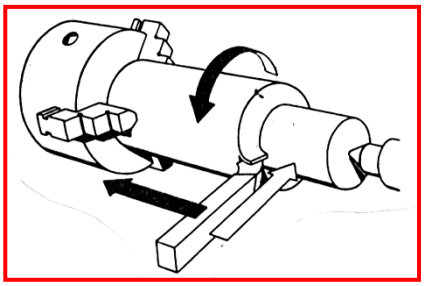
รูปที่ 1 เครื่องกลึงที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพการทดสอบ [1]



รูปที่ 2 ส่วนต่าง ๆ ของมีดกลึงปอกขวา [1]

รูปร่างและลักษณะต่างๆ ของมีดกลึงอธิบายตามหมายเลขดังนี้

1.ความยาวคมตัด
2.ลำตัว
3.คมตัดหลัก
4.ปลายคมตัด
5.มุมหลบหรือมุมฟรีของคมตัด
6.ผิวข้างคมตัดรอง



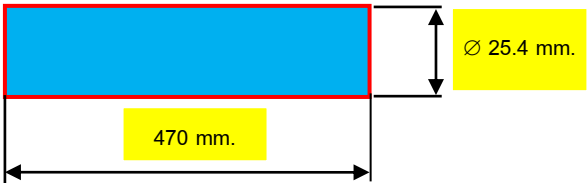
รูปที่ 3 ตัวอย่างการกลึงปอกขวา [1]

ในการกลึงประกอบด้วยความเร็ว และการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดเฉือนที่เป็นลักษณะเฉพาะของค่าพารามิเตอร์ทั้งหลาย ค่าพารามิเตอร์ที่ถูกเลือกสำหรับแต่ละพื้นฐานในการทำงานจะขึ้นอยู่วัสดุที่นำมาทำชิ้นงาน วัสดุ ขนาดเครื่องมือและค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการกลึง ค่าพารามิเตอร์ในการกลึงชิ้นงานมีผลกระทบต่อกระบวนการปฏิบัติงานดังเช่น [1],[2]

1. ความเร็วในการตัด ความเร็วของผิวชิ้นงานจะมีความสัมพันธ์มุมขอบของเครื่องมือตัดเฉือนในระหว่างทำการตัดเฉือน มีหน่วยเป็น ฟุตต่อนาที (FSM)
2. ความเร็วเพลาหมุน ความเร็วในการหมุนของเพลาหมุนกับชิ้นงาน มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (RPM) ความเร็วเพลาหมุนต้องสัมพันธ์กับความเร็วในการตัดเฉือนในขณะที่หมุนรอบของชิ้นงาน
3. อัตราการป้อน ความเร็วของเครื่องมือตัดเฉือนในการเคลื่อนที่จะมีความสัมพันธ์กับชิ้นงานตามที่ใช้เครื่องมือในการตัดเฉือน อัตราการป้อนจะทำการวัดเป็นหน่วย มิลลิเมตรต่อรอบ (mm/rev)
4. ระยะป้อนลึกความลึกสำหรับเครื่องมือระหว่างเส้นรัศมีของชิ้นงานในขณะที่ทำการตัดเฉือนของเครื่องจักร ระยะป้อนลึกขนาดความกว้างจะต้องการอัตราการป้อนที่ต่ำหรือมิฉะนั้นความลึกในการตัดเฉือนมากเกินไปของเครื่องมือจะทำให้อายุคมมีดลดลง [1],[2]

1.2 วัสดุชิ้นงานที่ทำการศึกษา

วัสดุที่นำมาทำชิ้นงานจะเลือกเหล็กเหนียวสำหรับทำการทดลองเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดต่ออัตราการกำจัดเศษ (Material removal rate, MRR) โดยที่วัสดุชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างขนาดชิ้นงานที่จะทำการกลึงปอก

1.3 อัตราการกำจัดเศษ (material removal rate, MRR)

อัตราการกำจัดเศษ (MRR) เป็นการวัดค่าจากก่อนและหลังน้ำหนักของชิ้นงานจะใช้ในการคำนวณและความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกำจัดเศษหาได้ดังนี้

$$\frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย}}{\text{เวลาที่ใช้การผลิต}} \qquad (1)$$

MRR คือการคำนวณค่าที่ได้จากการทดลอง ส่วนการพิจารณาปรับแก้ไขด้วยอัตราส่วน S/N จะใช้โปรแกรม Minitab release 15.00 มาช่วยในการคำนวณ

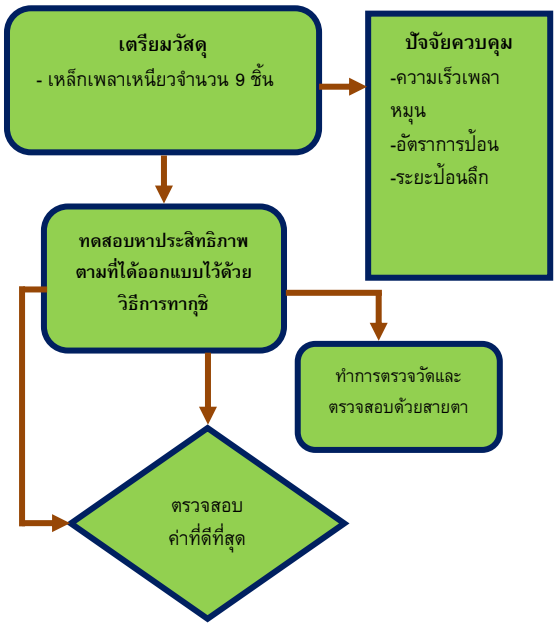
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเอาเทคนิควิธีการทากุชิมาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อทำการตรวจสอบอัตราการนำเอาเศษวัสดุออกจากชิ้นงานจากเหล็กเหนียว (แกนเพลาลูกหินขัดข้าว) ที่นำมาทดสอบโดยทดสอบกับมีดกลึงที่ทำมาจากวัสดุเหล็กรอบสูง โดยปัจจัยที่ควบคุมได้แก่ ความเร็วเพลาหมุน อัตราการป้อนและระยะป้อนลึกเพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้กับกระบวนการกลึงชิ้นงานด้วยเครื่องกลึงที่ใช้ในการผลิต

การออกแบบการทดลองโดยวิธีการทากุชิ เป็นการประยุกต์การออกแบบการทดลอง ปัจจัยควบคุม(Control Factor) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factor) หรือ Noise Factor ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ยังเป็นแหล่งของความผันแปรอีกด้วย ซึ่งอิทธิพลที่เกิดจากตัวแปรเหล่านี้ไม่สามารถที่จะกำจัดได้ เพราะฉะนั้นหน้าที่หลักของวิธีการทากุชิ คือการลดความผันแปรของผลิตภัณฑ์ โดยทำการเลือกปรับปัจจัยควบคุม (Control Factor) ผลการทดลองข้อมูลดิบจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนของ Signal to Noise (S/N Ratio) ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในการหาเป้าหมายที่ถูกต้องเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (Optimize) โดยที่คุณลักษณะของ S/N Ratio สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ Small – the – Better Type

Problem, Nominal – the – Best – Type Problem และ Larger – the – Better Type Problem และประโยชน์ที่ได้จากวิธีการทากุชิเป็นการช่วยลดจำนวนของการทดลอง ทำให้ประหยัดเวลา และ ต้นทุนในการทดลอง ช่วยทำให้การทดลองง่ายสะดวกยิ่งขึ้น และให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าเชื่อถือได้ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเชื่อมั่นมากขึ้น [1],[3]

2. วิธีการดำเนินการทดลอง

2.1 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทดสอบของกระบวนการกลึงเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดด้วยวิธีการทากุชิ [1]

2.1.1 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา

เมื่อผู้ออกแบบการทดลองทราบจำนวนของปัจจัยควบคุม (Control factor) และระดับของปัจจัยควบคุม (Control factor level) ที่ได้ออกแบบไว้ โดยนำค่าทั้งสองนี้มาทำการพิจารณาเลือกใช้ชนิด Orthogonal array การใช้ Orthogonal array ซึ่งจะทำให้สามารถหาอิทธิพลของปัจจัยที่มีหลายปัจจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพในการกำหนดปัจจัยควบคุมหรือตัวแปรที่ได้ออกแบบไว้ใน Orthogonal array อย่างเหมาะสม ดังขั้นตอนต่อไปนี้ [1]

พิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการกลึงด้วยเครื่องกลึงประกอบด้วย 3 ตัวแปร 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนตัวแปรที่ไม่ต้องการศึกษาจะต้องกำหนดวิธีการควบคุมตัวแปรเพื่อให้ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยภายนอก เกิดขึ้นน้อยที่สุดเช่น อุณหภูมิภายนอกและสถานที่ทำการทดลองตลอดจนผู้ปฏิบัติงาน เป็นต้น [1]

ตารางที่ 1 ปัจจัยและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง [1]

ปัจจัยควบคุม	ระดับการทดลอง			MRR
	1	2	3	
ความเร็วเพลาหมุน (rev/min)	220	380	510	-
อัตราการป้อน (mm/rev)	1.033	1.147	1.392	-
ระยะป้อนลึก (mm)	0.5	0.6	0.75	-

2.2 การออกแบบการทดลองโดยวิธีการทากุชิ

วิธีการทากุชิมีขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอนคือ

1. กำหนดปัญหา 2. วางแผนการทดลอง
3. วิเคราะห์ผลลัพธ์ และ 4. ทดลองเพื่อยืนยันผล

2.2.1 วิธีการทากุชิ

วิธีทางวิศวกรรมคุณภาพเสนอโดย ทากุชิ คือเทคนิคที่มีความรู้ที่ดีเป็นการเตรียมการของวิธีการดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพและมีระบบแบบแผนสำหรับทำการศึกษาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการ ข้อกำหนดของทากุชิ คือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในช่วงระยะเวลาสัดส่วนของเสียโดยผลิตภัณฑ์บางสิ่งบางอย่างที่สูญเสียซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้จนกระทั่งเกิดความเบี่ยงเบนสำหรับคุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่เป็นความต้องการสำหรับค่าเป้าหมายของวิธีการทากุชิและถูกเรียกว่าความสูญเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จนถึงค่าที่เบี่ยงเบน ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายนั้นๆ ถูกเรียกว่าปัจจัย Noise ที่มีอยู่ภายในและภายนอก สามารถทำการศึกษาผลกระทบของหนึ่งปัจจัยภายใต้ผลลัพธ์ การรวมเอาปัจจัยหลายๆตัวที่ดีที่สุดจึงถูกนำมาพิจารณา [4]

ทากุชิได้เสนอ 8 ขั้นตอนมาตรฐานดังนี้

1. จำแนกการดำเนินงานหลัก ซึ่งอาจจะส่งผล

กระทบข้างเคียงและโหมดความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

2. จำแนกปัจจัย Noise ภายใต้เงื่อนไขของการทดสอบ และลักษณะเฉพาะของคุณภาพ

3. จำแนกเป้าหมายของการดำเนินงานจนได้ค่าที่ดีที่สุด

4. จำแนกปัจจัยควบคุมและระดับต่างๆ

5. เลือก การทดลองเมตริกซ์แบบ Orthogonal array

6. ดำเนินการทดลองแบบเมตริกซ์

7. วิเคราะห์ข้อมูล ทำนายผลในระดับที่คาดหวังและสมรรถนะขบวนการที่ดีที่สุด

8. ดำเนินการทดลองเพื่อพิสูจน์ความจริงและวางแผนการดำเนินงานในอนาคต [5]

2.2.2 นิยามของวิธีการทากุชิ (Definition Taguchi Method)

ทากุชิเป็นการคิดวิธีใหม่โดยการดำเนินการออกแบบทดลองซึ่งเป็นพื้นฐานการแนะนำในข้อจำกัดที่ดี วิธีการทากุชิใช้การจัดลำดับแบบพิเศษเรียกว่า ลำดับของ Orthogonal มาตรฐานการจัดลำดับเป็นการกำหนดที่เป็นแนวทางการดำเนินงานของจำนวนตัวเลขที่มีค่าน้อยสุดสำหรับการทดลองซึ่งสามารถกำหนดให้ข้อมูลมีความละเอียดมากสุดของปัจจัยทั้งหมดที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของค่าพารามิเตอร์เหล่านั้น [6]

2.3 การคำนวณ

หลังจากเลือกข้อมูลทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยสำหรับการคำนวณด้วยอัตราส่วน S/N อัตราส่วน S/N เป็นความเข้าใจทางด้านคุณภาพมุ่งเน้นไปที่ผลกระทบสำหรับการเปลี่ยนแปลงโดยค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการในสมรรถนะของกระบวนการหรือผลผลิตที่ได้จากการทดลอง ซึ่งคุณลักษณะของ อัตราส่วน S/N แบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังที่กล่าวมาแล้วนั้นและในงานวิจัยนี้เลือก ปัญหาชนิด Larger – the – Better Type Problem เป็นการสมมติอัตราส่วน S/N เป้าหมายคือค่าสูงสุดของผลตอบและเป็นค่าที่เหมาะสมหาได้จากสูตรดังนี้

$$S/N_L = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum\frac{1}{y_i^2}\right) \qquad (2)$$

2.3.1 ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสม

ปัจจัยที่เหมาะสมต่อการกลึงด้วยกระบวนการกลึงสำหรับมีดกลึงที่ทำมาจากเหล็กรอบสูงกับชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้าผสมคาร์บอนสูง โดยวิธีการทากุชิ

การออกแบบการทดลองด้วยวิธี Taguchi ในการทดลองนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกลึงด้วยเครื่องกลึงกับมีดกลึงและชิ้นงานที่นำมาทดสอบ ซึ่งมีทั้งหมด 3 ปัจจัยโดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ใช้ Orthogonal array (OAs) แบบ L-9 (3^3) ทำการทดลองครั้งแรกเพื่อยืนยันผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเท่ากับ 9 รัน(Run) หรือ 9 ลำดับการทดลอง ประกอบด้วยจำนวนการทดลองที่ขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยที่กำหนดดังแสดงในตารางที่ 2 และค่าที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 L-9 (3^3) Orthogonal array

ลำดับทดลอง	ปัจจัย			MRR
1	220	1.033	0.50	-
2	220	1.147	0.60	-
3	220	1.392	0.75	-
4	380	1.033	0.60	-
5	380	1.147	0.75	-
6	380	1.392	0.50	-
7	510	1.033	0.75	-
8	510	1.147	0.50	-
9	510	1.392	0.60	-

ตารางที่ 3 Taguchi orthogonal array และผลลัพธ์ที่ได้

Job No.	A	B	C	D	E	F	G	H
1	220	1.033	0.5	14.82	295	275	20	1.350
2	220	1.147	0.6	13.75	288	271	17	1.236
3	220	1.392	0.75	10.14	289	272	17	1.677
4	**350**	**1.033**	**0.6**	**8.88**	**298**	**278**	**20**	**2.252**
5	350	1.147	0.75	9.8	290	271	19	1.939
6	350	1.392	0.5	9.99	286	267	19	1.902
7	510	1.033	0.75	9.79	277	265	12	1.226
8	**510**	**1.147**	**0.5**	**8.95**	**284**	**276**	**8**	**0.894**
9	510	1.392	0.6	7.77	290	279	11	1.416

หมายเหตุ:

A = Spindle of speed (RPM), B = Feed of rate (mm/rev)

C = Dept of cut (mm), D = Time (sec)

E = Initial weight (g), F = Final weight (g)

G = Different of weight (g) ,H = Material removal rate (MRR)

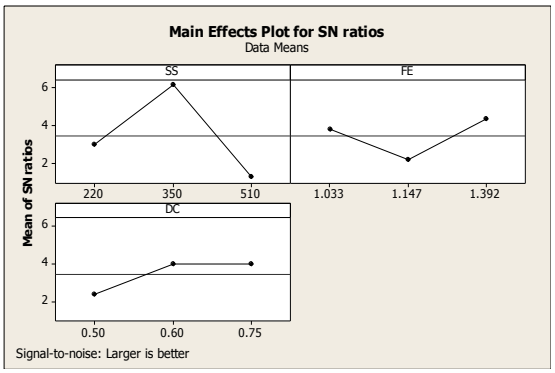
3. อภิปรายผล

3.1 ศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการกลึงด้วยเครื่องกลึงกับมีดกลึงที่ทำจากเหล็กรอบสูง

เมื่อทำการกลึงชิ้นงานด้วยเครื่องกลึงที่วัสดุทำมีดกลึงเป็นเหล็กรอบสูง และนำไปทดสอบหาประสิทธิภาพของอัตราการกำจัดเศษตามสภาวะที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีการทากุชิทั้ง 9 การทดลอง และนำชิ้นงานที่ได้มาทำการวัดเพื่อหาค่าน้ำหนักและจากการจับเวลา ส่วนเวลาในการกลึงเป็นการบันทึกโดยการจับเวลาและวัดค่าสุดท้ายของการกลึงงานทั้งหมด อัตราการกำจัดเศษ (Material removal rate, MRR) เป็นการคำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง (น้ำหนักเริ่มต้น - น้ำหนักสุดท้าย / เวลาในการกลึงหรือการผลิต) และจากการวิเคราะห์พบว่าการทดลองที่ทำให้ได้ค่าสภาวะเหมาะสมที่สุด คือ การทดลองลำดับที่ 8 โดยมีปัจจัยที่หนึ่งได้แก่ ความเร็วเพลาหมุน 510 รอบต่อนาที ปัจจัยที่สองคืออัตราการป้อนเท่ากับ 1.147 มิลลิเมตรต่อรอบและปัจจัยที่สามเป็นระยะการป้อนลึก 0.50 มิลลิเมตร ได้อัตราการกำจัดเศษน้อยที่สุดเท่ากับ 0.894 กรัมต่อวินาทีใช้เวลาน้อยสุดที่ 8.95 นาที ส่วนอัตราการกำจัดเศษสูงที่สุดอยู่ที่ลำดับการทดลองที่ 4 โดยมีปัจจัยที่หนึ่งได้แก่ ความเร็วเพลาหมุน 380 รอบต่อนาที ปัจจัยที่สองคืออัตราการป้อนเท่ากับ 1.033 มิลลิเมตรต่อรอบและปัจจัยที่สามเป็นระยะการป้อนลึก 0.60 มิลลิเมตร ได้อัตราการกำจัดเศษที่สูงที่สุดเท่ากับ 2.252 กรัมต่อวินาทีใช้เวลา 8.88 นาที ส่วนลำดับการทดลองที่เหลือของแต่ละปัจจัยแต่ละระดับดังแสดงในตารางที่ 3

3.2 การวิเคราะห์ผลลัพธ์

หลังจากหาค่าทั้งหมดที่ได้จากหุ่นจำลองสัมประสิทธิ์สำหรับอัตราส่วน S/N ดังแสดงในตารางที่ 4 ที่ได้จากการคำนวณและกราฟที่ต่างชนิดสำหรับการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab release 15.00 ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำอยู่บนพื้นฐานการวิเคราะห์ทั้งหมดด้วยวิธีการทากุชิโดยการตัดสินใจด้วยผลกระทบหลักสำหรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการ ทำการดำเนินการด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความถดถอย สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และการกำหนดเงื่อนไขค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด การวิเคราะห์ผลกระทบหลักเป็นการนำมาใช้ในการศึกษานี้แนวโน้มของผลกระทบแต่ละปัจจัยดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลกระทบของปัจจัยควบคุมสำหรับอัตราส่วน S/N

ในส่วนของการคำนวณหาสัมประสิทธิ์และการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 หุ่นจำลองสัมประสิทธิ์สำหรับอัตราส่วน S/N

Estimated model coefficients for SN ratios				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	**3.4594**	**0.2120**	**16.318**	**0.004**
SS 220	-0.4811	0.2998	-1.605	0.250
SS 350	**2.6695**	**0.2998**	**8.904**	**0.012**
FE 1.033	0.3486	0.2998	1.163	0.365
FE 1.147	-1.2531	0.2998	-4.180	0.053
DC 0.50	-1.0551	0.2998	-3.519	0.072
DC 0.60	0.5122	0.2998	1.708	0.230
S = 0.6360 R-Sq = 98.4% R-Sq(adj) = 93.5%				

จากตารางที่ 4 ผลลัพธ์สัมประสิทธิ์สำหรับอัตราส่วน S/Nn ของกระบวนการกลึงที่ระดับนัยสำคัญ 5%(0.05) คือค่า ความเร็วเพลาหมุน ที่ 350 รอบต่อนาที มีนัยสำคัญ ส่วนตารางที่ 5 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเร็วเพลาหมุนของกระบวนการกลึงที่ระดับนัยสำคัญ 5% (0.05) คือค่าความเร็วเพลาหมุนมีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัยที่เหลือไม่มีนัยสำคัญสำหรับกระบวนการกลึงในการศึกษานี้

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับอัตราส่วน S/N

Analysis of variance for SN ratios						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
SS	**2**	**36.4413**	**36.4413**	**18.2207**	**18.2207**	**0.022**
FE	2	7.5294	7.5294	3.7647	9.31	0.097
DC	2	5.0110	5.0110	2.5055	6.19	0.139
Residual Error	2	0.8090	0.8090	.4045		
Total	8	49.7907				

รูปแบบการประมาณค่าสัมประสิทธิ์สำหรับอัตราส่วน S/N ค่า P-Value ของค่าคงที่ เท่ากับ 0.004 และการปรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 93.5 % แสดงดังตารางที่ 4 ส่วนในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจาก P-Value อัตราส่วน S/N มีค่าเท่ากับ 0.022 ดังแสดงในตารางที่ 5 และสมการสัมประสิทธิ์ความถดถอยสำหรับอัตราส่วน S/N ของ % MRR คือ

% MRR = 3.4594+(SS220)(0.4811)+(SS350)(2.6695)+(FE1.033)(0.3486)+(FE1.147)(-1.2531)+(DC0.50)(-1/0551)+(DC0.60)(0.5122) (3)

4. สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้พิจารณาผลกระทบหลักในการป้อนค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการกลึงในการกลึงชิ้นงานที่ทำจากเหล็กกล้าผสมคาร์บอนสูง และมีดกลึงที่ทำจากเหล็กรอบสูงโดยใช้วิธีการทากุชินั้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือความเร็วเพลาหมุน 510 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 1.147 มิลลิเมตรต่อรอบ และระยะการป้อนลึกเท่ากับ 0.50 มิลลิเมตรทำให้ได้ร้อยละอัตราการกำจัดเศษอยู่ที่ 0.894 กรัมต่อวินาที ใช้เวลาในการกลึงน้อยสุดเท่ากับ 8.95 นาที ดังนั้นวิธีการทากุชิสามารถนำมาออกแบบกระบวนการกลึงด้วยการกลึงโดยใช้มีดกลึงที่ทำจากเหล็กรอบสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสภาวะดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาทักษะของนักศึกษาจะได้เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงกระบวนการทำงานในภาคปฏิบัติโดยเฉพาะอย่างยิ่งทักษะทางด้านการใช้เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตเช่นเครื่องกลึง ถ้าได้มีการวางแผนการทำงานที่ดีหรือศึกษาหลักการทำงานของเครื่องจักร วัสดุตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต จะช่วยลดต้นทุนการผลิต ประหยัดเวลามีความปลอดภัยในการทำงานและทำให้ของเสียมีน้อย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ให้การสนับสนุนทุนในการนำเสนอผลงานในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สุรพงศ์ บางพาน, การประยุกต์วิธีการทากุชิสำหรับกระบวนกลึงที่ดีที่สุดโดยศึกษาค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต, วารสาร วิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ, ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2557.

[2] Krishankant, Jatin Taneja, Mohit Bector, Rajesh Kumar. 2012. Application of taguchi method for optimizing turning process by the effects of machining parameters, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT); Vol. 2, No.1, October 2012.

[3] Roy, R. K. 2001. Design of experiments using 3 the Taguchi approach, John Wiley & Sons, Inc., New York. 539p.

[4] Roy, R.K., 1990. A primer on the Taguchi competitive manufacturing Series, Van Nostrand Reinhold, New York.

[5] Umass. PERLINK "http://www.ecs.umass.edu/mie/labs/fea/"http://www.ecs.umass.edu/mie/labs/fea/ Access Date : 23 February 2014.

[6] Randhir Kujar and Hatia, Ranchi. 2012. Application of Taguchi method for process parameters optimization in semi-solid forging of A356 Al-Alloy. IRACST-Engineering Science and Technology: An International Journal

(ESTIJ). ISSN: 2250-3498, Vol.2, No. 4, August 2012.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์กุนเชียงด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

Development of Chinese Sausage Product Using Quality Function Deployment

เกียรติวิทย์ สมทอง[1*] นลิน เพียรทอง[2]
[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบจ.อุบลราชธานี 34190 E-mail: kiattiwit.somthong@gmail.com*

Kiattiwit Somthong[1*]Nalin Pianthong[2]
[1,2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University
Warin Chamrap, Ubon Ratchathani, 34190 E-mail: kiattiwit.somthong@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์กุนเชียงโดยการนำแนวคิดการใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ร่วมกับการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพเป็นเครื่องมือในการหาความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์กุนเชียงจากนั้นจึงทดลองเพื่อออกแบบส่วนผสมให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า โดยการดำเนินการวิจัยเริ่มจากสร้างแบบสอบถามที่ได้จากการแปลงเสียงของลูกค้าไปสู่ช่วงเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพในเฟสที่ 1 หรือบ้านแห่งคุณภาพ เพื่อค้นหาและอธิบายความต้องการที่แท้จริงของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์กุนเชียง โดยนำมาเปรียบเทียบการผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ออกแบบส่วนผสมด้วยเทคนิค Mixture design ในแบบ Extreme Vertices เพื่อปรับปรุงรสสัมผัสให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นได้ว่าเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบการทดลองสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของผลิตภัณฑ์อาหาร (กุนเชียง) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งช่วยให้ตอบสนองความต้องการของลูกค้าอย่างตรงจุดและสร้างความพึงพอใจของลูกค้าได้ดียิ่งขึ้นด้วย

คำหลัก การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาหาร กุนเชียง

Abstract

This research is aimed to develop the Chinese sausages using Quality Function Deployment (QFD) and Design of Experiment (DOE). QFD is the tools for analyzing voice of customer. The DOE is use to analyze the ingredient ratio to conform to voice of customer. This research is started by developing the questionnaire for collecting data to QFD phase 1.Extreme Vertices Mixture Design Approach is then used to achieve the suitable ingredient ratio. The result of this study show that QFD and DOE are the effective tools to improve food product and increase the customer satisfaction.

Keywords: Quality Function Deployment, Product Development, Food, Chinese Sausage

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปยังเป็นอุตสาหกรรมอีกประเภทที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐและยังสามารถใช้วัตถุดิบในการแปรรูปที่ได้จากภายในประเทศเป็นส่วนใหญ่จึงถือว่าเป็นอีกหนึ่งประเภทในอุตสาหกรรมที่สำคัญของไทย เนื่องจากสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตจากภาคการเกษตร ทำให้ในช่วงครึ่งปีแรกของปี 2557 (มกราคม - มิถุนายน) อุตสาหกรรมอาหารแปรรูปสร้างรายได้ให้กับประเทศกว่า 5 - 6 แสนล้านบาท [1] แต่ด้วยในปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปมีการแข่งขันสูงและความต้องการของผู้บริโภคนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาสืบเนื่องจากเทคโนโลยีได้เข้ามามีส่วนร่วมในการตัดสินใจ อีกทั้งทางด้านผู้บริโภคยังเป็นผู้กำหนดทิศทางที่มีผลต่อความต่อการในด้านต่างๆของสินค้าและผลิตภัณฑ์มากขึ้นด้วย

ผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปประเภทกุนเชียงหมูเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีการแข่งขันในท้องตลาดสูงมาก เนื่องจากมีการผลิตที่หลายสูตรหลายรูปแบบตามลักษณะของท้องถิ่นและภูมิภาคนั้นๆประกอบกับในปัจจุบันทางด้านผู้บริโภคได้เริ่มใส่ใจในเรื่องสุขภาพมากขึ้น ผลิตภัณฑ์กุนเชียงจึงมีข้อเปรียบเทียบทางการตลาดในด้านต่างๆมากขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) มาใช้ในการหาความต้องการของลูกค้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปประเภทกุนเชียงหมูเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคโดยตรง

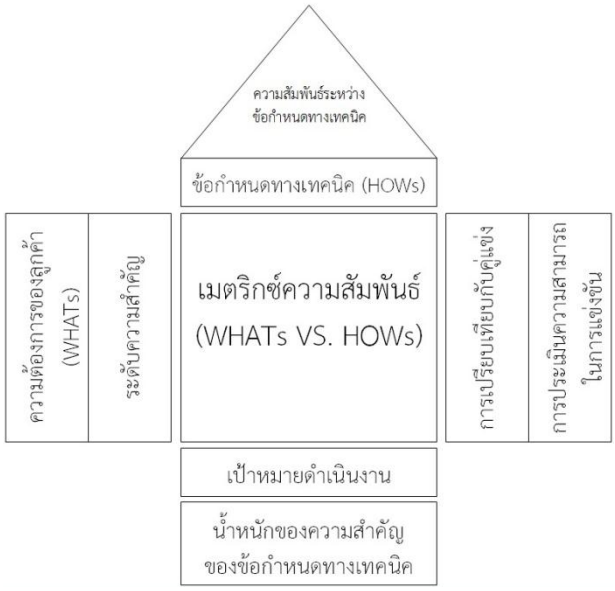
2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ที่มาของเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

เทคนิคการกระจายหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น โดย Professors Shigeru Mizuno และ Dr.Yoji Akao ได้พัฒนาวิธีการที่จะพัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามความต้องการของลูกค้าก่อนที่จะผลิตจริงซึ่งนำมาประยุกต์ใช้เป็นครั้งแรกกับผลิตภัณฑ์ถังเก็บน้ำมันที่อู่ต่อเรือของบริษัท Kobe Shipyards of Mitsubishi Heavy Industries Ltd. และในเวลาต่อมาบริษัทโตโยต้าได้นำมาประยุกต์ใช้จนกระทั่งแพร่หลาย โดยต่อมาบริษัทโตโยต้าได้บังคับให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนที่ส่งผลิตภัณฑ์เข้าบริษัทโตโยต้าทั้งหมดใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่ทางคุณภาพ เพื่อช่วยควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้ปัจจุบันนี้เทคนิคการกระจายหน้าที่ทางคุณภาพ ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ [2]

2.2 ความหมายของเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) เป็นเทคนิคทางวิศวกรรมที่ใช้สำหรับการวางพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ที่การตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป็นหลักอย่างเป็นระบบ ซึ่งจะช่วยระบุความต้องการของลูกค้าให้ชัดเจนขึ้น โดยอาศัยหลักการแปลงความต้องการของกลุ่มลูกค้าที่รวบรวมได้ด้วยเทคนิคเชิงวิศวกรรมและประเมินคุณลักษณะเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เป็นอย่างดี โดยที่คุณภาพผลิตภัณฑ์โดยรวมทั้งหมดจะเกิดจากการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย หรือความต้องการในตัวของผลิตภัณฑ์นั้นๆ และจะแสดงลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการของลูกค้าในส่วนของบ้านแห่งคุณภาพ (House Of Quality) และจะเชื่อมโยงข้อมูลเหล่านั้นไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของบ้านแห่งคุณภาพ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

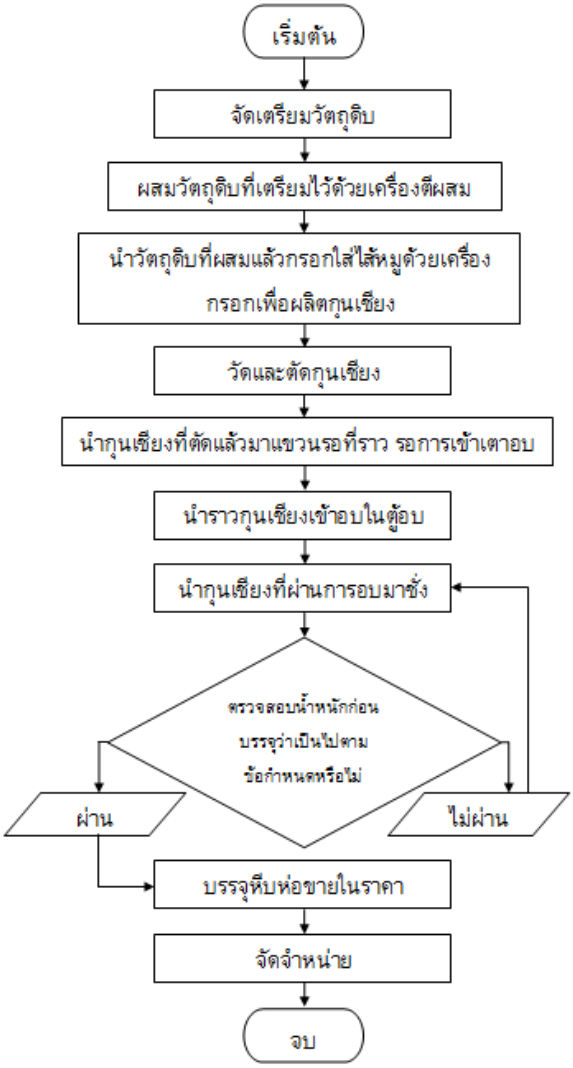
กุนเชียงหมู (Chinese Sausage) หมายถึง ไส้กรอกชนิดหนึ่งทำจากเนื้อหมูและไขมันหมู ที่นำมาบดหยาบแล้วผสมเครื่องปรุงเช่น น้ำตาล เกลือ และส่วนประกอบอื่นที่เหมาะสม เช่น เครื่องเทศและสมุนไพร ซีอิ๊ว นำไปบรรจุไส้โดยอาจหมักก่อนบรรจุ หรือไม่ก็ได้ แล้วทำให้แห้ง กุนเชียงเป็นไส้กรอกแห้งมีต้นกำเนิดจากประเทศจีน จัดเป็นไส้กรอกบดหยาบ (Coarse ground sausage) ซึ่งกุนเชียงที่จำหน่ายในท้องตลาดมีอยู่ 2 แบบ

1. กุนเชียงแบบกวางตุ้ง ซึ่งมีส่วนผสมของเนื้อแดงมาก มีไขมันน้อย ส่วนผิวนอกจะเหี่ยวย่น เมื่อจับดูจะรู้สึกค่อนข้างแห้ง มีรสเค็มมากกว่าหวาน เมื่อนำมาประกอบอาหารจะแข็งกว่าแบบอื่นๆ ราคาจะแพงกว่า
2. กุนเชียงแบบแต้จิ๋ว มีส่วนผสมของเนื้อแดงน้อยกว่าแบบกุนเชียงแบบกวางตุ้ง จึงทำให้ผิวเรียบเนียนเมื่อจับดูจะรู้สึกนุ่มมือ มีรสหวานนำเค็ม เมื่อนำมาประกอบอาหารจะไม่แข็ง ราคาถูกกว่า [3]

โดยผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทางผู้วิจัยใช้กุนเชียงในที่ผลิตในเขตจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) 5 ดาวเป็นผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา โดยเป็นผลิตภัณฑ์กุนเชียงหมูของกรณีศึกษามีส่วนผสมดังตารางที่ 1 และมีขั้นตอนการผลิตตามรูปที่ 2

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของกุนเชียงผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา

ส่วนผสม	ร้อยละโดยหนัก
เนื้อหมู	80
มันหมู	10
น้ำตาล	8
เกลือ	2
พริกไทย	1 ช้อนชา
ซีอิ๊วขาว	1 ช้อนชา



รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิตกุนเชียงของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา

3.2 สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการ

ในส่วนของขั้นตอนการสำรวจและเก็บรวบรวมความต้องการของลูกค้าจะเป็นในส่วนการสร้างแบบสอบถามเพื่อนำไปหาความต้องการของลูกค้าที่ชัดเจนมากขึ้นโดยมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1สัมภาษณ์ลูกค้า

เก็บรวบรวมเสียงเรียกร้องของลูกค้า หรือถ้อยคำของลูกค้าลูกค้า (Voice of Customer; VOC) เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์กุนเชียง ในเบื้องต้นได้ทำการกำหนดกลุ่มของลูกค้าที่เป็นเป้าหมายโดยใช้กลุ่มตัวอย่างแบบสุ่มไม่จำกัดเพศ อายุ อาชีพ ในเขตจังหวัดอุบลราชธานี

ทำการสนทนากับกลุ่มลูกค้าโดยอาศัยการสอบถามกับบุคคลที่เป็นกลุ่มเป้าหมาย โดยใช้ข้อมูลที่ได้รับจาก

การสนทนาจากกลุ่มนี้เป็นตัวออกแบบ แบบสอบถามเพื่อรวบรวมเสียงลูกค้าในลักษณะต่อไป โดยใช้กลุ่มลูกค้ากลุ่มนี้เป็นตัวแทน โดยเนื้อหาในการสนทนาจะมีอยู่ 3 หัวข้อหลักดังนี้

1 ท่านมีความคิดอย่างไรเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์กุนเชียงที่ขายทั่วไป

2 ท่านต้องการให้ผลิตภัณฑ์กุนเชียงเป็นอย่างไร/คุณลักษณะต้องหารเป็นอย่างไร

3 ในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์กุนเชียง ท่านพิจารณาจากเกณฑ์ใดบ้าง

3.2.2 การสร้างแบบสอบถาม

จากการสัมภาษณ์ลูกค้าทำให้ได้ความต้องการของลูกค้า หรือเสียงของลูกค้าที่ผ่านจากจัดเรียงแล้วทำให้ได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์กุนเชียง จึงนำมาใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโย (Affinity Diagram) เพื่อจัดหมวดหมู่ตามองค์ประกอบของลักษณะปัจจัยนั้นๆเพื่อง่ายแก่การจัดเรียงข้อมูลเพื่อสร้างแบบสอบถามหลังจากนั้นนำกลุ่มของถ้อยคำความต้องการดังกล่าวมาวิเคราะห์รวมความต้องการที่คล้ายกัน หรือซ้ำซ้อนกันเข้าด้วยกัน โดยใช้แผนผังต้นไม้ (Tree Diagram) เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาคุณลักษณะที่ซ้ำซ้อนกัน และตัดคุณลักษณะดังกล่าวออกเพื่อสร้างแบบสอบถามที่ชัดเจนไม่ซ้ำซ้อนกัน

เมื่อนำความต้องการดังกล่าวมาจัดทำแบบสอบถามเพื่อสำรวจคะแนนความสำคัญและผลต่อความพึงพอใจในแต่ละปัจจัยความต้องการเหล่านี้ ว่ามีผลต่อความพึงพอใจมากน้อยเพียงใด โดยในแบบสอบถามได้กำหนดระดับคะแนนไว้ทั้งหมด 5 ระดับคะแนน โดยในแต่ละระดับคะแนนจะตัวแสดงความสำคัญของคุณลักษณะปัจจัยและผลกระทบต่อความพึงพอใจอันนำไปสู่การตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ได้ โดยกำหนดความสำคัญของระดับคะแนนได้ดังนี้และได้ลักษณะแบบสอบถามตามตารางที่ 2

5 หมายถึง สำคัญมากที่สุดและมีผลต่อความพึงพอใจมากที่สุด
4 หมายถึง สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจมาก
3 หมายถึง สำคัญปานกลางและมีผลต่อความพึงพอใจปานกลาง
2 หมายถึง สำคัญน้อยและมีผลต่อความพึงพอใจน้อย
1 หมายถึง สำคัญน้อยที่สุดและมีผลต่อความ

ตารางที่ 2 ลักษณะปัจจัยในแบบสอบถาม

คุณลักษณะของกุนเชียง	ทางประสาทสัมผัส	มีสีสันตามธรรมชาติ
		ไม่มีกลิ่นหืน
		ขนาดพอดี
		รสชาติอร่อย
	ปริมาณ	มีปริมาณให้เลือกหลากหลาย
	ประโยชน์ต่อสุขภาพ	มีส่วนของสมุนไพร
	ได้รับมาตรฐานรับรองคุณภาพ	ผ่านมาตรฐานรับรองความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (อ.ย.)
		ผ่านมาตรฐานรับรองระบบการผลิตที่ดี (GMP)
บรรจุภัณฑ์	ฉลากและรายละเอียดของผลิตภัณฑ์	แสดงข้อมูลโภชนาการ
		แสดงข้อมูลประโยชน์ที่ได้รับจากส่วนประกอบ
		แสดงตรารับรองความปลอดภัยในการบริโภค
		มีตราสินค้าอย่างชัดเจน
		แสดงวันผลิตและหมดอายุอย่างชัดเจน
		ระบุราคาที่ชัดเจน
การตลาด	ราคา	ราคาเหมาะสมกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์
	ช่องทางในการจัดจำหน่าย	มีการประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ที่ดี
		ตั้งอยู่ในสถานที่เข้าถึงสะดวก
		ตั้งอยู่ในสถานที่ปลอดภัย
		มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวก เช่น ตะกร้า รถเข็น
		มีสุขาสะอาด

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์จากแบบสอบถาม

จากการสำรวจข้อมูลความต้องการของลูกค้าในพื้นที่เขตจังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้จำนวนแบบสอบถามทั้งหมด 100 ชุดในเบื้องต้นได้ทำการกำหนดกลุ่มของ

ลูกค้าที่เป็นเป้าหมายโดยใช้กลุ่มตัวอย่างแบบสุ่มไม่จำกัดเพศ อายุ อาชีพ สามารถหาค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ได้ดังตารางที่ 3 โดย A หมายถึงความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์กุนเชียง และ B เป็นความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์จากแบบสอบถาม

คุณลักษณะความต้องการ			A	B
คุณลักษณะของกุนเชียง	ทางประสาทสัมผัส	มีสีสันตามธรรมชาติ	3.89	3.93
		ไม่มีกลิ่นหืน	4.07	3.90
		ขนาดพอดี	3.89	3.74
		รสชาติอร่อย	4.09	3.70
	ปริมาณ	มีปริมาณให้เลือกหลากหลาย	3.85	3.84
	ประโยชน์ต่อสุขภาพ	มีส่วนของสมุนไพร	3.51	3.72
	ได้รับมาตรฐานรับรองคุณภาพ	ผ่านมาตรฐานรับรองความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (อ.ย.)	4.04	3.68
		ผ่านมาตรฐานรับรองระบบการผลิตที่ดี (GMP)	4.05	3.88
บรรจุภัณฑ์	ฉลากและรายละเอียดของผลิตภัณฑ์	แสดงข้อมูลโภชนาการ	3.86	3.80
		แสดงข้อมูลประโยชน์ที่ได้รับจากส่วนประกอบ	3.94	3.81
		แสดงตรารับรองความปลอดภัยในการบริโภค	3.88	3.60
		มีตราสินค้าอย่างชัดเจน	3.88	3.75
		แสดงวันผลิตและหมดอายุอย่างชัดเจน	4.00	3.67
		ระบุราคาที่ชัดเจน	3.93	3.78
การตลาด	ราคา	ราคาเหมาะสมกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์	3.99	3.79
	ช่องทางในการจัดจำหน่าย	มีการประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ที่ดี	3.88	3.68
		ตั้งอยู่ในสถานที่เข้าถึงสะดวก	3.85	3.68
		ตั้งอยู่ในสถานที่ปลอดภัย	3.99	3.64
		มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวก เช่น ตะกร้า รถเข็น	3.85	3.35
		มีสุขาสะอาด	3.86	3.63
ค่าเฉลี่ยรวม			3.91	3.73

จากข้อมูลในตารางที่ 3

เมื่อ μ_1 คือความต้องการของลูกค้า

และ μ_2 คือความพึงพอใจของลูกค้าต่อสินค้า

สมมติฐาน

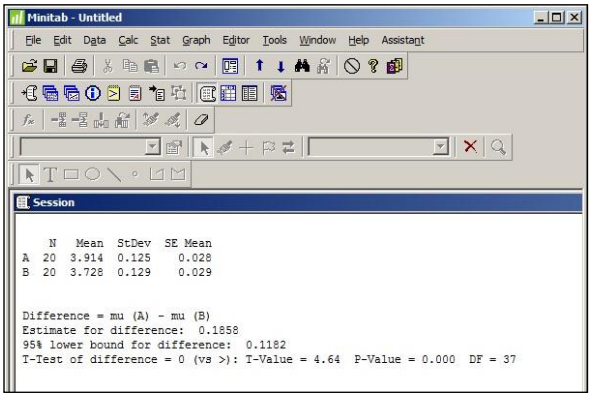
$H_0 : \mu_1 \leq \mu_2$

$H_1 : \mu_1 > \mu_2$

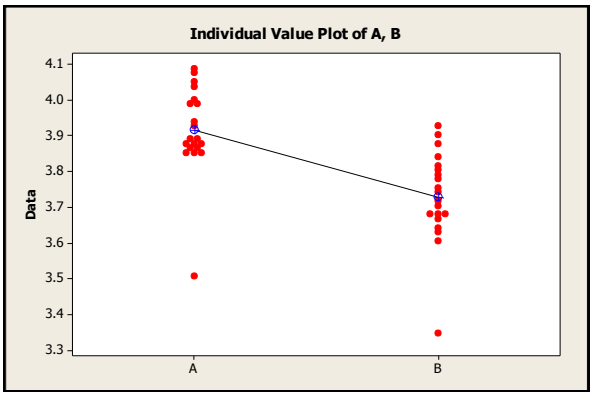
ที่ระดับนัยสำคัญที่ α = 0.05

โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Minitab R.16 จากการคำนวณได้ผลดังรูปที่ 3 และกราฟข้อมูลตามรูปที่ 4 และ 5

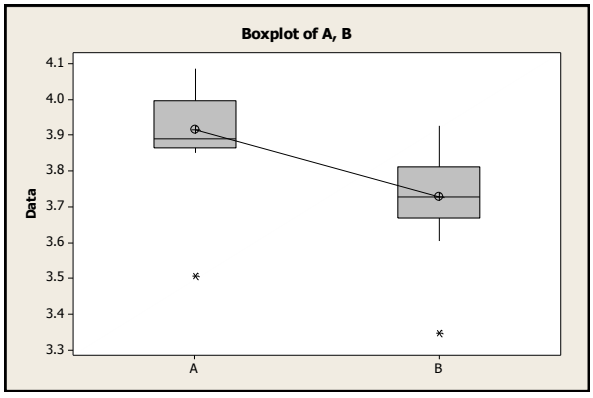
จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab R.16 ได้ค่า P-Value เป็น 0 จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก แสดงว่าความพึงพอใจมีค่าน้อยกว่าความต้องการอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 [4]



รูปที่ 3 ผลการคำนวณจากโปรแกรม Minitab R.16



รูปที่ 4 Individual Value Plot จากโปรแกรม Minitab R.16



รูปที่ 5 Boxplot จากโปรแกรม Minitab R.16

4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยบ้านแห่งคุณภาพ

จากข้อมูลการวิเคราะห์แบบสอบถามในส่วนของความต้องการของลูกค้าจากตารางที่ 3 จึงสามารถแปลงความต้องการตามแบบสอบถามให้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคกับความต้องการของลูกค้า ซึ่งลักษณะข้อมูลจะได้ออกมาตามตารางที่ 4 และสามารถสร้างบ้านแห่งคุณภาพได้ดังเช่นรูปที่ 6

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคกับความต้องการของลูกค้า

ทางประสาทสัมผัส	สี
	กลิ่น
	ขนาด
	รส
ปริมาณ	มีหลายขนาด
โถชนาการ	ผสมสมุนไพร
	วัตถุดิบ
	ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์
	ความปลอดภัยระบบการผลิต
บรรจุภัณฑ์	รายละเอียดโภชนาการ
	ชนิดของบรรจุภัณฑ์
	ตรารับรองความปลอดภัย
	ตราสินค้า
	อายุการเก็บรักษา
	แสดงราคาสุทธิ
การตลาด	ราคาจัดจำหน่ายสินค้า
	ช่องทางการจัดจำหน่าย

4.2.1ปัจจัยความต้องการที่มีผลต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์และระดับความสำคัญ

จากการวิเคราะห์แบบสอบถามที่ได้จากการสำรวจความต้องการของลูกค้า จะเห็นได้ว่าความต้องการของลูกค้าจะให้ค่าคะแนน รสชาติอร่อย ไม่มีกลิ่นหืน ผ่านมาตรฐานรับรองระบบการผลิตที่ดี (GMP) และผ่านมาตรฐานรับรองความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (อย.) เป็นความต้องการที่มีค่าคะแนนเฉลี่ยสูงสุดตามลำดับทำให้สามารถรู้สาเหตุหลักๆในการพิจารณาได้

4.2.2 เปรียบเทียบคู่แข่งและหาแนวหาพัฒนาให้ได้ตามความต้องการของลูกค้า

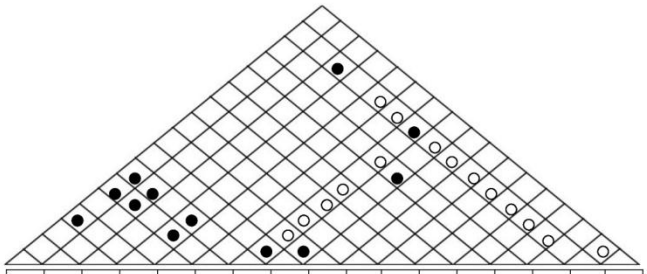
เนื่องจากใช้ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาเพียงหนึ่งกรณีศึกษาคือผลิตภัณฑ์กุนเชียงกุนเชียงในที่ผลิตในเขตจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) 5 ดาวเพื่อวางแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์จากการเก็บรวบรวบข้อมูลความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์กรณีศึกษามีค่าคะแนนเฉลี่ยที่ต่ำกว่าความต้องการของลูกค้าอย่างในทุกๆด้านอย่างชัดเจน แต่สิ่งที่ลูกค้าพึงพอใจเป็นลำดับต้นๆ ได้แก่ มีสีสันตามธรรมชาติ ไม่มีกลิ่นหืน ผ่านมาตรฐานรับรองระบบการผลิตที่ดี (GMP) ตามลำดับซึ่งเทียบเคียงกับความต้องการของลูกค้า

4.2.3เมตริกซ์ความสัมพันธ์

เป็นการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของผู้บริโภคและคุณลักษณะทางเทคนิคในส่วนเมตริกซ์ตรงกลางของบ้านคุณภาพโดยหากมีความสัมพันธ์กันมากจะใช้ตัวเลข 9 มีความสัมพันธ์ปานกลางจะใช้ตัวเลข 3 มีความสัมพันธ์น้อยใช้ตัวเลข 1 และไม่มีความสัมพันธ์จะไม่มีแทนค่า ตามรูปที่ 6

4.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางเทคนิค

เป็นส่วนที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ภายในระหว่างรายละเอียดทางเทคนิค ต่าง ๆ เป็นการนำเสนอความเหมือนกัน ความแตกต่างในเชิงเทคนิคของราย ละเอียดที่กำหนดขึ้นโดยทางผู้วิจัยใช้สัญลักษณ์แทนความหมายดังตารางที่ 5 และในรูปที่ 6



ความต้องการของลูกค้า			ค่าความสำคัญ	ค่าน้ำหนักความสำคัญ	ทางประสาทสัมผัส: สด	ทางประสาทสัมผัส: กลิ่น	ทางประสาทสัมผัส: ขนาด	ทางประสาทสัมผัส: รส	ขนาด: มีหลายปริมาณสุทธิ	ลักษณะโภชนาการ: แสดงสมุนไพร	ลักษณะโภชนาการ: วัตถุดิบ	ลักษณะโภชนาการ: ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์	ลักษณะโภชนาการ: ความปลอดภัยระบบการผลิต	บรรจุภัณฑ์: รายละเอียดโภชนาการ	บรรจุภัณฑ์: ชนิดของวรรณภัณฑ์	บรรจุภัณฑ์: ตรารับรองความปลอดภัย	บรรจุภัณฑ์: ตราสินค้า	บรรจุภัณฑ์: อายุการเก็บรักษา	บรรจุภัณฑ์: แสดงวงเวลาสุทธิ	การตลาด: ราคาจัดจำหน่ายเหมาะสม	การตลาด: ช่องทางการจัดจำหน่าย	เกณฑ์การตัดสินใจ
คุณลักษณะของกุนเชียง	ทางประสาทสัมผัส	มีสีสันตามธรรมชาติ	3.79	5.02	9						9	3										3.77
		ไม่มีกลิ่นหืน	3.93	5.20		9					9	1						1				3.75
		ขนาดพอดี	3.79	5.02			9															3.58
		รสชาติอร่อย	3.92	5.18	1	1		9			9							3				3.54
	ปริมาณ	มีปริมาณให้เลือกหลากหลาย	3.74	4.95					9											3		3.70
	ประโยชน์ต่อสุขภาพ	มีส่วนของสมุนไพร	3.26	4.32	3	3		3		9	9	1						3		3		3.54
	ได้รับมาตรฐานรับรองคุณภาพ	ผ่านมาตรฐานรับรองความปลอดภัยต่อผู้บริโภค	3.88	5.14	1	1					1	9	9			9	1			3		3.47
		ผ่านมาตรฐานรับรองระบบการผลิตที่ดี (GMP)	3.91	5.17	1	1					1	9	9			9	1			3		3.67
บรรจุภัณฑ์	ฉลากและรายละเอียดของผลิตภัณฑ์	แสดงข้อมูลโภชนาการ	3.73	4.94							3	3		3						1		3.65
		แสดงข้อมูลประโยชน์ที่ได้รับจากส่วนประกอบ	3.82	5.06							3			1			1			1		3.62
		แสดงตรารับรองความปลอดภัยในการบริโภค	3.73	4.94								9				9	1			1		3.43
		มีตราสินค้าอย่างชัดเจน	3.76	4.98										1			9			1		3.60
		แสดงวันผลิตและหมดอายุอย่างชัดเจน	3.85	5.10							1	9		1			1	1		1		3.47
		ระบุราคาที่ชัดเจน	3.77	4.99															9	1		3.62
การตลาด	ราคา	ราคาเหมาะสมกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์	3.88	5.14					9		9	3	3	1	3	1	1	1		9	1	3.61
	ช่องทางในการจัดจำหน่าย	มีการประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ที่ดี	3.74	4.95													1				3	3.48
		ตั้งอยู่ในสถานที่เข้าถึงสะดวก	3.72	4.93																	3	3.52
		ตั้งอยู่ในสถานที่ปลอดภัย	3.88	5.14																	3	3.44
		มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวก	3.75	4.96																	3	3.09
		มีสุขาสะอาด	3.67	4.86																	3	3.35
		ผลรวมของค่ากำหนดทางเทคนิค			73.63	75.25	45.18	59.58	90.81	38.88	269.2	238	108.2	35.1	15.42	142.4	80.32	43.94	44.91	135	79.66	
		ค่าน้ำหนักของข้อกำหนดทางเทคนิค (ร้อยละ)			4.67	4.78	2.87	3.78	5.76	2.47	17.08	15.11	6.87	2.23	0.98	9.04	5.10	2.79	2.85	8.57	5.06	
		อันดับ			10	9	12	11	6	15	1	2	5	16	17	3	7	14	13	4	8	

ค่าคะแนน	สัญลักษณ์	ความหมาย
0		ไม่มีความสัมพันธ์
1	1	มีความสัมพันธ์น้อย
3	3	มีความสัมพันธ์ปานกลาง
9	9	มีความสัมพันธ์มาก

สัญลักษณ์	ความหมาย
◆	มีความสัมพันธ์ทางลบมาก
◇	มีความสัมพันธ์ทางลบ
	ไม่มีความสัมพันธ์
○	มีความสัมพันธ์ทางบวก
●	มีความสัมพันธ์ทางบวกมาก

รูปที่ 6 บ้านแห่งคุณภาพ

ตารางที่ 5 สัญลักษณ์และความหมายของความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางเทคนิค

สัญลักษณ์	ความหมาย
◆	มีความสัมพันธ์ทางลบมาก
◇	มีความสัมพันธ์ทางลบ
	ไม่มีความสัมพันธ์
○	มีความสัมพันธ์ทางบวก
●	มีความสัมพันธ์ทางบวกมาก

จากการวิเคราะห์ในส่วนของบ้านแห่งคุณภาพในส่วนผลรวมของค่ากำหนดทางเทคนิคในส่วนของระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคกับความต้องการของลูกค้าและการจัดลำดับจะพบว่าสิ่งที่มีค่าความสำคัญมากที่สุดคือ วัตถุดิบ ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ ตรารับรองความปลอดภัย ราคาจัดจำหน่ายสินค้า ความปลอดภัยระบบการผลิต ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อทำตามเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ จะพบปัจจัยสำคัญที่ต้องพัฒนาเป็นอันดับแรกดังที่กล่าวมานั้นเอง

5. สรุปผลการวิจัย

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กุนเชียงนั้นมีความสำคัญมากในการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้ตรงตามความเป็นจริงในการดำเนินงานวิจัยเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) ในช่วงของเมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Productplanning หรือ HOQ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้วิธีนี้สามารถทำให้ทราบความต้องการของลูกค้าอย่างแท้จริงและหาแนวทางการแก้ไขปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ตรงความต้องการได้เป็นอย่างดี ซึ่งในงานวิจัยนี้ลำดับความสำคัญที่ต้องพัฒนาคือ วัตถุดิบ ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ ตรารับรองความปลอดภัย ราคาจัดจำหน่ายสินค้า ความปลอดภัยระบบการผลิต ตามลำดับ ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าตลอดจนตัวแทนจำหน่ายต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทผู้ผลิตผลิตภัณฑ์กุนเชียงและผู้ประกอบการ ใน จ.อุบลราชธานี ที่ได้ให้ความร่วมมือในการทดลอง และขอขอบคุณในหลายภาคส่วนที่ให้การสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือ และให้ข้อมูลในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันอาหาร. 2557. ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://fic.nfi.or.th

[2] Cohen, Lou. 2005. Quality Function Deployment : How to Make QFD Work for You. India:Pearson Education.

[3] สุนทรณ์ ฟักเฟื่อง. 2554. การใช้สำรองทดแทนไขมันในการผลิตกุนเชียง. สาขาเทคโนโลยีการอาหาร, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

[4] Montgomery, D.C. 2001. Design andAnalysis of Experiments, John Wiley and Sons,Inc., New York.

การจัดการของเสียในกระบวนการผลิตโดยใช้หลักการ 3R กรณีศึกษา: บริษัทผลิตแม่พิมพ์

Defect Management in Manufacturing Process by Using 3R Principle Case Study: Mold Manufacturer

จริษา เขตรเขื่อน พัชรีญา ก้องสูงเนิน อมรรัตน์ เงื้อมผา ณัฐนารี สุขเสกสรรค์*
ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี 25230
E-mail: natanaree.s@fitm.kmutnb.ac.th*

Jarisa Khetkhuan, Patchareeya Kongsoongnean, Amornrat Nguempha, Natanaree Sooksaksun*
Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus, Muang, Prachinburi, 25230
E-mail: natanaree.s@fitm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตถือได้ว่าเป็นต้นทุนตัวหนึ่งที่ไม่สร้างมูลค่า บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตแม่พิมพ์ซึ่งพบว่ามีของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตมากมาย แต่ของเสียเหล่านั้นไม่ได้รับการจัดการและยังไม่มีแนวทางการป้องกันการเกิดของเสีย จึงกลายเป็นต้นทุนที่ไม่เพิ่มมูลค่าในกระบวนการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการจัดการของเสียในกระบวนการผลิต โดยมีขั้นตอนคือการศึกษากระบวนการผลิตและประเภทของเสียที่เกิดขึ้น วิเคราะห์หาสาเหตุ นำเสนอแนวทางในการจัดการพร้อมทั้งนำแนวทางไปปฏิบัติ ผลจากการศึกษาพบว่าบริษัทรับรายการผลิตจากลูกค้าแล้ว จัดซื้อจัดหาวัตถุดิบทั้งในและต่างประเทศ เมื่อได้วัตถุดิบจะทำการผลิตโดยผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น กลึง เจาะ และอื่นๆ ซึ่งในระหว่างกระบวนการผลิตพบว่ามีปริมาณของเสียเกิดขึ้น ซึ่งแยกเป็นของเสียทั้งหมด 11 ประเภท จากนั้นใช้แผนภูมิพาราโตในการเลือกประเภทของเสียที่มีความสำคัญตามหลักการพาเรโต ซึ่งมี 2 ประเภท ได้แก่ 1) เศษวัตถุดิบ 2) ชิ้นงานไม่ได้ตามขนาด จากนั้นวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงโดยใช้แผนผังเหตุและผล หลังจากทราบสาเหตุที่แท้จริงแล้ว นำเสนอแนวทางการจัดการของเสียด้วยหลักการ 3R ซึ่งจะแบ่งการจัดการของเสียออกเป็น 3 ส่วน คือส่วนที่ 1 จัดการของเสียโดยใช้หลักการการลดของเสีย (Reduce) คือการหาแนวทางป้องกันไม่ให้เกิดของเสียทั้ง 2 ประเภทขึ้น โดยทำการฝึกอบรมพนักงานใหม่ มีหัวหน้างานคอยตรวจเช็คความถูกต้อง กำหนดตารางการทำความสะอาดเครื่องจักร ตรวจเช็คเครื่องหรือหัวเจาะ มีกฎในการรับผิดชอบต่อการทำให้เกิดของเสียขึ้นเป็นต้น ส่วนที่ 2 จัดการของเสียด้วยหลักการใช้ซ้ำ (Reuse) โดยจัดทำพื้นที่สำหรับเก็บของเสียที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ประเภท พร้อมทั้งแยกชนิดของเหล็ก และสร้างระบบการเบิกจ่าย ซึ่งพื้นที่จัดเก็บของเสียคือ Store 2 เพื่อให้พนักงานสามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตอีกครั้ง ส่วนที่ 3 จัดการของเสียด้วยหลักการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) คือการนำชิ้นงานทดลองประกอบมาทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อใช้ในโรงงานบางส่วน เช่น เก้าอี้ จำหน่ายบางส่วนและจัดทำเป็นของที่ระลึกสำหรับลูกค้ารายใหญ่ เช่น โคมไฟ จากการนำหลักการ 3R ไปใช้ในบริษัทกรณีศึกษา พบว่าสามารถจัดการของเสียในกระบวนการผลิตให้ลดลงได้ 24.09%

คำหลัก: หลักการ 3R, การจัดการของเสีย, แม่พิมพ์

Abstract

The defect of the manufacturing process is one of the costs that are non-value added. The case study is the mold manufacturer that has many defects in the manufacturing process. However, these defects do not have the management and do not have the prevention plan. Therefore, the objective of this research is to manage the defect in the manufacturing process. The methodologies of this research are to study the manufacturing process and type of defect, to analyze the cause, to propose the guideline of management and take action. The results show that when the manufacturer received the order, the purchasing department will order the materials both domestics and import raw materials. Next, the manufacturing process is started such as turning, drilling. In the manufacturing process, 11 types of defects were found. After that, pareto diagram is used to select the significance of defect type. There are two defect types; material scrap and improper size. Case and effect diagram is used to analyze the root cause. The guideline of the defect management is proposed by using 3R principle. The first R is to reduce the two defect types by training the new employees, checking the results by the chief, cleaning schedule for machines, inspecting the machine and cutting head. Moreover, if the process has the defect, employees will take responsibilities. The second R is to reuse the defect. The defects are separated by type of steel and stored in the warehouse. In addition, the storage and pick systems are used. The last R is the recycle. The trial assemble parts are used to produce new products for using in the factory and souvenirs for the key customer. After implement the guideline, the defects have decreased by 24.09%.

Keywords: 3R Principle, Defect management, Mold.

1. บทนำ

อุตสาหกรรมแม่พิมพ์ถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญซึ่งทำให้อุตสาหกรรมการผลิตอื่นสามารถผลิตชิ้นส่วนได้อย่างรวดเร็วเป็นจำนวนมาก มีรูปร่างและขนาดได้มาตรฐาน

บริษัทกรณีศึกษาเป็นโรงงานที่ผลิตแม่พิมพ์ ในขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์พบความสูญเสียเกิดขึ้นมากมาย เช่น ของเสียที่ไม่ได้ขนาดตามแบบ เศษวัตถุดิบที่เหลือถูกวางทั่วไป เศษโลหะที่เกิดจากทดสอบแม่พิมพ์ อย่างไรก็ตามของเสียเหล่านั้นไม่ได้รับการจัดการ ไม่มีแนวทางการป้องกัน ไม่มีการแยกประเภทของเสีย และไม่ทราบสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดของเสีย รวมทั้งทางโรงงานไม่มีการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นนั้นกลายเป็นต้นทุนที่ถูกวางทิ้งไว้ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดต้นทุนของบริษัทเพิ่มสูงขึ้น โดยทางบริษัทกรณีศึกษามีต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ของในปี พ.ศ.2557 เฉลี่ย 306,146 บาท/ชุด ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ การจัดการของเสียตามหลักการ 3Rs

2.1 หลักการ 3Rs

3Rs เป็นหลักการที่มีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย ประกอบด้วย R1-Reduce คือการลดหรือใช้น้อยเท่าที่จำเป็นหรือเป็นการลดการเกิดของเสีย R2-Reuse คือการใช้ซ้ำ R3-Recycle คือการแปรรูปมาใช้ใหม่ [1]

การจัดการของเสียตามหลัก 3Rs หมายถึงการจัดการของเสียที่ให้ความสำคัญในการลดการเกิดของเสียให้เหลือน้อยที่สุดเป็นลำดับแรก โดยมุ่งเน้นการใช้วัตถุดิบหรือทรัพยากรการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ ต่อมาเมื่อเกิดของเสียแล้วต้องพยายามหาแนวทางการนำกลับไปใช้ซ้ำหรือใช้ใหม่ให้ได้มากที่สุด โดยพิจารณาถึงศักยภาพการใช้ประโยชน์ของของเสียแต่ละประเภทและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เหลือของเสียที่จะต้องบำบัดหรือกำจัดในปริมาณน้อยที่สุด โดยเลือกใช้วิธีการกำจัดของเสียเป็นวิธีสุดท้าย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่กล่าวถึงในบทความนี้เป็นเพียงบางส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวกับหลักการ 3Rs เท่านั้น

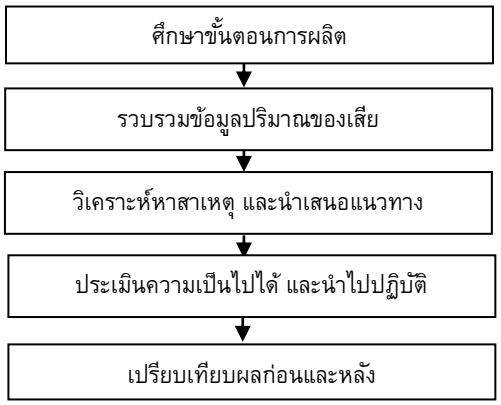
พรรณธิวา (2556) [2] ศึกษาประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้หลัก 3Rs ในการลดปริมาณมูลฝอยของภาคีประชาชนในเขตตำบลบ้านราษฎร์ จังหวัดนครราชสีมา ผลการวิจัยพบว่ามูลฝอยอินทรีย์และมูลฝอยที่มีมูลค่ามีปริมาณลดลง และจะใช้เป็นแนวทางในการลดปริมาณมูลฝอยในชุมชนอื่นต่อไป

ณัฐพงษ์ (2553) [3] ได้ศึกษาพฤติกรรมการประยุกต์ใช้หลัก 3Rs ของผู้นำชุมชนในการลดปริมาณขยะ ผลการศึกษาพบว่าจะต้องมีการจัดทำโครงการธนาคารขยะเพื่อให้ประชาชนรับทราบและตระหนักถึงปัญหาและค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะที่เพิ่มขึ้น

พีรยา (2552) [4] ได้ศึกษาการจัดการวัสดุเหลือใช้ในโรงพิมพ์ออฟเซตด้วยหลักการ 3Rs ทั้ง Reduce Reuse และ Recycle สามารถนำมาใช้จัดการวัสดุเหลือใช้ในโรงพิมพ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการดำเนินการเพื่อการศึกษาและการจัดการของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ขั้นตอนดังรูปที่ 1



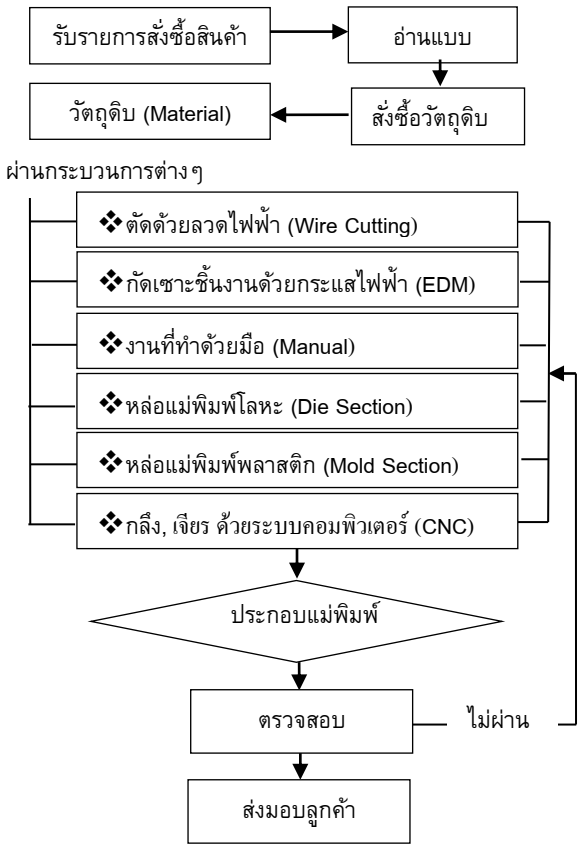
รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน เริ่มจากการศึกษาข้อมูลขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์ ตั้งแต่รับรายการผลิตจนกระทั่งถึงการส่งมอบสินค้า จากนั้นทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นเป็นเวลา 2 เดือน คือเดือนกันยายน-ตุลาคม พ.ศ.2557 โดยใช้ใบตรวจสอบ (Check sheet) เก็บข้อมูล เมื่อได้ข้อมูลแล้วนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์โดยใช้แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) เพื่อวิเคราะห์หาลักษณะของเสียที่สำคัญ และใช้แผนผังเหตุและผลเพื่อหาสาเหตุรากเหง้าที่ทำให้เกิดของเสีย พร้อมทั้งนำเสนอแนวทางการป้องกันและแก้ไขโดยใช้หลักการ 3Rs อย่างไรก็ตามแนวทางที่นำเสนอต้องมีการประเมินความเป็นได้จากผู้เชี่ยวชาญภายในบริษัทกรณีศึกษาก่อน เพื่อระดมสมองหาแนวทางที่ดีที่สุด และนำไปทดลองใช้เป็นระยะเวลา 2 เดือน คือเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม พ.ศ.2558 พร้อมทั้งเก็บข้อมูลของเสีย และทำการสรุปผลเปรียบเทียบข้อมูลของเสียก่อน-หลังการประยุกต์ใช้ 3Rs

4.ผลการดำเนินงาน

4.1 ขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์

ขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 2

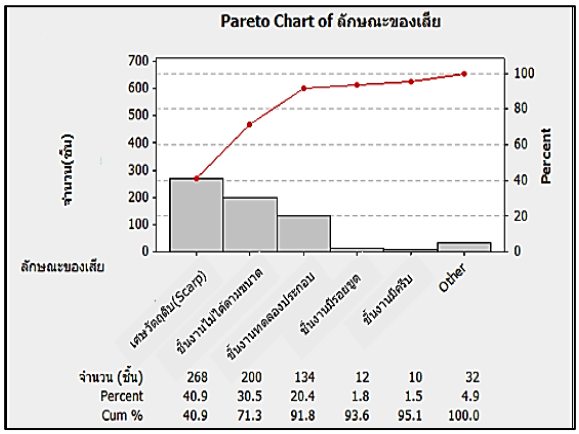


รูปที่ 2 กระบวนการผลิตแม่พิมพ์

4.2 ข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น

จากการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น พบว่ามีของเสียที่

เกิดขึ้นทั้งหมด 11 ประเภท หลังจากนั้นใช้แผนภาพพาเรโตในการวิเคราะห์หาปัญหาที่มีความสำคัญมาดำเนินการแก้ไข ดังแสดงในรูปที่ 3

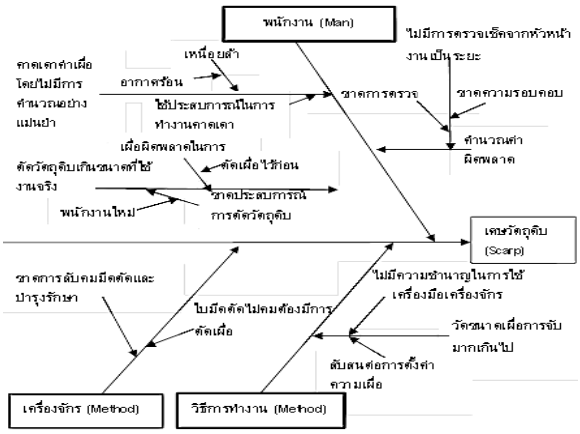


รูปที่ 3 แผนภาพพาเรโต

จากแผนภาพพาเรโตพบว่ามีของเสีย 2 ประเภทที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดตามหลักการพาเรโต ได้แก่ เศษวัตถุดิบ คิดเป็นร้อยละ 40.90 และชิ้นงานไม่ได้ตามขนาด คิดเป็นร้อยละ 30.50 ซึ่งทั้ง 2 ปัญหามีเปอร์เซ็นต์สะสมเท่ากับ 71.30 และปัญหาอื่น ๆ อีก 28.70 ดังนั้นจึงนำ 2 ปัญหาดังกล่าวข้างต้นไปทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดของเสียด้วยแผนผังเหตุและผล

4.3 ผลการวิเคราะห์สาเหตุ และนำเสนอแนวทาง

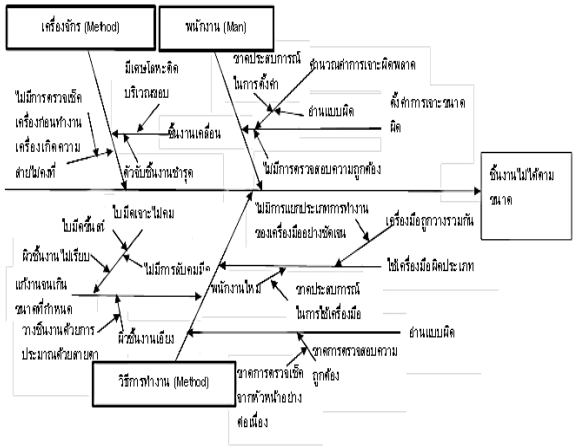
ผลจากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเศษวัตถุดิบ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเศษวัตถุดิบ (Scarp)

จากรูปที่ 4 พบว่าสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสียมาจาก 3 สาเหตุหลักคือ เกิดจากพนักงาน ได้แก่ ตัดวัตถุดิบเกินขนาดที่ใช้งานจริง คำนวณค่าผิดพลาด และคาดเดาค่าเผื่อโดยไม่มีการคำนวณอย่างแม่นยำ วิธีการทำงาน ได้แก่ วัดขนาดเผื่อการจับมากเกินไป และเครื่องจักร ได้แก่ ใบมีดตัดไม่คมต้องตัดเผื่อ

ผลจากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาชิ้นงานไม่ได้ขนาดดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาชิ้นงานไม่ได้ตามขนาด

จากรูปที่ 5 พบว่าสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสียมาจาก 3 สาเหตุหลักคือ เกิดจากพนักงาน ได้แก่ ตั้งค่าการเจาะผิดพลาด วิธีการทำงาน ได้แก่ อ่านแบบผิด ใช้เครื่องมือผิดประเภท และแก้งานจนเกินขนาดที่กำหนด เครื่องจักรได้แก่ ชิ้นงานเคลื่อน และเครื่องมีค่าความส่ายไม่คงที่

หลังจากนั้นจึงนำเสนอแนวทางในการจัดการปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตด้วยหลักการ 3Rs ซึ่งจะแบ่งการจัดการเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 จัดการของเสียด้วย Reduce ส่วนที่ 2 จัดการของเสียด้วย Reuse และส่วนที่ 3 จัดการของเสียด้วย Recycle

ก่อนนำแนวทางไปปฏิบัติต้องให้ผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ประกอบด้วย ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายผลิต หัวหน้าฝ่ายการวางแผนการผลิต หัวหน้าแผนก CNC รองหัวหน้าแผนก Die และแผนกติดต่อประสานงานกับลูกค้า มาร่วมรับฟังและร่วมกันประเมินว่า แนวทางการจัดการของเสียโดยใช้หลักการ 3Rs นั้นมีความเป็นไปได้หรือไม่ ซึ่งเป็นบุคคล

ดังกล่าวเป็นผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ทั้งสิ้นดังแสดงผลในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลแบบประเมินความเป็นไปได้ของแนวทางในการจัดการของเสียใช้หลักการ 3Rs

หัวข้อประเมิน	ความเป็นไปได้/ไม่ได้(คน)		
	ได้	ไม่ได้	เหตุผล
จัดการปัญหาเศษวัตถุดิบด้วย Reduce			
1. ฝึกอบรมพนักงานใหม่และสร้างความมั่นใจในการตัดวัตถุดิบโดยมีวิธีการตัดอย่างชัดเจนไว้หน้างานให้	5		
2. มีกฎอย่างชัดเจนในการรับผิดชอบต่อการทำให้เกิดปัญหาเศษวัตถุดิบ	5		
3. เพิ่มพัดลมเพื่อลดความร้อนขณะทำงาน	5		
4. เพิ่มระยะเวลาในการพักเบรกจากช่วงละ 10 นาทีเป็น 15-20 นาที		5	ประสิทธิภาพรวมถึงประสิทธิผลในการทำงานลด
5. ฝึกอบรมพนักงานใหม่ให้เกิดการเรียนรู้กับเครื่องจักรและให้ทดลองก่อนปฏิบัติงานจริงเพื่อลดการกลัวเครื่องจักร	5		
6. กำหนดตารางเวลาในการลับคมมีดและดูแลเครื่องจักรก่อน-หลังใช้งานติดไว้ที่หน้างาน	5		
7. กำหนดมาตรฐานในการคิดค่าเผื่ออย่างชัดเจน	5		
8. หัวหน้างานตรวจเช็คความถูกต้องอย่างต่อเนื่อง	5		
จัดการปัญหาชิ้นงานไม่ได้ตามขนาดด้วย Reduce			
1. ฝึกอบรมพนักงานใหม่และพนักงานที่ขาดประสบการณ์ในการคำนวณค่าเจาะ	5		
2. กำหนดตารางการทำความสะอาดเครื่องจักรก่อน-หลังการใช้งาน ติดไว้ที่หน้างาน	5		
3. มีการจัดแยกประเภทของเครื่องมือออกเป็นหมวดหมู่	5		
4. บำรุงรักษาตัวจับชิ้นงานอย่างสม่ำเสมอ	5		
5. มีมาตรฐานในการชโลมน้ำมันของชิ้นงานขณะจับ	4	1	ขาดบุคลากรที่มีความรู้ในการกำหนด
6. ก่อนการทำงานจะต้องมีการตรวจเช็คเครื่องหรือหัวเจาะ	5		
7. ต้องมีเพื่อนร่วมงานหรือหัวหน้างานคอยตรวจสอบ	2	3	ให้หัวหน้าตรวจสอบ
8. มีตารางลับคมมีดเป็นประจำก่อน-หลังใช้งาน	5		
จัดการของเสียโดยหลักการ Reuse			
1. แยกประเภทของเสียออกเป็นหมวดหมู่	5		
2. จำแนกชนิดเหล็กตามเกรดให้เป็นสัดส่วน	5		
3. ทำการติดป้ายบอกชนิดของเหล็ก	5		
4. จัดทำเป็น Store 2 สำหรับของเสียที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้	5		
จัดการของเสียโดยหลักการ Recycle			
1. แยกประเภทของเสียออกเป็นหมวดหมู่	5		
2. แปรรูปให้เป็นสิ่งใหม่แล้วนำกลับมาใช้	5		
3. จำหน่ายให้กับลูกค้า	4	1	เสียเครดิต
4. จำหน่ายผ่านทางออนไลน์	4	1	ยุ่งยาก
5. จำหน่ายให้กับบริษัทที่สนใจเศษโลหะ	5		
6. นำผลิตภัณฑ์แปรรูปมาใช้ในบริษัท	5		

**หมายเหตุ: ตัวเลขในตารางคือจำนวนของผู้เชี่ยวชาญที่ทำการประเมินแนวทาง 3Rs

จากนั้นจึงนำผลการประเมินความเป็นไปได้จากตารางที่ 1 ที่มีผู้ประเมินเห็นด้วยไปดำเนินการ

4.4 นำแนวทางการจัดการของเสียโดยใช้หลักการ 3R ที่เหมาะสมไปปฏิบัติ

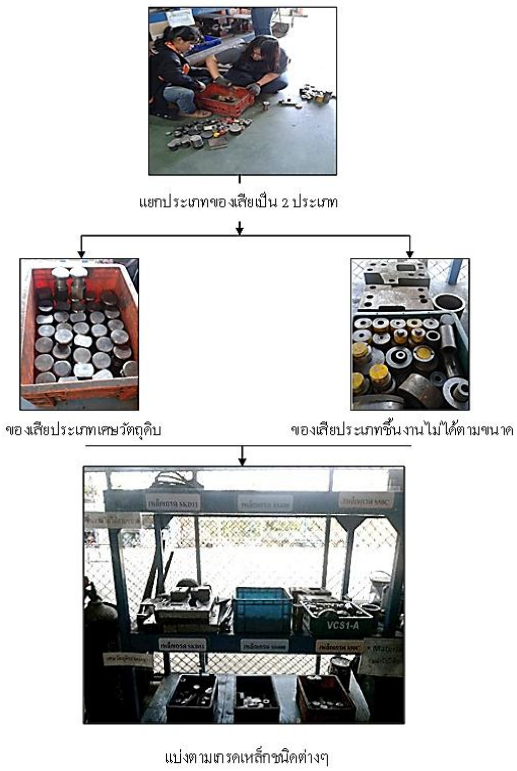
เมื่อผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินความเป็นไปได้ของแนวทางการจัดการของเสียแล้ว ก็ต้องทำการระดมสมองเพื่อเลือกแนวทางที่มีความเหมาะสมที่สุดในการจัดการของเสียโดยใช้หลักการ 3Rs ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่1 จัดการของเสียด้วย Reduce เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดของเสียเหล่านั้นขึ้นอีก ซึ่งจะทำการป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด 2 ปัญหาคือ เศษวัตถุดิบ และชิ้นงานไม่ได้ตามขนาดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แนวทางการป้องกันการเกิดปัญหาจากหลักการ Reduce ที่เหมาะสม

ประเภทของเสีย	แนวทางการป้องกัน
ประเภทเศษวัตถุดิบ	1. ฝึกอบรมพนักงานใหม่และสร้างความมั่นใจในการตัดวัตถุดิบโดยมีวิธีการตัดอย่างชัดเจนไว้หน้างานให้พนักงานดู
	2. มีกฎอย่างชัดเจนในการรับผิดชอบต่อการทำให้เกิดของเสียขึ้น
	3. เพิ่มพัดลมเพื่อลดความร้อนขณะทำงาน
	4. มีหัวหน้างานคอยตรวจเช็คความถูกต้องอย่างต่อเนื่อง
ประเภทชิ้นงานไม่ได้ตามขนาด	1. ฝึกอบรมพนักงานใหม่และพนักงานที่ขาดประสบการณ์ในการคำนวณค่าเจาะ
	2. กำหนดตารางการทำความสะอาดเครื่องจักรก่อน-หลังการใช้งาน ติดไว้ที่หน้างาน
	3. ก่อนการทำงานจะต้องมีการตรวจเช็คเครื่องหรือหัวเจาะเพื่อป้องกันการเกิดของเสียขึ้น

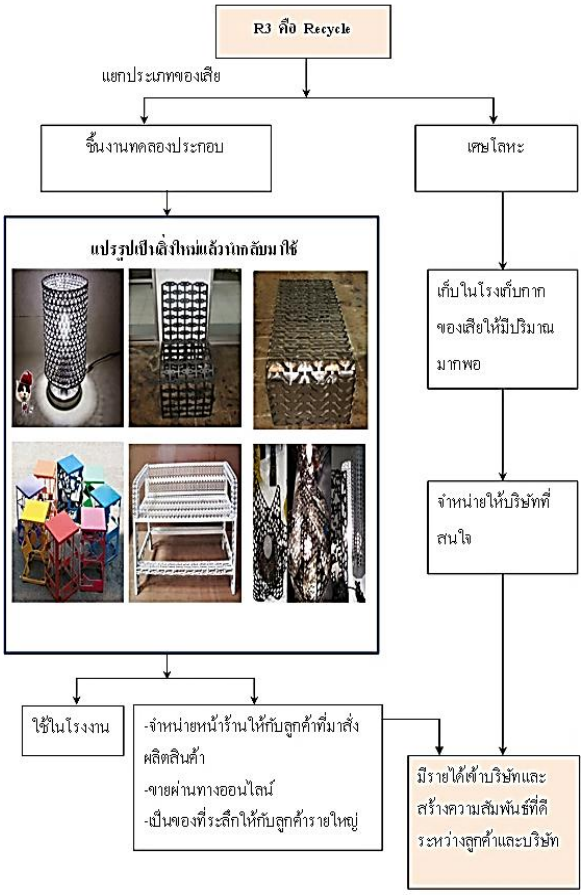
ส่วนที่ 2 จัดการของเสียด้วย Reuse เป็นการนำสิ่งของที่ยังไม่หมดสภาพมาใช้งานต่อไป ซึ่งเป็นการนำของเสีย 2 ประเภทที่เกิดขึ้นมาแล้วนำมาจัดการเพื่อเก็บไว้ใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป โดยจะเก็บไว้ใน Store2 ซึ่งถูกสร้างขึ้นมาเพื่อเก็บของเสียประเภท เศษวัตถุดิบและชิ้นงานไม่ได้ตามขนาด มีขั้นตอนดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การแก้ไขปัญหาด้วยหลักการ Reuse

ส่วนที่ 3 จัดการของเสียด้วย Recycle เป็นการนำของเสียที่ใช้ประโยชน์ในรูปแบบเดิมไม่ได้แล้ว นำมาทำการแปรรูปให้เป็นสิ่งใหม่ เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ต่อไป โดยจะนำชิ้นงานทดลองประกอบดังรูปที่ 7 และนำเศษโลหะจากกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ ที่เป็นของเสียที่เกิดขึ้นทุกครั้งที่มีการผลิตแม่พิมพ์ ซึ่งในการผลิตทุกครั้งจะเกิดของเสีย 2 ประเภทนี้ขึ้นมาเสมอ จึงต้องมีการจัดการตามขั้นตอนดังภาพรูปที่ 8

รูปที่ 7 ของเสียที่เป็นชิ้นงานทดลองประกอบ



รูปที่ 8 การจัดการของเสียด้วยหลักการRecycle

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลของข้อมูลของเสียก่อน-หลังปรับปรุง

ลักษณะของเสีย	จำนวนของเสีย (ชิ้น)/เดือน		ของเสียที่ลดลง	(%) ของเสียที่ลดลง
	ก.ย.-ต.ค. 2557	ก.พ-มี.ค. 2558		
1. เศษวัตถุดิบ	268	226	42	15.67
2. ชิ้นงานไม่ได้ตามขนาด	200	116	84	42.00
3. ชิ้นงานทดลองประกอบ	134	140	(6)	(4.48)
4. ชิ้นงานมีรอยขูดขีด	12	0	12	100
5. ชิ้นงานมีครีบ	10	7	3	30
6. รอยแตก	9	3	6	66.67
7. อ่านแบบผิด	7	0	7	100
8. ชิ้นงานที่เอียงจากการขึ้นรูป	6	0	6	100
9. ตำหนิที่ผิวชิ้นงาน	6	6	0	0
10. เกิดรอยที่ฟันเฟือง	2	0	2	100
11. ชิ้นงานเกิดตามด	2	0	2	100
รวม	656	498	158	24.09

4.5 เปรียบเทียบผลก่อนและหลัง

หลังจากนั้นนำแนวทางที่ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้ดำเนินการไปปฏิบัติและเก็บข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 พบว่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ลดลงได้แก่ เศษวัตถุดิบลดลง 15.67% ชิ้นงานไม่ได้ตามขนาดลดลง 42% ชิ้นงานมีครีบลดลง 30% รอยแตกลดลง 66.67% และตำหนิที่ผิวชิ้นงานมีจำนวนของเสียเท่าเดิมไม่เพิ่มและไม่ลดเมื่อเทียบกับเดือนกันยายน-ตุลาคม 2557 และของเสียลักษณะอื่นๆ ในตารางที่ไม่ได้กล่าวถึงคือ ไม่เกิดของเสียเหล่านั้นขึ้นเลยภายในระยะเวลา 2 เดือนคือ เดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม 2558 ส่วนชิ้นงานทดลองประกอบพบว่ามีของเสียเพิ่มขึ้น 6 ชิ้น เนื่องจากมีปริมาณงานที่ต้องผลิตมากขึ้นจึงต้องทำการทดลองประกอบมากขึ้น

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

หลังจากทำการจัดการปรับปรุงด้วยหลักการ 3Rs และสร้างแนวทางการป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาเหล่านั้นซ้ำอีก พบว่าเมื่อนำจำนวนของเสียก่อนและหลังการปรับปรุงมาคิดเป็นร้อยละทำให้ทราบว่า สามารถทำให้ของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตลดลง 24.09% ซึ่งสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้ และถือได้ว่าแนวทางที่ทำการประเมินความเป็นไปได้และเลือกแนวทางไปปฏิบัตินั้นมีความเหมาะสม

อย่างไรก็ตามทางโรงงานกรณีศึกษา ยังมีปัญหาในเรื่องของการเก็บข้อมูลของเสียที่เป็นเอกสารและบางครั้งก็ละเลยการเก็บข้อมูลของเสีย จึงอยากแนะนำให้มีการเก็บข้อมูลของเสียเป็นประจำ เพื่อดูความผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เพื่อจะสามารถทำให้แก้ปัญหาเหล่านั้นได้ทันเวลา พร้อมทั้งควรมีระบบในการจัดเก็บเอกสารของเสียที่สามารถค้นหาง่าย สะดวก รวดเร็วในการเข้าถึงของพนักงานทุกคน และควรเขียน Work

Instruction ของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เพื่อให้พนักงานได้เรียนรู้และศึกษาหน้างานด้วยตนเอง เพื่อจะได้ไม่ต้องอาศัยพนักงานที่เชี่ยวชาญเพียงอย่างเดียว

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม, คู่มือ 3Rs กับการจัดการของเสียภายในโรงงานกรมโรงงานอุตสาหกรรม, ข้อมูลจาก http://www2.diw.go.th/iwmb/form/iwd04ผ น ว ก %20ค _ คู่มือ3Rs.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล15มิถุนายน2557)

[2] พรรณธิวา เก่งนอก, ประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้หลัก 3Rs ในการลดปริมาณมูลฝอยของภาคีประชาชนในเขตองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านราษฎร์ อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา, นักวิชาการส่งเสริมสุขภาพส่วนสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านราษฎร์จังหวัดนครราชสีมา, 2556.

[3] ณัฐพงษ์ เสรีพาณิชย์การ, พฤติกรรมการประยุกต์ใช้หลัก 3Rs ของผู้นำชุมชนในการลดปริมาณขยะ เทศบาลตำลบหนองไผ่ล้อม อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา, รายงานการศึกษาอิสระ ปริญญารัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการปกครองท้องถิ่นวิทยาการปกครองท้องถิ่น มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2553.

[4] พีรยา ฉิมวิลัยทรัพย์, การจัดการวัสดุเหลือใช้ในโรงพิมพ์ออฟเซตด้วยหลักการ 3Rs, ปริญญานิพนธ์ ครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต ภาควิชาการเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2552.

การลดผลิตภัณฑ์บกพร่องของการผลิตจานเซรามิกส์โดยใช้เครื่องมือคุณภาพ

Defect Reduction of Ceramic Plate Production Using Quality Tools

ชนนาถ กฤตวรกาญจน์*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200, E-mail*: chonnanath.krit@gmail.com

Chonnanath Kritworakarn*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Chiang Mai University, Muang, Chiang Mai, 50200, E-mail*: chonnanath.krit@gmail.com

บทคัดย่อ
เนื่องจากมีจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจานเซรามิกส์มากเกินกว่าระดับที่ได้กำหนดไว้ จึงมีความจำเป็นต้องหาแนวทางลดจำนวนของผลิตภัณฑ์บกพร่องลง จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า โรงงานแห่งนี้ผลิตสินค้าเป็นจำนวนมาก มีการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติในการผลิต และใช้สายพานเพื่อขนถ่ายวัสดุ เมื่อการผลิตมีปัญหาจึงเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเป็นจำนวนมากในเวลาอันสั้น จึงได้เลือกศึกษาการผลิตจานเซรามิกส์ การวิเคราะห์ความสูญเสีย 7 ประการและเครื่องมือคุณภาพจึงถูกนำมาใช้ จากการปรับปรุงวิธีการทำงานของกระบวนการขึ้นรูป พบว่า สามารถลดอัตราผลิตภัณฑ์บกพร่องเดิมโดยเฉลี่ย ที่ 5.35 % ต่อวัน ลดลงเหลือ 0.86 % ต่อวัน
คำสำคัญ การลดผลิตภัณฑ์บกพร่อง, ความสูญเสีย 7 ประการ, เครื่องมือคุณภาพ, เซรามิกส์

Abstract
Number of product defects occur in the production of ceramic plates is higher than expected amounts. Therefore it is necessary to reduce the number of defects. The study found that this plant produces a large quantity of ceramic plates. Automation machines are used in manufacturing. Conveyor belts are also used to transport the materials. When some mistakes were happened, there were a lot of defect products in a short period of time. Ceramic plate production is studied. Seven wastes and quality tools are deployed in this study. Improvement of working methods of forming processes can be reduced the average defect at 5.35% to 0.86% per day.
Keywords: defect reduction, seven wastes, quality tools, ceramics

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเซรามิกส์ของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคเหนือได้มีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามความต้องการของตลาดผู้บริโภคทั้งในประเทศ และต่างประเทศ ปัจจุบันอุตสาหกรรมเซรามิกส์มีการแข่งขันในทุกๆด้าน ทั้งในด้านการตลาด การผลิต และการบริหาร เนื่องจากอุตสาหกรรมเซรามิกส์มีผู้ผลิตจำนวนมาก ก็จะยิ่งมีการแข่งขันสูง อันเป็นผลดีต่อ

ผู้บริโภคในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ก่อนการตัดสินใจซื้อ ด้วยระดับการแข่งขันที่สูง และเทคโนโลยีต่างๆ มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว

ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นควบคู่กับการการผลิต นักวิชาการได้จำแนกประเภทความสูญเสียออกเป็น 7 ประเภท [1] ดังนี้ 1) ความสูญเสียจากการผลิตมากเกินไป 2) ความสูญเสียจากการเก็บวัสดุคงคลังที่ไม่จำเป็น 3) ความสูญเสียจากการขนส่ง 4) ความสูญเสียจากกระบวนการที่ขาดประสิทธิผล 5) ความสูญเสียจากการเคลื่อนไหว 6) ความสูญเสียจากการรอคอย และ 7) ความสูญเสียจากการผลิตผลิตภัณฑ์บกพร่องหรือการแก้ไขงานเสีย

การศึกษาการลดความสูญเสียโดยส่วนใหญ่ นิยมศึกษาการลดความสูญเสียจากการผลิตผลิตภัณฑ์บกพร่องหรือการแก้ไขงานเสีย [2] เนื่องจากเป็นความสูญเสียที่มองเห็นได้อย่างชัดเจน และมีผลต่อต้นทุนการผลิตอย่างชัดเจน

โรงงานตัวอย่างเป็นโรงงานเซรามิกส์ขนาดใหญ่ของภาคเหนือ มีพนักงานประมาณ 1,000 คน ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ผลิตสินค้าหลายชนิด เช่น จาน ถ้วยกาแฟ เป็นต้น สินค้าทั้งหมดที่ผลิตส่งออกจำหน่ายไปยังต่างประเทศ เนื่องจากต้องผลิตสินค้าเป็นจำนวนมาก ทางโรงงานจึงใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ และใช้สายพานลำเลียงช่วยเพิ่มกำลังการผลิต

การผลิตโดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติและการใช้สายพานลำเลียง แม้มีข้อดีในการผลิตสินค้าได้เป็นจำนวนมาก ในระยะเวลาสั้นก็ตาม แต่หากเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในระบบการผลิต ก็อาจเป็นเหตุให้เกิดของเสียหรือผลิตภัณฑ์บกพร่องขึ้นเป็นจำนวนมากในเวลาอันรวดเร็วด้วยเช่นกัน

ความสูญเสียจากการผลิตผลิตภัณฑ์บกพร่อง หรือการแก้ไขงานเสียของอุตสาหกรรมเซรามิกส์ มีอัตราที่ค่อนข้างสูง โดยทั่วไปประมาณ 20% หมายความว่า ถ้าลูกค้าต้องการสินค้า 100 ชิ้น ผู้ผลิตต้องเตรียมวัตถุดิบไว้จำนวน 120 ชิ้น เผื่อเกิดของเสียขึ้นในการผลิต ทำให้ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตโดยตรง

เครื่องมือคุณภาพ เป็นเครื่องมือสำคัญที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษานี้ เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ศึกษาปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้นในการทำงาน โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม กลุ่มกิจกรรมคุณภาพ (Quality Control Circle, QCC) นิยมใช้เครื่องมือนี้ในการปรับปรุงการทำงานของกลุ่ม [3]

1. เครื่องมือคุณภาพ

เครื่องมือคุณภาพ บางครั้งเรียกว่า เครื่องมือคุณภาพ 7 ประการ (7 QC Tools) มีเครื่องมือที่แตกต่างกัน 7 ชนิด ดังนี้

1) แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) แผ่นตรวจสอบเป็นแผ่นที่มีแบบฟอร์ม ซึ่งได้รับการออกแบบช่องว่างต่างๆและพิมพ์มาเรียบร้อยเพื่อให้ผู้บันทึกสามารถลงบันทึกข้อมูลต่างๆ ลงในแต่ละช่องว่างได้อย่างสะดวก
2) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) เป็นแผนภูมิทางสถิติ ใช้จำแนกประเภทของข้อมูล (Data Stratification) โดยอาศัยหลักการจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการผลิต
3) กราฟ (Graphs) เครื่องมือสำหรับใช้ในการแสดงข้อมูลที่เป็นตัวเลขออกมาให้เห็นภาพ สามารถทำให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจโดยอาศัยการพิจารณาด้วยตาเปล่าได้
4) แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause)
5) ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็น ผังภาพที่แสดงการกระจายตัว (ความผันแปรออกจากศูนย์กลาง) ของข้อมูลชุดหนึ่งซึ่งแสดงคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น น้ำหนัก เวลา อุณหภูมิ ความแข็ง เป็นต้น
6) แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram) คือ ผังที่ใช้แสดงค่าของข้อมูลที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว เช่น X, Y เป็นต้น ว่ามีแนวโน้มในทางใด เพื่อที่จะใช้หาความสัมพันธ์ที่แท้จริง โดยตัวแปร X คือ ตัวแปรอิสระ และ ตัวแปร Y คือ ตัวแปรตาม

7) แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับเฝ้าติดตาม (Monitoring) ค่าของตัวแปรที่ต้องการควบคุมคุณภาพว่า เกิดความผันแปรเกินพิกัด (ขีดจำกัด) ที่กำหนดไว้หรือไม่ และความผันแปรนั้นมีแนวโน้มอย่างไร

2. ข้อมูลเบื้องต้น

ผู้บริหารงานของโรงงาน ได้กำหนดอัตราของเสียของขั้นตอนการผลิตต่างๆเอาไว้ที่ 5 % ของการผลิตในแต่ละวัน เพื่อให้สามารถควบคุมระดับอัตราของเสียของทั้งโรงงานได้ อย่างไรก็ตามพบว่า มีบางแผนกที่มีระดับอัตราของเสียสูงกว่าระดับที่กำหนด จานเซรามิกส์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 27 ซ.ม. เป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกเลือกมาศึกษาเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจำนวนมากที่สุด

กระบวนการผลิตจานเซรามิกส์ มีขั้นตอนการผลิตโดยทั่วไป ดังนี้ เริ่มต้นจากการเตรียมวัตถุดิบ (ดิน) การเตรียมน้ำเคลือบ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ การเผาบิสกิต (เผาดิบ) การเคลือบ การเผาเคลือบ และการบรรจุ ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาการลดความสูญเสียในขั้นตอนการขึ้นรูป ซึ่งเกิดของเสียค่อนข้างสูง

การขึ้นรูปจานเซรามิกส์ มีขั้นตอนการทำงานย่อยๆ ดังนี้

1. รับวัตถุดิบที่เป็นดินผง
2. ตรวจดูความชื้นและส่วนผสมอื่นๆ
3. ตั้งค่าเครื่องปั๊ม เพื่อขึ้นรูป
4. พนักงานหยิบจานจากสายพานมาขัดขอบจาน
5. พนักงานหยิบจานวางส่งเข้าเตาตะแกรง
6. อบให้แห้งในเตาตะแกรง
7. ส่งต่อให้แผนกชุบเคลือบ

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น พบว่า ขั้นตอนการขึ้นรูป มีอัตราการเกิดอัตราของเสียเกินระดับที่โรงงานกำหนด คือ 5.35 % แต่มีปัญหาเกิดขึ้น 3 ลักษณะ คือ 1) จานแตกขอบปาก 2) จานที่ผ่านการเคลือบมีตำหนิ และ 3) จานแตกหลังเผา และผู้วิจัยเลือกศึกษาปัญหาที่ 2 จานแตกขอบปาก เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่มากที่สุด เมื่อเทียบกับปัญหาอื่นๆ

3. ผลการศึกษา

ปัญหาหลักของกระบวนการขึ้นรูป คือ จานแตกขอบปาก ขึ้นเป็นจำนวนมากเกินกว่าระดับที่โรงงานกำหนดที่ 5% พบว่า การแตกที่ขอบปากของจาน จะเกิดที่ ขั้นตอนที่ 4 และ 5 การหยิบจานขึ้นจากสายพานเพื่อนำมาขัดขอบก่อนส่งเข้าเตาตะแกรง ที่มีสายพานอีกชุดหนึ่ง ข้อมูลก่อนการปรับปรุง ของกระบวนการผลิต เป็นเวลา 6 วัน ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลสัดส่วนการแตกที่ขอบปากของจานก่อนการปรับปรุง

วันที่	อัตราของเสีย (%)
1	7.65
2	4.16
3	4.62
4	4.16
5	4.38
6	7.17
ค่าเฉลี่ย	5.35

จากนั้น ผู้วิจัยได้ร่วมกับหัวหน้างานและพนักงานของขั้นตอนการขึ้นรูป ได้วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้ผังก้างปลา ดังได้แสดงในรูปข้างล่าง

รูปที่ 1 ผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุจานแตกขอบปาก

จากผลการวิเคราะห์หาสาเหตุในรูปที่ 1 เมื่อได้เข้าไปสังเกตุการทำงานของพนักงานขณะปฏิบัติงานพบประเด็นที่น่าสนใจหลายประการ ดังนี้

1. พนักงานหยิบจานออกจากสายพานไม่ทัน จึงทำให้จานที่ถูกขึ้นรูปมาหล่นลงพื้นเสียหาย
2. พนักงานหยิบจานด้วยมือเพียงข้างเดียว ทำให้จานแตกบริเวณที่จับ
3. ไม่มีการนับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่จุดทำงานนี้ แต่จะมีการนับจำนวนของดีและของเสียที่จุดสุดท้ายของสายการผลิต ทำให้พนักงานขาดความเอาใจใส่เท่าที่ควร

ดังนั้น จึงเสนอแนวทางปรับปรุงวิธีทำงานบริเวณที่มีการขัดขอบ มีดังนี้

1. ควรปรับวิธีการหยิบจาน จากวิธีเดิมที่ใช้มือข้างเดียวหยิบ เปลี่ยนมาใช้สองมือหยิบจานเพื่อประคองจานได้อย่างสมดุล เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแตกที่ขอบปากทันทีและป้องกันการเกิดรอยร้าวขึ้นในจาน
2. ควรกำหนดระยะหยิบจานที่เหมาะสม หากระยะหยิบห่างเกินไป จะทำให้พนักงานต้องโน้มตัวไปหยิบและจะใช้มือข้างเดียวหยิบจาน และอาจทำแผงกั้นแบบโปร่งใสบนสายพาน เพื่อป้องกันการเอื้อมหยิบ และช่วยให้พนักงานมองเห็นจานที่กำลังไหลมาด้วย
3. การพลิกจาน ควรมีวัสดุหรือภาชนะรองรับจานขณะขัดขอบจาน โดยจัดให้มีโต๊ะขนาดเล็ก และมีผ้าหนาๆรองขณะที่วางจานลง

ผลของการปรับปรุงงานบริเวณที่มีการขัดขอบจาน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 นี้

ตารางที่ 2 ข้อมูลสัดส่วนการแตกที่ขอบปากของจานหลังการปรับปรุง

วันที่	อัตราของเสีย (%)
1	0.50
2	0.71
3	1.0
4	1.0
5	1.0
6	1.0
ค่าเฉลี่ย	0.86

ผลของการปรับปรุงวิธีการทำงาน ทำให้อัตราการเกิดของเสีย (ผลิตภัณฑ์บกพร่อง) ลดลงอย่างมากในขั้นตอนที่ 4 และ 5 ของการขึ้นรูปจาน ถึง (5.35 – 0.86) = 4.49 % คิดเป็นมูลค่าประมาณ 472,500 บาทต่อปี

จากข้อมูลก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้หลักการสถิติมาวิเคราะห์เพิ่มเติม

4. การอภิปรายผล

การปรับปรุงวิธีการทำงาน รวมทั้งการจัดบริเวณงานให้เหมาะสมกับการทำงานนับว่ามีส่วนสำคัญในการลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นเป็นอย่างมาก เนื่องจากของเสียที่เกิดขึ้นเกิดจากสาเหตุนี้ [4] [5]

อย่างไรก็ตาม การจัดการให้มีการควบคุมการทำงานที่เหมาะสมก็นับว่ามีความสำคัญ หากสามารถสร้างความระมัดระวังขึ้นจากการกำหนดให้มีการบันทึกผลผลิต ณ จุดที่มีการผลิต พนักงานจะได้มีความเอาใจใส่เพิ่มขึ้นอาจมีส่วนช่วยลดการเกิดของเสียลงได้บ้าง

5. สรุป

การลดผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเป็นวิธีการที่ทำได้และให้ผลการปรับปรุงที่ชัดเจน แต่ต้องอาศัยการสังเกต เก็บข้อมูล วิเคราะห์ปัญหา และแสวงหาแนวทางปรับปรุงร่วมกันของพนักงานในจุดปฏิบัติงานนั้นๆ จึงจะบังเกิดผลลัพธ์ที่ดี

ผู้บริหารองค์กรจึงควรเอาใจใส่ในเรื่องการลดผลิตภัณฑ์บกพร่องอย่างเป็นระบบ เช่น การใช้กลุ่มกิจกรรมคุณภาพ ระบบข้อเสนอแนะ เป็นต้น และต้องสนับสนุนให้ระบบดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง องค์กรจึงจะมีความเข้มแข็งในระบบการผลิต สามารถแข่งขันในธุรกิจได้

เอกสารอ้างอิง

[1] ข้อมูลจาก www.rmuti.ac.th/faculty/production/ie/html/WASTES.html (วันที่สืบค้น 5 มีนาคม 2558).

[2] เมธารัตน์ นกแก้ว และ ชัยชนะ ยอดคำ, การศึกษาการลดจำนวนของเสียในโรงงานผลิตอิฐมวลเบาโดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ประการ, ภาควิชาวิศวกรรม

อุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552.

[4] ไพฑุรย์ ศิริโอฬาร, การลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์กราเวียร์ กรณีศึกษาบริษัทตัวอย่าง, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2556, น. 183.

[5] Kaona Jongwuttanaruk and Rapee Kanchana, การป้องกันการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตหูฟัง, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2556, น. 190.

การประยุกต์ใช้วิธีทากูชิในการลดปัญหาซองรั่ว

Application of Taguchi method to reduce packet loss

ชลิดา ชาญวิจิตร
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
จังหวัดนนทบุรี รหัสไปรษณีย์11120 E-mails: Chalidacha@pim.ac.th

Chalida Chanwichit
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Panyapiwat Institute Management,
Nonthaburi 11120 E-mail: Chalidacha@pim.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อลดปัญหาบรรจุภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องในกระบวนการบรรจุข้าวเกรียบของบริษัทกรณีศึกษา จากการวิเคราะห์ข้อมูลของเสียพบว่าเป็นของเสียที่เกิดจากบรรจุภัณฑ์ 10% และใช้แผนภูมิพาเรโต แผนภาพเหตุและผล มาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งโดยทั่วๆไปปัญหาที่พบคือพนักงานไม่มีมาตรฐานในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับเครื่องจักร ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ อุณหภูมิซีลบน อุณหภูมิซีลกลาง อุณหภูมิซีลล่าง ระยะเวลาในการปิดซีล และความเร็วในการบรรจุ การออกแบบการทดลองถูกใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังกล่าวข้างต้นที่เหมาะสม โดยการพิจารณาค่า signal to noise ratio ที่ทำให้เกิดค่า smaller the better

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักรได้ดังนี้คือ คือ อุณหภูมิซีลบน 155 องศาเซลเซียส อุณหภูมิซีลกลาง 133 องศาเซลเซียส อุณหภูมิซีลล่าง 150 องศาเซลเซียส จังหวะการปิดของซีล 0.52 วินาที เวลาในการปิดตัวซีล 0.3 วินาที และความเร็วในการบรรจุ 58 วินาที/ถุง ซึ่งภายหลังการปรับปรุงค่าสัดส่วนของเสียลดลงเหลือ 2.748% หรือลดลงจากเดิมก่อนทำการปรับปรุง 72.52%

คำหลัก การประยุกต์ใช้ทากูชิ ปัญหาซองรั่ว

Abstract

The objective of this research was to reduce a packaging defective problem in the cracker packaging process of a case study company. From the analysis data of defective found that a packaging defective was 10% and used the Pareto chart and cause – effect diagram to analysis the problem. The general problem was employees not have any suitable standard to set up parameters of the machine. The parameters that concerned were an upper seal temperature, a middle seal temperature, a lower seal temperature, time to close a seal and speed of the packaging process. Design an Experiment was a tool to determine the appropriate set of parameters that mention above by consideration signal to noise ratio that had a smaller the better value.

The result of the study showed that the appropriate parameter to use for setting up the machine were followed: an upper seal temperature was 155 degrees of Celsius, a middle seal temperature was 133 degrees of Celsius, a lower seal temperature was 150 degrees of Celsius, End seal close was 0.52 second, time to close a seal was 0.3 second and speed of the packaging process was 58 second/piece. The after

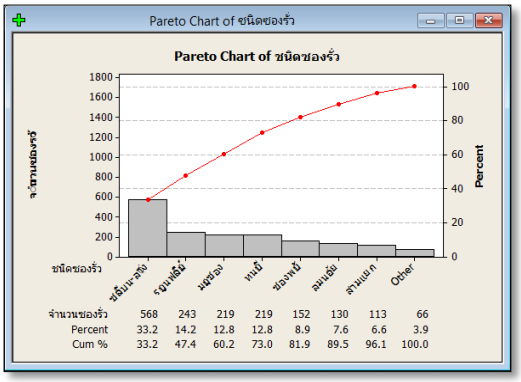
improved showed that a packaging defective decreased to 2.748% or decreased 72.52% from the former process.

Keywords: Application of Taguchi, pack leakage problems

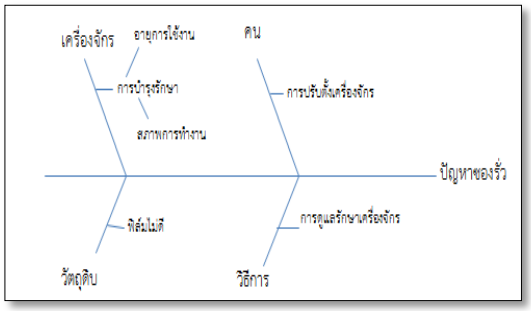
1.บทนำ

จากสภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันของประเทศไทย ภาคอุตสาหกรรมต่างๆได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในเรื่องการลดความสูญเสียในการผลิต เพื่อให้มีต้นทุนที่ลดลง สามารถปรับตัวอยู่รอดได้ในสภาวะเศรษฐกิจที่ตกต่ำ และส่งผลต่อการได้เปรียบในการแข่งขันในธุรกิจ นอกจากนี้ประเทศไทยได้เข้าสู่การเปิดการค้าเสรีอาเซียน ซึ่งหมายถึงจะมีคู่แข่งขันที่เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน โดยกลยุทธ์ที่ใช้ในการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุน คือ การลดของเสียในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมผลิตอาหาร บริษัทต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดีเพื่อส่งต่อให้กับลูกค้าสร้างความพึงพอใจในการเลือกบริโภคผลิตภัณฑ์ของบริษัทนั้นๆ ดังนั้นกระบวนการผลิตอาหารต้องมีความแน่ใจว่าผลิตภัณฑ์นั้น จะสะอาด มีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้า และสิ่งหนึ่งที่สำคัญที่จะส่งผลต่อคุณภาพของอาหาร และมีอายุการเก็บรักษาตามฉลากบริโภคนั้นก็คือ บรรจุภัณฑ์ ซึ่งบรรจุภัณฑ์ของขนมขบเคี้ยวมักประสบปัญหาซองรั่ว โดยปัญหาซองรั่วเกิดขึ้นได้หลายชนิดด้วยกัน ซึ่งบริษัทกรณีศึกษามักพบปัญหาชนิดซองรั่วดังนี้ รูบนฟิล์ม, รอยซีลบน – ล่าง, สามแยก, ท้องแตก, หนีบ, ลมน้อย, ซองพับ, มุมซอง ดังรูปที่ 1 แสดงชนิดซองรั่ว

จากรูปที่ 1 เป็นกราฟพาเรโตแสดงชนิดของปัญหาซองรั่วพบว่า 80 เปอร์เซนต์ของปัญหาที่เกิดขึ้นได้แก่ ซีลบน – ล่าง, รูบนฟิล์ม, มุมซอง, หนีบ, ซองพับ ซึ่งผู้วิจัยได้วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการใช้แผนภูมิเหตุและผล (Cause – and – Effect Diagram) เพื่อหาสาเหตุของปัญหา [1] ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ชนิดของปัญหาซองรั่ว



รูปที่ 2 แผนภูมิเหตุและผลปัญหาซองรั่ว

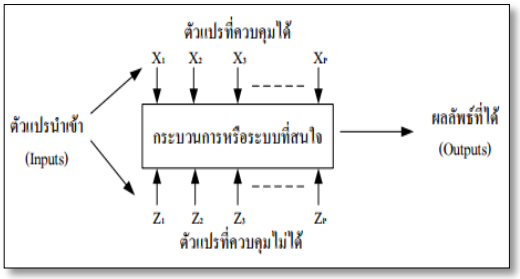
จากรูปที่ 2 แผนภูมิแสดงเหตุและผลปัญหาซองรั่ว พบว่า กรณีของคน (Man) เป็นปัญหาเกี่ยวกับทักษะการปรับตั้งค่าเครื่องจักร เนื่องจากไม่มีมาตราฐานในการปรับตั้งเครื่อง ดังนั้น ผู้วิจัยได้เลือกแก้ปัญหาในส่วนของวิธีการ โดยการประยุกต์ใช้แนวคิดของการออกแบบการทดลอง ในทดสอบการแก้ไขปัญหาซองรั่ว โดยทดลองการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรในการบรรจุภัณฑ์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลอง

Montgomery [2] ได้กล่าวไว้ว่า ถ้าต้องการให้การทดลอง เกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด จะต้องนำวิธีทาง วิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่า “การ ออกแบบการทดลองเชิง

สถิติ" หมายถึง กระบวนการในการวาง แผนการทดลอง เพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถ นำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุผลได้การออกแบบการทดลอง [3] คือ การทดสอบ เพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร นำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Output or Response) จาก กระบวนการหรือระบบนั้น โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า "ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) หรือตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่สามารถออกแบบได้" (Design Variables or Factors) และกลุ่มที่ ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า "ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่รบกวนระบบ" (Uncontrollable or Noise Variables Factors) ดังแสดง ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ใน กระบวนการ หรือระบบที่สนใจ

2.2 แบบการทดลองทากูชิ แบบการทดลองทากูชิ [4] คือ การทดลองที่มีลักษณะเป็น แบบการทดลองออร์ทอกอนัล (Orthogonal Array) เหมาะใน การศึกษาผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effects) เป็นแบบการทดลอง Resolution III กล่าวคือ ผลกระทบปัจจัยหลักมีโครงสร้างซ้ำซ้อนกับผลกระทบปัจจัยหลัก และผลกระทบร่วม 2 ปัจจัยจึงเหมาะสำหรับการคัดปัจจัยทิ้ง (Screening Factors)

วิธีการของทากูชิได้เอาหลักการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ โดยพยายามปรับให้ง่ายขึ้นในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลซึ่งไม่ใช้การแจกแจงทางสถิติและตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อสะดวกสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริง แต่จะใช้วัดค่าที่ได้พัฒนาขึ้นเอง ได้แก่ อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบ (Signal – to – Noise Ratio: S/N) ซึ่งจำแนกตามลักษณะทางคุณภาพ แบ่งได้ 3 กรณี คือ

2.2.1 กรณีค่ายิ่งมากยิ่งดี (Lager – The – Better) เช่น ระยะที่รถวิ่งได้ต่อลิตร (กิโลเมตร) ผลผลิตที่ได้ (Yield (%))

2.2.2 กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller – The – Better) เช่น ความเข้มข้นของก๊าซพิษในอากาศ (%) ของเสียในกระบวนการ (%)

2.2.3 กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target – The – Better) เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของงานเจาะ ปริมาณบรรจุแป้งเด็ก ค่าความต้านทานแรงดึงของใยผ้า

3. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการประยุกต์การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมของการปรับตั้งเครื่องบรรจุภัณฑ์ เพื่อลดปัญหาในเรื่องซองรั่วที่เกิดจากการปิดผนึกไม่สนิทตลอดทั้งแนวซีล

3.1 ปัจจัยและระดับปัจจัย

ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ พิจารณาเฉพาะปัจจัยที่ควบคุมได้ (Factor) และไม่สนใจปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Factor) โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย 6 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิซีลกลาง, อุณหภูมิซีลบน, อุณหภูมิซีลล่าง, จังหวะการปิดของตัวซีล (End seal close), เวลาในการปิดตัวซีล (End seal time) และความเร็ว (Speed) โดยค่าระดับปัจจัยต่างๆดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับปัจจัย

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย	
	Min	Max
อุณหภูมิซีลกลาง	131	133
อุณหภูมิซีลบน	148	155
อุณหภูมิซีลล่าง	150	155
จังหวะการปิดของตัวซีล	0.50	0.52
เวลาในการปิดตัวซีล	0.10	0.30
ความเร็ว	58	61

3.2 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ

การออกแบบการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลด้วยวิธีทากูชิ ซึ่งใช้การสร้างแผนการทดลองแบบเมตริกซ์ (Design the matrix experiment) มีรูปแบบการทดลองที่เลือกมาจากการทดลองแบบสมบูรณ์เพื่อลดเวลาและความสิ้นเปลืองทรัพยากรจากการทดลองจำนวนมาก โดยใช้แผนการทดลองในรูปแบบ Orthogonal Array $L_8 2^6$ และเมื่อทำการทดลองตามแผนที่ออกแบบไว้ ผู้วิจัยจะทำการทดลองซ้ำ *3* ครั้ง โดยจะนำค่าผลการทดลอง (เปอร์เซ็นต์รั่ว) ที่ได้มาคำนวนอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน Signal – To – Noise Ratio เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 *ผลการทดลอง*

ผลการทดลองตามรูปแบบ Orthogonal Array $L_8 2^6$ ทดลองซ้ำ *3* ครั้ง ค่าผลการทดลอง (Response) ในงานวิจัยนี้ คือ เปอร์เซ็นต์ซองรั่ว และคำนวณค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนระบบ (S/N Ratio) โดยการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนของเสียจากปัญหาซองรั่ว ซึ่งค่ายิ่งน้อยยิ่งดี หมายความว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ซองรั่วยิ่งน้อยยิ่งดี ตามทฤษฎีของทากูชิการคำนวนดังกล่าวจะอยู่ในรูปของ Smaller – The – Better ผลการทดลองดังตารางที่ *3*

ตารางที่ *3* ผลการทดลอง

ลำดับทดลอง	*ปัจจัยที่ควบคุมในการทดลอง*						เปอร์เซ็นต์รั่ว			*ค่าเฉลี่ย*	S/N Ratio
	อุณหภูมิซีลกลาง	อุณหภูมิซีลบน	อุณหภูมิซีลล่าง	จังหวะการปิดของตัวซีล	เวลาในการปิดตัวซีล	ความเร็ว	*รอบที่* 1	*รอบที่* 2	*รอบที่* 3		
1	131	148	150	0.50	0.1	58	0.97	1.20	0.88	1.02	-4.99
2	131	148	150	0.52	0.3	61	1.74	1.58	1.20	1.51	-3.65
3	131	155	155	0.50	0.1	61	3.12	2.70	2.50	2.77	-8.89
4	131	155	155	0.52	0.3	58	0.73	0.81	0.83	0.79	2.01
5	133	148	155	0.50	0.3	58	0.93	0.76	0.75	0.81	1.74
6	133	148	155	0.52	0.1	61	0.79	0.77	0.70	0.75	2.44
7	133	155	150	0.50	0.3	61	0.33	0.21	0.44	0.33	9.21
8	133	155	150	0.52	0.1	58	0.81	0.79	0.79	0.80	2.01

4.2 การวิเคราะห์ผลตามขั้นตอนของทากูชิ

เพื่อการกำหนดค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม สามารถพิจารณาจากระดับปัจจัยที่ทำให้ค่าอัตราส่วน

สัญญาณต่อสิ่งรบกวนมีค่าสูงสุด (Max Signal – to – Noise Ratio)

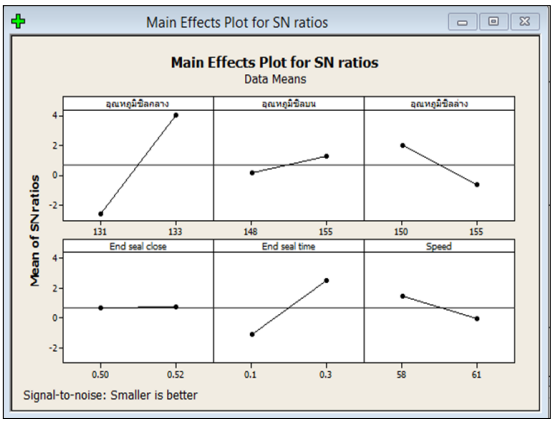
จากตารางที่ 4 สรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนในกระบวนการบรรจุภัณฑ์ที่ส่งผลต่อจำนวนของเสียจากปัญหาซองรั่ว โดยพิจารณาจากค่าผลกระทบของแต่ละปัจจัยจากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิซีลกลาง, เวลาในการปิดตัวซีล, อุณหภูมิซีลล่าง, ความเร็ว, อุณหภูมิซีลบน, และจังหวะการปิดของตัวซีล

ตารางที่ 4 ผลตอบสนองค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนที่ระดับต่างๆของแต่ละปัจจัย

ระดับปัจจัย	อุณหภูมิซีลกลาง	อุณหภูมิซีลบน	อุณหภูมิซีลล่าง	จังหวะการปิดของตัวซีล	เวลาในการปิดตัวซีล	ความเร็ว
1	-2.62912	0.13774	1.99711	0.62723	-1.14222	1.41825
2	3.98681	1.21995	-0.63942	0.73046	2.49991	-0.06056
ผลกระทบ	6.61594	1.0822	2.63654	0.10323	3.64213	1.4788
Rank	1	5	3	6	2	4

การวิเคราะห์ผลของทากูชิเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม พิจารณาจากระดับค่าที่ทำให้อัตราส่วน

สัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal – to – Noise Ratio: S/N) มีค่าสูงสุดดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟผลตอบสนองค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน

จากรูประดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องบรรจุภัณฑ์ เพื่อลดปัญหาในเรื่องซองรั่วน้อยที่สุดดังนี้

- อุณหภูมิซีลกลาง ค่าที่เหมาะสม คือ 133 องศาเซลเซียส (ระดับปัจจัย 2)
- เวลาในการปิดตัวซีล ค่าที่เหมาะสม คือ 0.3 วินาที (ระดับปัจจัย 2)
- อุณหภูมิซีลล่าง ค่าที่เหมาะสม คือ 150 องศาเซลเซียส (ระดับปัจจัย 1)
- ความเร็ว ค่าที่เหมาะสม คือ 58 วินาที/ถุง (ระดับปัจจัย 1)
- อุณหภูมิซีลบน ค่าที่เหมาะสม คือ 155 องศาเซลเซียส (ระดับปัจจัย 2)
- จังหวะการปิดของตัวซีล ค่าที่เหมาะสม คือ 0.52 วินาที (ระดับปัจจัย 2)

5. สรุป

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักรได้ดังนี้คือ คือ อุณหภูมิซีลกลาง 133 องศาเซลเซียส เวลาในการปิดตัวซีล 0.3 วินาที อุณหภูมิซีลล่าง 150 องศาเซลเซียส ความเร็ว 58 วินาที/ถุง อุณหภูมิซีลบน 155 องศาเซลเซียส และจังหวะการปิดของตัวซีล 0.52 วินาที ซึ่งภายหลังการปรับปรุงค่าสัดส่วนของเสียลดลงเหลือ 2.748% หรือลดลงจากเดิมก่อนทำการปรับปรุง 72.52%

เอกสารอ้างอิง

[1] รศ.ศุภชัย นาทะพันธ์. “การควบคุมคุณภาพ”. สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2551.

[2] D.C. Montgomery. “Design and Analysis of Experiments”, 6th ed, John Wiley & Sons, USA, 2005.

[3] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยาและพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. “การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์การทดลอง”. สำนักพิมพ์ท๊อป, กรุงเทพฯ, 2551.

[4] G. Taguchi, “Taguchi Techniques for Quality Engineering”, McGraw-Hill, New York, 1988

การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องกำจัดมอดต้นแบบเพื่อพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์

Efficiency Improvement of the Rice weevil Removal Prototype Machine for Commercial Purpose

สุขอังคณา แถลงกัณฑ์[1], จิรวัฒน์ การสำโรง[1]* และ ปริวรรต นาสวาสดิ์[2]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Sukangkana talangkun[1], Chirawat kansamrong[1]*, Pariwat nasavad[2]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University
[2]Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องฉายรังสีอินฟาเรดกำจัดมอดต้นแบบเพื่อพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องต้นแบบก่อนและหลังการปรับปรุง รวมทั้งศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อนำไปใช้งานกำจัดมอดในข้าวสารดอกมะลิ 105 ในโรงสีที่ร่วมโครงการ ที่เดิมใช้การบรรจุแบบสูญญากาศเพื่อป้องกันมอด ขั้นตอนการทำงานเริ่มจากออกแบบสำรวจเพื่อประเมินความพึงพอใจและความคิดเห็นของลูกค้าก่อนการใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยผลคะแนนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 3.09 คิดเป็นร้อยละ 61.8 จากนั้นได้ทำการปรับปรุงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น และทำการสำรวจเพื่อประเมินความคิดเห็นและความพึงพอใจหลังการใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด ผลการสำรวจพบว่า ผลคะแนนเฉลี่ยหลังปรับปรุงรวมเท่ากับ 3.70 คิดเป็นร้อยละ 74 ซึ่งคะแนนเฉลี่ยรวมสูงกว่าก่อนทำการปรับปรุง 0.61 หรือเท่ากับเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.2 ซึ่งถือว่าภาพโดยรวมของพนักงานผู้ใช้งานเครื่องจริงเกิดความพึงพอใจในการนำเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดไปใช้ การบรรจุข้าวสารหอมมะลิ 105 แบบถุงสูญญากาศของโรงสีมีต้นทุนเท่ากับ 186,600 บาทต่อเดือน ส่วนต้นทุนเครื่องต้นแบบรวมค่าไฟฟ้าในเดือนแรกเท่ากับ 185,994.75 บาทต่อเดือน ซึ่งพบว่าโรงสีมีระยะเวลาในการคืนทุนได้ภายในเดือนแรกเท่านั้น

คำหลัก มอด, รังสีอินฟราเรด, ระยะคืนทุน

Abstract

This research aims to improve the efficiency of the rice weevil removal prototype machine by using infrared radiation for commercial purpose. The main objective was to compare the performance of the prototype before and after improvements. Another objective was to indicate problems that may arise during applied to Dawk Mali 105 in the selected mill in which currently uses a vacuum packaging method to protect rice weevils. The questionnaire was designed to obtain satisfaction and customer feedback after using new infrared radiation technology. Before any improvement, the total average score was 3.09 or 61.8 percent. After that, some improvements were introduced. After the improvements, it was found that an average score was increased to 3.70 or 74 percent. It was 0.61 points or 12.2 percent greater than that of the previous satisfaction. This was indicated that the user satisfied with the infrared application. Total cost of vacuum packing of Dawk Mali 105 was 186,600 baht per month. Compared to the total cost of infrared radiation technology was 185,994.75 baht per month. It was shown that the mill can have the payback period within the first month of use.

Keywords: weevil, infrared radiation, payback period

1. บทนำ

ข้าว เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อมนุษย์มานานนับพันปีซึ่งมีประชากรกว่าครึ่งหนึ่งขอประชากรโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักจะเห็นได้จากเกษตรกรผู้ปลูกข้าวหรือชาวนาในประเทศไทย ที่มีมากถึง 3.7 ล้านครัวเรือน หรือคิดเป็นร้อยละ 66 ของครัวเรือนเกษตรกรทั้งหมดมีพื้นที่ (กรมการค้าภายใน, 2553) ซึ่งในประเทศไทยมีการปลูกข้าวที่หลากหลายสายพันธ์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ข้าวพันธุ์พื้นเมือง และข้าวพันธุ์ลูกผสม ซึ่งข้าวพันธุ์ลูกผสมได้แก่ ชัยนาท 1, ชัยนาท2 ปทุมธานี 1 ส่วนข้าวพันธุ์พื้นมือง ได้แก่ พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ลักษณะโดยทั่วไปของข้าวขาวดอกมะลิ เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง รูปร่างเมล็ดยาว ปลายโค้งมนเล็กน้อย เมล็ดข้าวกล้องใสมีท้องไข่น้อยมีความเลื่อมมันจมูกเล็ก ความยาวเมล็ดข้าวกล้องประมาณ 7.5 มิลลิเมตร ข้าวสารมีจำนวนอะมิโลสเฉลี่ย ประมาณร้อยละ 15 – 16 ข้าวสุกมีลักษณะเหนียวนุ่มมีกลิ่นหอมรสชาติที่ดีซึ่งองค์ประกอบที่มีผลต่อความหอมของข้าวหอมมะลิ ข้าวหอมมะลิจะมีสาร 2-Acetyl-1-Pyrolline โดยอาจมีสารนี้ในข้าวสารประมาณ 0.04-0.08 ไมโครกรัมต่อกรัม และในข้าวกล้องมีประมาณ 0.1-0.3 ไมโครกรัมต่อกรัม (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดร้อยเอ็ด, 2548) ซึ่งข้าวหอมมะลิไทย เป็นข้าวที่ผู้บริโภคนิยมจำนวนมาก โดยมีทั้งภายในประเทศและต่าง ประเทศในปัจจุบันข้าวหอมมะลิที่ผลิตภายใน ประเทศมีอยู่หลายสายพันธุ์ด้วยกัน เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105, ข้าว กข.15 ข้าวหอมมะลิปทุมธานี แต่ข้าวหอมมะลิที่เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และกระทรวงพาณิชย์ก็ได้จัดทำมาตรฐาน ในการส่งออกข้าวหอมมะลิ ไปยังต่างประเทศ (วรการ บัวนวล, 2548) ซึ่งปัญหาที่พบในการส่งออกข้าวที่สำคัญคือการปนเปื้อนของแมลงเมื่อมีการทำลายของแมลงในเมล็ดข้าว จะพบว่าคุณภาพของเมล็ดข้าวไม่เหมือนเดิมไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกในปัจจุบันการระมัดระวังเรื่องความสะอาดมีมากขึ้น การพบแมลง หรือชิ้นส่วนแมลงในอาหารทำให้ผู้บริโภคเกิดความไม่พอใจ อาจคืนถุงอาหารให้ร้านค้า ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการในที่สุด (กุสุมา นวลวัฒน์, 2545) ซึ่งปัญหาการควบคุมของแมลง เป็นปัญหาใหญ่ที่เกิด ขึ้นในทุกสถานที่ของประเทศและยิ่งมีการใช้สารเคมีมากขึ้นเท่าใด ก็ยิ่งทำให้เกิดผลข้างเคียงเกิดขึ้นกับสัตว์ และมนุษย์มากขึ้นเท่านั้นผลของสารเคมียังทำให้สภาพแวดล้อมเสียหายไปด้วย โดยในสมัยก่อนการกำจัดแมลงก่อนส่งออกข้าว โดยใช้วิธีรมสาร Ethylene Dibromide (EDB) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูง และใช้กันอย่างแพร่หลาย ต่อมาพบว่าการใช้สารรม EDB เป็นสารเคมีที่ก่อให้เกิดปัญหาของโรคมะเร็ง และสารพิษตกค้างหลังจากการใช้ ในปี พ.ศ. 2530 จึงยกเลิกการใช้ EDB เพื่อรมกำจัดแมลงหรือด้วง ในการส่งออก จึงได้มีผู้ศึกษาแนวคิดในการพัฒนาวิธีการกำจัดแมลงในข้าวสารโดยการใช้รังสีอินฟราเรด ซึ่งเป็นรังสีความร้อนคลื่นสั้นในการให้ความร้อนเป็นระยะเวลาสั้น โดยใช้ระบบสายพานลำเลียง ทำการทดลองกำจัดมอดในข้าวสารหอมมะลิ โดยประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวร้อยละ 100 ภายในระยะเวลา 2 - 3 นาที (ปริวรรต นาสวาสดิ์, 2556)

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จึงจัดทำขึ้นมาเพื่อนำเครื่องกำจัดมอดโดยหลอดอินฟราเรดมาปรับใช้ในเชิงพาณิชย์ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดและทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่พบกับเครื่องกำจัดมอดเพื่อให้ตอบสนองการใช้งานจริง และต่อความพึงพอใจของลูกค้า ข้อมูลที่ได้นี้จะถูกนำไปพัฒนาเครื่องกำจัดมอดระบบอินฟาเรดให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในโอกาสต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วัสดุ

ข้าวสารดอกมะลิ 105 โดยทำการทดลองที่ บริษัทข้าวรัชมงคล จำกัด

อุปกรณ์

เครื่องกำจัดมอดต้นแบบระบบสายพานพร้อมตะแกรงคัดแยกข้าว ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งเป็นเครื่องกำจัดมอดที่พัฒนาขึ้นมาโดยมีแหล่งพลังงานความร้อน คือ หลอดอินฟราเรดโดยใช้หลอดอินฟราเรดกำลัง 1,000 วัตต์ จำนวน 2 หลอด

วิธีการวิจัย

วิธีการใช้เครื่อง

1.นำข้าวสารดอกมะลิ 105 มาใส่ในช่องเทข้าวสาร ปรับขนาดช่องปล่อยข้าวให้สูงประมาณ 1.5 เซนติเมตร

2.ปรับ ปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิฉายรังสี 75 °C ความหนาข้าวบนสายพาน 1.5 เซนติเมตร ความเร็วสายพาน 1 นาที 30 วินาที และกำหนดระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 10 เซนติเมตร

วิธีการดำเนินงาน

1.นำเครื่องไปติดตั้งที่ บริษัทข้าวรัชมงคลจำกัด และถ่ายทอดวิธีการใช้งานเครื่องกำจัดมอดแก่พนักงานโรงสี

2.นำเครื่องไปติดตั้งที่ บริษัทข้าวรัชมงคล จำกัด และถ่ายทอดวิธีการใช้งานเครื่องกำจัดมอดแก่พนักงาน

3.ให้พนักงานที่ใช้งานเครื่องกำจัดมอดทำแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจก่อนทำการปรับปรุง

4.ทำการวิเคราะห์แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจก่อนทำการปรับปรุงโดยพนักงานผู้ใช้เครื่องจริง

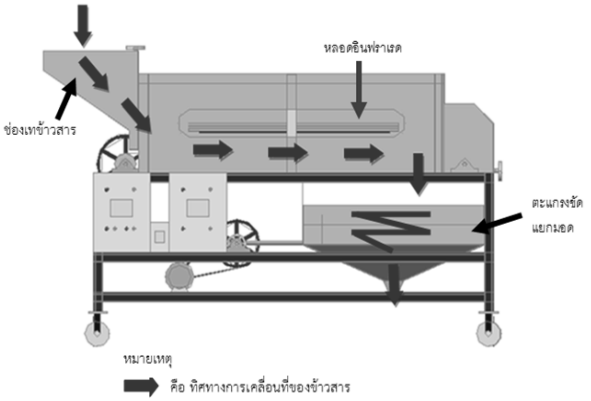
5.ทำการปรับปรุงเครื่องกำจัดมอดให้ตรงตามความต้องการของทางพนักงานที่ใช้เครื่องจากการวิเคราะห์แบบสอบถาม พบอยู่ 3 ข้อ คือ 1.) ตะแกรงคัดแยกข้าวสารเป็นสนิมส่งผลให้ข้าวสารที่ผ่านตะแกรงมีสีขาวขุ่นโดนปกติข้าวสารมะลิ 105 จะมีสีขาวหรือครีมอ่อนๆ ทำให้ไม่ได้ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด 2.) การเคลื่อนที่ไม่สะดวกเกิดจากล้อเดิมเป็นล้อพลาสติกและลูกปืนแตกเนื่องจากน้ำหนักของเครื่อง 3.) ตลับลูกปืนที่ส่งกำลังให้ตะแกรงแยกข้าวแตกทำให้เกิดเสียงดังเวลาเดินเครื่อง

6.ให้พนักงานที่ใช้งานเครื่องกำจัดมอดทำแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจหลังทำการปรับปรุง

7.ทำการวิเคราะห์แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจจากพนักงานใช้งานจริงหลังทำการปรับปรุง

8.ทำการปรับปรุงเครื่องกำจัดมอดให้ตรงตามความต้องการของทางพนักงานที่ใช้เครื่องจากการวิเคราะห์แบบสอบถาม

9.วิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาจุดคุ้มทุนในทางบริษัทข้าวรัชมงคล จำกัด



ภาพที่ 1 เครื่องกำจัดมอดด้วยรังสีอินฟราเรด
(ปริวรรต นาสวาสดิ์, 2556)

ผลการวิจัยและอภิปราย

1.การวิเคราะห์แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจก่อนทำการปรับปรุง

สรุปผลการประเมินความคิดเห็นและความพึงพอใจในการใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดก่อนทำการปรับปรุง จากผู้กรอกแบบสอบถามทั้งหมด 4 คน จาก 6 คน คิดเป็นร้อยละ 66.67 ดังตารางที่ 2

2.การวิเคราะห์แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจหลังทำการปรับปรุง

สรุปผลการประเมินความคิดเห็นและความพึงพอใจพนักงานผู้ใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดหลังทำการปรับปรุงประสิทิภาพของเครื่องกำจัดมอดตามความต้องการ จากผู้กรอกแบบสอบถามทั้งหมด 6 คน จาก 6 คน คิดเป็นร้อยละ 100 ดังตารางที่ 3

การแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจก่อนและหลังทำการปรับปรุง ตามภาพที่ 2 ซึ่งการประเมินหลังทำการปรับปรุงมีคะแนนเพิ่งสูงขึ้นในทุกด้าน

3.การหาระยะเวลาคืนทุนของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน ของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เป็นวิธีการประเมินอย่างง่าย เพื่อพิจารณาว่าเมื่อจ่ายเงินลงทุนไปแล้ว จะต้องใช้ระยะ เวลาเท่าไหร่ ถึงจะได้รับทุนคืน ซึ่งมีข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้คือ

3.1. ต้นทุนการผลิต

- ราคาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

เท่ากับ 176,958 บาท

- ค่าพลังงานไฟฟ้า

เท่ากับ 0.3 กิโลวัตต์

- รวมจำนวนกิโลวัตต์

เท่ากับ 2.90 กิโลวัตต์

- ค่าไฟฟ้าคิดเป็นหน่วยละ

เท่ากับ 4.70 บาท

- รวมค่าไฟฟ้า 2.90 กิโลวัตต์ x 4.70 บาท

เท่ากับ 13.63 บาท/ชั่วโมง

- ดังนั้นการฉายรังสี (270 กิโลกรัม/ครั้ง)

เท่ากับ 13.63 บาท/ชั่วโมง

- ชั่วโมงค่าไฟฟ้ารวมชั่วโมงการทำงานต่อปีคูณค่าไฟต่อชั่วโมง (8x264 x 13.63)

เท่ากับ 28,786.56 บาท/ปี

- ค่าบำรุงรักษาเครื่อง คิดเป็น 2 % (176,958 บาทx0.02)

เท่ากับ 3,539.16 บาท/ปี

- ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด (28,786.56+3,539.16)

เท่ากับ 32,325.72 บาท/ปี

- ดังนั้นค่าใช้จ่ายต่อวัน

เท่ากับ 122.45บาท/วัน

3.2. กำลังการผลิต

- การบรรจุข้าวด้วยถุงสุญญากาศ

เท่ากับ 20 ตัน/เดือน

- ถุงสุญญากาศ ขนาด 1 กิโลกรัม 50 %จากทั้งหมดและค่าบรรจุ 15 บาท/ถุง

เท่ากับ 150,000 บาท/เดือน

- ถุงสุญญากาศ ขนาด 5 กิโลกรัม 50 %จากทั้งหมด และค่าบรรจุ 15 บาท/ถุง

เท่ากับ 30,000 บาท/เดือน

รวมค่าใช้จ่ายในการบรรจุถุงสุญญากาศ ขนาด 1 และ 5 กิโลกรัม

เท่ากับ 180,000 บาท/เดือน

ตารางที่ 1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของเครื่องฉายรังสีกับการบรรจุสุญญากาศ

รายการ	ค่าใช้จ่าย
ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด	
ค่าผลิตเครื่อง	176,958
ค่าไฟฟ้า 4 ชั่วโมง/20 วัน/เดือน	2,449
รวม	179,407
ค่าจ่ายในการบรรจุด้วยถุงสุญญากาศ	
ถุงสุญญากาศ ขนาด 1 กิโลกรัม	150,000
ถุงสุญญากาศ ขนาด 5 กิโลกรัม	30,000
รวม	180,000

หมายเหตุ

ระดับความพึงพอใจ

5 = มากที่สุดหรือดีมาก

4 = มากหรือดี

3 = ปานกลางหรือพอใช้

2 = น้อยหรือต่ำกว่ามาตรฐาน

1 = น้อยที่สุดหรือต้องปรับปรุงแก้ไข

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจก่อนทำการปรับปรุง

รายละเอียด	ผู้ประเมิน/ระดับความพึงพอใจ				คะแนนเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ	คะแนนเฉลี่ยรวม	ระดับความพึงพอใจรวม
1.โครงสร้าง	1	2	3	4					
1.1 ความแข็งแรง	4	4	3	3	3.50	0.58	ปานกลาง	2.90	ปานกลาง
1.2 ถอดประกอบได้ง่าย	3	3	3	3	3.00	0.00	ปานกลาง		
1.3 การออกแบบที่เหมาะสม	3	3	3	2	2.75	0.50	ปานกลาง		
1.4 ขนาดของเครื่อง	3	3	4	2	3.00	0.82	ปานกลาง		
1.5 น้ำหนักเบา	2	3	3	1	2.25	0.96	พอใช้		
2. วัสดุ									
2.1 ประเภทของวัสดุตัวเครื่องมีความเหมาะสม	4	3	4	3	3.50	0.58	ปานกลาง	3.67	ดี
2.2 ประเภทของสายพานลำเลียง	4	4	4	4	4.00	0.00	ดี		
2.3 วัสดุของตะแกรง	4	4	3	3	3.50	0.58	ปานกลาง		
3. ความสะดวก									
3.1 ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่เหมาะสม	3	3	3	4	3.25	0.50	ปานกลาง	3.36	ปานกลาง
3.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิสามารถปรับและใช้งานได้สะดวก	2	4	4	4	3.50	1.00	ปานกลาง		
3.3 ชุดควบคุมความเร็วรอบสายพาน	3	4	3	2	3.00	0.82	ปานกลาง		
3.4 เคลื่อนย้ายสะดวก	2	4	4	5	3.75	1.26	ดี		
3.5 ตำแหน่งชุดควบคุมเหมาะสม	3	4	3	3	3.25	0.50	ปานกลาง		
3.6 ไฟสัญญาณแสดงสถานะของปุ่มชุดความคุม	3	4	3	5	3.75	0.96	ดี		
3.7 ตำแหน่งและขนาดของช่องใส่ข้าว	3	3	3	3	3.00	0.00	ปานกลาง		
4. การใช้งาน									
4.1 ความปลอดภัย	4	4	3	3	3.50	0.58	ปานกลาง	3.30	ปานกลาง
4.2 กำลังการผลิตของเครื่องเหมาะสม	2	4	3	1	2.50	1.29	พอใช้		
4.3 ความทนทาน	3	4	4	3	3.50	0.58	ปานกลาง		
4.4 ระดับเสียงขณะใช้งาน	4	4	4	1	3.25	1.50	ปานกลาง		
4.5 คู่มือการใช้งานเครื่องอ่านและเข้าใจง่าย	4	3	4	4	3.75	0.00	ดี		
5. ซ่อมบำรุง									
5.1 ซ่อมบำรุงง่าย	3	4	4	4	3.75	0.50	ดี	3.75	ดี
5.2 อะไหล่หาซื้อได้ง่าย	3	5	4	4	4.00	0.82	ดี		
5.3 คู่มือการซ่อมบำรุง	3	4	3	4	3.50	0.58	ปานกลาง		
ค่าเฉลี่ยรวม								3.39	

เกณฑ์

4.51-5.00 = ดีมาก

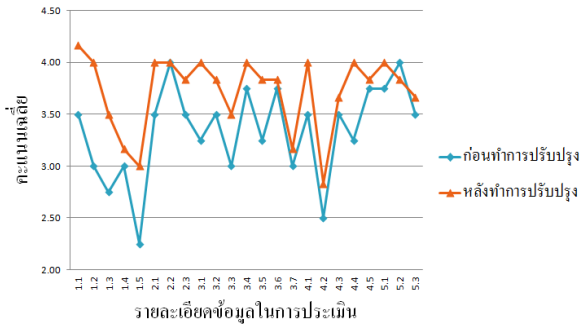
3.51-4.50 = ดี

2.51-3.50 = ปานกลาง

1.51-2.50 = พอใช้

1.00-1.50 = ปรับปรุง

ถ้ามีคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 2.50 ขึ้นไปถือว่าไม่ต้องทำการปรับปรุง



ภาพที่ 2 กราฟเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจก่อน-หลังทำการปรับปรุง

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจหลังทำการปรับปรุง

รายละเอียด	ผู้ประเมิน/ระดับความพึงพอใจ						คะแนนเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ	คะแนนเฉลี่ยรวม	ระดับความพึงพอใจรวม
1.โครงสร้าง	1	2	3	4	5	6					
1.1 ความแข็งแรง	5	5	3	5	4	3	4.17	0.98	ดี	3.57	ดี
1.2 ถอดประกอบได้ง่าย	4	5	3	5	4	3	4.00	0.89	ดี		
1.3 การออกแบบที่เหมาะสม	4	5	2	3	4	3	3.50	1.05	ดี		
1.4 ขนาดของเครื่อง	4	3	3	4	3	2	3.17	0.75	ปานกลาง		
1.5 น้ำหนักเบา	3	3	2	5	3	2	3.00	1.10	ปานกลาง		
2. วัสดุ											
2.1 ประเภทของวัสดุตัวเครื่องมีความเหมาะสม	5	4	3	5	4	3	4.00	0.89	ดี	3.94	ดี
2.2 ประเภทของสายพานลำเลียง	5	5	3	3	4	4	4.00	0.89	ดี		
2.3 วัสดุของตะแกรง	5	5	3	3	3	4	3.83	0.98	ดี		
3. ความสะดวก											
3.1 ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่เหมาะสม	4	5	2	5	4	4	4.00	1.10	ดี	3.74	ดี
3.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิสามารถปรับและใช้งานได้สะดวก	5	4	3	4	3	4	3.83	0.75	ดี		
3.3 ชุดควบคุมความเร็วรอบสายพาน	4	4	2	4	4	3	3.50	0.84	ปานกลาง		
3.4 เคลื่อนย้ายสะดวก	5	4	3	5	4	3	4.00	0.89	ดี		
3.5 ตำแหน่งชุดควบคุมเหมาะสม	5	4	3	4	4	3	3.83	0.75	ดี		
3.6 ไฟสัญญาณแสดงสถานะของปุ่มชุดความคุม	5	4	3	4	3	4	3.83	0.75	ดี		
3.7 ตำแหน่งและขนาดของช่องใส่ข้าว	4	4	3	2	3	3	3.17	0.75	ปานกลาง		
4. การใช้งาน											
4.1 ความปลอดภัย	5	4	3	4	4	4	4.00	0.63	ดี	3.67	ดี
4.2 กำลังการผลิตของเครื่องเหมาะสม	3	3	2	3	3	3	2.83	0.41	ปานกลาง		
4.3 ความทนทาน	5	4	3	3	4	3	3.67	0.82	ดี		
4.4 ระดับเสียงขณะใช้งาน	4	4	3	5	3	5	4.00	0.89	ดี		
4.5 คู่มือการใช้งานเครื่องอ่านและเข้าใจง่าย	4	4	3	4	4	4	3.83	0.41	ดี		
5. ซ่อมบำรุง											
5.1 ซ่อมบำรุงง่าย	4	5	3	4	4	4	4.00	0.63	ดี	3.83	ดี
5.2 อะไหล่หาซื้อได้ง่าย	4	4	3	4	4	4	3.83	0.41	ดี		
5.3 คู่มือการซ่อมบำรุง	4	4	2	4	4	4	3.67	0.82	ดี		
ค่าเฉลี่ยรวม										3.75	

สรุปผลการวิจัย

1.สรุปการวิเคราะห์แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจก่อนทำการปรับปรุง

ซึ่งได้กำหนดให้ คะแนนที่รับได้คือ 2.50 ขึ้นไป ถ้ามีคะแนนที่ต่ำกว่า 2.50 จะต้องมีการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้เกิดความพึงพอใจของผู้ใช้เครื่อง จากตารางพบว่า 1.) ด้านโครงสร้าง คือ เรื่องของน้ำหนัก ได้คะแนนเฉลี่ยที่ 2.25 คะแนน 2.) ด้านวัสดุ ไม่พบปัญหาที่ต้องปรับปรุง 3.) ด้วนความสะดวก ไม่พบปัญหา 4.)ด้านการใช้งาน ไม่พบปัญหาที่ต้องปรับปรุง 5.) ด้านการซ่อมบำรุง ไม่พบปัญหาที่ต้องปรับปรุง และคะแนนเฉลี่ยโดยรวมการทำแบบประเมินความคิดเห็นและความพึงพอใจ ได้คะแนนเฉลี่ยที่ 3.39 คะแนนจาก 5 ซึ่งถือว่า ภาพโดยรวมผู้ใช้งานเกิดความพึงพอใจในการนำเครื่องไปใช้งาน

2.สรุปการวิเคราะห์แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจหลังทำการปรับปรุง

ซึ่งในรายละเอียดของแบบประเมินหลังการปรับปรุงไม่มีคะแนนที่ต่ำกว่า 2.50 และค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 3.75 คะแนนจาก 5 ซึ่งสูงกว่าก่อนทำการปรับปรุงอยู่ร้อยละ 10.62 จึงถือว่า ผู้ใช้งานเกิดความพึงพอใจใน

การนำเครื่องไปใช้งานมากขึ้น

3.สรุปการหาระยะเวลาคืนทุนของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

ถ้าโรงงานใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดจะมีค่าบรรจุน้อยมากจึงไม่นำมาคิดเท่ากับ 0 บาท ซึ่งค่าในการสร้างเครื่อและค่าใช้จ่ายเดือนแรกมีค่าเท่ากับ 179,407 บาท และเงินที่ประหยัดไปได้ 1 เดือนมีค่าเท่ากับ 180,000 บาท จึงสรุปว่า คุ้มทนภายในเดือนแรกเพราะสามารถประหยัดเงินได้เท่ากันค่าเครื่องตั้งแต่เดือนแรกที่ทำการใช้งาน

ข้อเสนอแนะ

จากการทำการประเมินหลังปรับปรุงประสิทธิภาพในส่วนระดับความพึงพอใจพบว่ามีรายละเอียดบางหัวข้ออยู่ในระดับปานกลาง ดั้งนี้ 1.) ในหัวข้อของโครงสร้าง คือ ขนาดของเครื่องและน้ำหนักเบา โดยจะต้องมีการปรับขนาดและน้ำหนักของเครื่องให้มีขนาดเหมาะสมกับโรงสี 2.) ความสะดวก คือ ชุบควบคุมความเร็วรอบสายพาน และตำแหน่งขนาดของช่องใส่ข้าว โดยจะต้องออกแบบชุบควมคุมความเร็วรอบสายพานให้มีขนาด การใช้งานที่สะดวกมากขึ้น และในส่วนของตำแหน่งและขนาดช่องใส่ข้าว ควรออกแบบในอยู่ในระดับที่ต่ำลงจากปกติเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน 3.) การใช้งาน คือ กำลังการผลิตของเครื่อง โดยจะต้องออกแบบเครื่องให้เหมาะสมต่อกำลังการผลิตเพื่อให้ทันต่อกำลังการผลิตของโรงงานนั้นๆ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทข้าวรัชมงคล จำกัด จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่อนุญาตให้นำเครื่องกำจัดมอดไปทดลองใช้ภายในโรงงาน และโครงการอุทยานวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนในการวิจัยและเครื่องกำจัดมอด

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์, สถานการณ์ข้าว, กรุงเทพฯ : กรมการค้าภายใน, 2553

[2] วรการ บัวนวล, การพัฒนาดัชนีวัด สมรรถนะกระบวนการโลจิสติกส์ของโรงสีข้าวหอมมะลิเพื่อการส่งออกจังหวัดร้อยเอ็ด, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2548

[3] กุสุมา นวลวัฒน์, แมลงศัตรูข้าวเปลือก และการป้องกันกำจัด, กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร, 2545

[4] ปริวรรต นาสวาสดิ์, การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ ในการออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2556

[5] กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์, มาตรฐานข้าวไทยและมาตรฐานข้ามหอมมะลิไทย, นนทบุรี : กรมการค้าต่างประเทศ, 2547

[6] สำนักงานพาณิชย์จังหวัดร้อยเอ็ด, ผลการศึกษาการยอมรับที่จะปฏิบัติตามข้อปฏิบัติ 10 ประการ ที่ทำให้ข้าวหอมมะลิคงความหอมยั่งยืนนาน, ร้อยเอ็ด : สำนักงานพาณิชย์จังหวัดร้อยเอ็ด, 2548

การปรับปรุงกระบวนการผลิตอาหาร โรงงานปลาส้มสันเวียงใหม่ (ศรีทนปลาส้ม) โดยใช้หลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร (GMP Codex)

The Improvement of Pla-Som San Wiang Mai Factory (Sri Thon Pla-Som) According to Good Manufacturing Practice (GMP Codex)

เอราวิล ถาวร*, อภิศักดิ์ วิทยาประภากร, คมกฤต เมฆสกุล
สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา เมือง พะเยา 56000
E-mail : nana_erawin@hotmail.com*
Erawin Thavorn*, Aphisak Witthayaprapakorn, Khomkit Meksagul
Industrial Engineering, School of Engineering, University of Phayao, Mueang, Phayao.56000
E-mail : nana_erawin@hotmail.com*

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความพร้อมของผู้ประกอบการและพัฒนาต้นแบบระบบ GMP Codex กรณีศึกษา โรงงานปลาส้มสันเวียงใหม่ (ศรีทนปลาส้ม) โดยโรงงานนี้ได้ผ่านการรับรองเกี่ยวกับมาตรฐาน GMP ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข และต้องการพัฒนาเป็นมาตรฐาน GMP Codex ซึ่งเป็นมาตรฐานระบบสากล โดยผลการประเมินด้วยหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร พบว่า ผ่านตามเกณฑ์ที่กระทรวงสาธารณสุข เมื่อประเมินความพร้อมเพื่อให้สอดคล้องกับระบบ GMP Codex ผลการประเมิน ยังไม่ผ่านเกณฑ์ เพราะมีการตรวจพบข้อบกพร่องในระดับ Serious ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้จัดทำข้อเสนอแนะในการปรับปรุงโครงสร้างและระบบการไหลต่างๆ เช่น เปลี่ยนทิศทางการระบายน้ำให้ไหลไปในทิศทางเดียวกัน และปรับทิศทางการระบายอากาศ เป็นต้น และมีการจัดทำเอกสารบันทึกผลการปฏิบัติงาน เช่น แบบบันทึกตรวจสุขลักษณะพนักงาน แบบบันทึกการรับเข้าวัตถุดิบ และการฝึกอบรมด้านสุขลักษณะ เพื่อพัฒนาให้ผ่านการประเมินและสอดคล้องระบบ GMP Codex

คำหลัก การประเมิน, หลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร, ปลาส้ม

Abstract

The purposes of the paper were to study Good Manufacturing Practice (GMP) according to The Ministry of Health (Thai law) and GMP CODEX (International regulation). Data from this audit was collected and plant model was developed complying with GMP CODEX. The evaluation criteria for a Good Manufacturing Practice was pass criteria of The Ministry of Public Health. On the other hand, audit result of GMP CODEX did not pass because it found the serious defects. Therefore, the researchers introduced to develop plant layout such as increasing the manufacturing process flow. For the example, change direction of water flow to flow one way and change ventilation by use curtain to separate each the room and so on. And issued records related with processing such as Check-list form, Personal Hygiene Inspection form, Raw material Inspection Form and Hygiene training program. Thus, to develop and ready for GMP CODEX audit in the future.

Keywords: Evaluation, Good Manufacturing Practice, Pla-Som

1. บทนำ

ธุรกิจ SME ในจังหวัดพะเยา มีการเติบโตขึ้นมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งธุรกิจที่เกี่ยวกับการแปรรูปอาหารท้องถิ่น อันได้แก่ การทำปลาส้มโดยปลาส้มนั้นถือว่าเป็นสินค้าของฝากของจังหวัดพะเยาที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากโดยมีการผลิตไม่ต่ำกว่า 5 ตัน หรือ 5 พันกิโลกรัมต่อวัน [1] และติดอันดับความนิยมในสินค้าชุมชนและท้องถิ่น หรือ OTOP ของจังหวัดพะเยา

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา หรือ อย. ได้กำหนดหลักเกณฑ์ขั้นต่ำในการดำเนินการสถานที่ผลิตอาหาร (Minimum Requirement) เพื่อให้สอดคล้องกับกฎกระทรวงฉบับที่ 1 ภายใต้ พ.ร.บ.อาหาร พ.ศ.2522 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ผลิตจัดสถานที่ เครื่องจักร อุปกรณ์และการดำเนินการเป็นไปตามหลักการขั้นต่ำในเรื่องสุขาภิบาลและสุขลักษณะเบื้องต้นซึ่งผู้ผลิตจะได้มีแนวทางในการดำเนินการที่ถูกต้องก่อนที่อาหารจะถึงผู้บริโภค ปัจจุบันกระทรวงสาธารณสุขได้มีการพัฒนาการควบคุมสถานที่ผลิตและกระบวนการผลิต โดยใช้หลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในการผลิตหรือที่เรียกว่า GMP (Good Manufacturing Practice) โดยออกเป็นประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 193) พ.ศ. 2543 เรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร (GMP สุขลักษณะทั่วไป) บังคับใช้กับกลุ่มอาหาร 57 ชนิด [2]

นอกจาก ระบบคุณภาพในอุตสาหกรรมอาหาร GMP แล้วยังมีระบบวิเคราะห์อันตรายและควบคุมจุดวิกฤต หรือ HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) ซึ่งเป็นระบบคุณภาพอาหารที่สูงขึ้นกว่า GMP และหลายประเทศเริ่มกำหนดกฎหมายบังคับให้ผู้ประกอบการต้องนำระบบ HACCP มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้แก่อาหารที่ผลิต และในปี พ.ศ. 2540 องค์การมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ (Codex) ร่วมกับ เอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอช โอ (FAO/WHO) ประกาศใช้ข้อแนะนำสำหรับการนำระบบการวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (Codex Alimentarius Supplement to Volume 1B-1997; Annex to CAC/RCP-1 (1969), Rev.3 (1997) : Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System and Guidelines for its Application) เป็นข้อกำหนดสากลโดยรวมหลักเกณฑ์ทั่วไปเกี่ยวกับสุขลักษณะอาหาร (Recommendation Codex Code of Practices : General Principle for Food Hygiene) ให้เป็นโปรแกรมพื้นฐานที่จะต้องดำเนินการ ซึ่งการที่ผู้ผลิตจะดำเนินการจัดทำระบบ HACCP นี้ ต้องมีพื้นฐานในเรื่องระบบ GMP ที่ดีเสียก่อน โดยเป็นระบบ GMP สากล หรือที่เรียกว่า GMP Codex ตามเส้นทางและลำดับขั้นตอนของระบบคุณภาพอาหารที่ดี [3]

รูปที่ 1 เส้นทางและลำดับขั้นตอนของระบบคุณภาพอาหารที่ดี

เนื่องจาก โรงงานผลิตอาหารแปรรูปปลาส้มสันเวียงใหม่ (ศรีทนปลาส้ม) ได้รับมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 193) พ.ศ. 2543 แล้ว และต้องการยกระดับมาตรฐานให้ดียิ่งขึ้น สามารถนำสินค้าปลาส้มซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนและท้องถิ่นของไทยส่งออกต่างประเทศได้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการจัดทำมาตรฐาน GMP Codex หรือ GMP สากล มาปรับปรุงเพื่อยกระดับมาตรฐานกระบวนการผลิตและเป็นอีกตัวช่วยในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีระดับความปลอดภัยเป็นที่น่าเชื่อถือในระดับโลกได้

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อประเมินความพร้อมของผู้ประกอบการในการเข้าสู่ระบบ GMP Codex

2.2 เพื่อพัฒนาผู้ผลิตสินค้าชุมชนและท้องถิ่นให้เป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบคุณภาพการผลิตสู่ระบบสากล

3. อุปกณ์และวิธีการดำเนินการ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาโครงงานเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ที่มุ่งเน้นการประเมินความพร้อมของผู้ประกอบการและพัฒนาต้นแบบระบบ GMP Codex

ในกระบวนการผลิตปลาส้ม ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกศึกษาที่โรงงานผลิตอาหารแปรรูปปลาส้มสันเวียงใหม่ (ศรีทนปลาส้ม) จังหวัดพะเยา เนื่องจาก โรงงานนี้เป็นสถานประกอบการที่ได้รับมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 193) พ.ศ. 2543 แล้ว โดยการตรวจสอบ (Audit) เพื่อประเมินผลตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขในการตรวจประเมิน GMP สุขลักษณะทั่วไป ของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และการประเมินความพร้อม (Evaluation) ตามข้อกำหนดมาตรฐาน GMP Codex ที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ได้กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน มอก. 34–2546 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การตรวจสอบ (Audit) เพื่อประเมินผลตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขในการตรวจประเมิน GMP สุขลักษณะทั่วไป

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นตามแบบประเมินทางด้านสุขลักษณะที่ดีในการผลิตของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 193) พ.ศ. 2543 ที่มีอยู่ 6 ข้อกำหนด ดังนี้ [4]

1. สถานที่ตั้งและอาคารผลิต
2. เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ในการผลิต
3. การควบคุมกระบวนการผลิต
4. การสุขาภิบาล
5. การบำรุงรักษาและการทำความสะอาด
6. บุคลากรและสุขลักษณะ

โดยใช้หลักเกณฑ์การประเมินโดยการให้คะแนนในการตรวจ GMP สุขลักษณะทั่วไป เพื่อสำรวจปัญหาและความพร้อมก่อนจะใช้เป็นแนวทางในการจัดทำระบบคุณภาพมาตรฐาน GMP Codex ซึ่งมีรายละเอียดหลักเกณฑ์การตัดสินใจในการให้คะแนนใน 3 ระดับ ตามคู่มือการตรวจสถานที่ผลิตอาหารตามหลักเกณฑ์ GMP สุขลักษณะทั่วไป [2] และเอกสารหลักเกณฑ์และเงื่อนไขในการตรวจประเมิน GMP ของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา รหัส RL–F7–2 [5] ดังนี้

ตาราง 1 ระดับการตัดสินใจในการให้คะแนน

ระดับ	นิยาม	คะแนนประเมิน
ดี	เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในบัญชีแนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 193) พ.ศ.2534 และฉบับแก้ไขเพิ่มเติม	2
พอใช้	เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในบัญชีแนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 193) พ.ศ.2534 และฉบับแก้ไขเพิ่มเติม แต่ยังพบข้อบกพร่องซึ่งยอมรับได้ เนื่องจากมีมาตรการป้องกันการปนเปื้อนในอาหาร หรือข้อบกพร่องนั้นไม่มีผลกระทบต่อความปลอดภัยโดยตรงกับอาหารที่ผลิต	1
ปรับปรุง	ไม่เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในบัญชีแนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 193) พ.ศ.2534 และฉบับแก้ไข	0

<u>วิธีการคำนวณคะแนนในแต่ละหัวข้อมีสูตร</u> ดังนี้

คะแนนที่ได้ = น้ำหนักคะแนนในแต่ละข้อ x คะแนนประเมินที่ได้

$$\text{ร้อยละของคะแนนที่ได้ในแต่ละหัวข้อ} = \frac{(\text{คะแนนที่ได้รวม} \times 100)}{\text{คะแนนรวมในแต่ละหัวข้อ}}$$

สำหรับ เกณฑ์การประเมินผลการตรวจสอบ จะต้องมีคะแนนรวมที่ได้ในแต่ละหัวข้อและคะแนนรวมทั้งสิ้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 จึงจะยอมรับผลการตรวจว่า “ผ่าน” การตรวจสอบตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขในการตรวจประเมิน GMP สุขลักษณะทั่วไป

3.2 การประเมินความพร้อม (Evaluation) ตามข้อกำหนดมาตรฐาน GMP Codex ที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กำหนดเป็นมาตรฐาน มอก. 34 – 2546

หลักการมาตรฐาน GMP Codex เป็นหลักการที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลมาใช้ปรับเป็นแนวทางการกำหนดระบบการควบคุมกระบวนการผลิตอาหารและการผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร โดยการจัดทำระบบเอกสารให้สอดคล้องตามข้อกำหนดมาตรฐานและใช้ระบบเอกสารเป็นเครื่องมือในการบริหารและติดตามประสิทธิผลของการจัดทำระบบโดยมุ่งประเด็นไปที่ขั้นตอน การเตรียมตัวขององค์กร หรือ Preliminary Step และขั้นตอนการประยุกต์ โดยนำมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) มอก. 34–2546 [6] มา

ปรับและประยุกต์กับมาตรฐานสุขลักษณะสถานแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำพื้นเมือง และข้อกำหนดสุขลักษณะในการผลิตผลิตภัณฑ์ประมง โดยมีหัวข้อสำคัญๆ ดังนี้ [3]

1. การออกแบบและสิ่งอำนวยความสะดวก
2. การควบคุมการปฏิบัติงาน
3. การบำรุงรักษาและการสุขาภิบาล
4. สุขลักษณะส่วนบุคคล
5. การขนส่ง
6. ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และการสร้างความเข้าใจให้กับผู้บริโภค
7. การฝึกอบรม

โดยหลักเกณฑ์การพิจารณาผลการประเมินความพร้อม GMP Codex ตามเกณฑ์มาตรฐานสุขลักษณะสถานแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำพื้นเมือง [7] และข้อกำหนดสุขลักษณะในการผลิตผลิตภัณฑ์ประมง [8] ของกรมประมง มีการกำหนดเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

Critical (C) หมายถึง การปฏิบัติที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของกรมประมง และมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นไม่ปลอดภัยต่อการบริโภคหรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

Serious (Se) หมายถึง การปฏิบัติที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของกรมประมง มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์นั้น ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค และข้อบกพร่องดังกล่าวไม่จัดอยู่ในระดับ Critical

Major (M) หมายถึง การปฏิบัติที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของกรมประมง มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์นั้น อาจไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค และข้อบกพร่องดังกล่าวไม่จัดอยู่ในระดับ Critical และ Serious

Minor (N) หมายถึง การปฏิบัติที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของกรมประมง แต่ไม่มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค และข้อบกพร่องดังกล่าวไม่จัดอยู่ในระดับ Critical Serious และMajor

ตาราง 2 เกณฑ์การประเมิน

	จำนวนข้อบกพร่อง			
	C	Se	M	N
ไม่ผ่าน	> 0	2	15	-

หมายเหตุ: 5 Minor = 1 Major

หากมีจำนวนข้อพกร่องมากกว่าเกณฑ์การประเมินตามตาราง 2 ถือว่า “ไม่ผ่าน” การประเมินความพร้อมตามข้อกำหนดมาตรฐาน GMP Codex

4. ผลการทดลอง

การดำเนินการเก็บข้อมูลเบื้องต้นตามแบบประเมินทางด้านสุขลักษณะที่ดีในการผลิตของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ซึ่งมีผลการตรวจประเมิน GMP สุขลักษณะทั่วไป ดังต่อไปนี้

ตาราง 3 ค่าการประเมินกระบวนการผลิตปลาส้มศรีทน ตามหลักเกณฑ์ GMP สุขลักษณะทั่วไป

ข้อ	รายการ	น้ำหนักคะแนน	คะแนนที่ได้	ร้อยละ (%)
1	สถานที่ตั้งและอาคารผลิต	19	13.00	68.42
2	เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต	8	5.00	62.50
3	การควบคุมกระบวนการผลิต	25	16.50	66.00
4	การสุขาภิบาล	15	9.00	60.00
5	การบำรุงรักษาและการทำความสะอาด	13	8.00	61.54
6	บุคลากรและสุขลักษณะผู้ปฏิบัติงาน	15	11.50	76.67
	รวม	95	63.00	66.32

จากตาราง 3 พบว่า กระบวนการผลิตปลาส้มศรีทนอยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐาน หรือ ผ่านการประเมิน (66.32%)

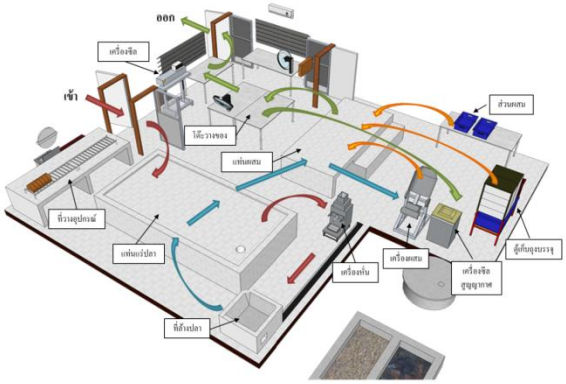
ส่วนการประเมินความพร้อมตามหลักมาตรฐาน GMP Codex มีผลการประเมินดังนี้

ตาราง 4 ค่าการประเมินความพร้อมตามหลักมาตรฐาน GMP Codex

ข้อ	รายการ	C	Se	M	N
1	การออกแบบและสิ่งอำนวยความสะดวก	-	1	8	3
2	การควบคุมการปฏิบัติงาน	-	1	7	-
3	การบำรุงรักษาและการสุขาภิบาล	-	1	3	2
4	สุขลักษณะส่วนบุคคล	-	-	4	2
5	การขนส่ง	-	-	2	1
6	ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และการสร้างความเข้าใจให้กับผู้บริโภค				
7	การฝึกอบรม	-	-	1	-
	รวม	0	3	25	8

จากตาราง 4 พบว่า การประเมินความพร้อมตามหลักมาตรฐาน GMP Codex ยังพบข้อบกพร่อง ซึ่งจากผลการประเมิน ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน จึงต้องมีการ

ปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นโดยเฉพาะหัวข้อ Serious (Se) จะต้องมีการปรับปรุงอย่างเร่งด่วนเพื่อให้ตรงตามมาตรฐาน GMP Codex อันได้แก่ หมวดที่ 1 การออกแบบผังโรงงานและสิ่งอำนวยความสะดวกของการจัดวางผังภายในของสถานประกอบการ เพื่อการป้องกันการปนเปื้อนข้าม (Cross–Contamination) ช่วงของการผลิต



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตโรงงานปลาส้มศรีทน

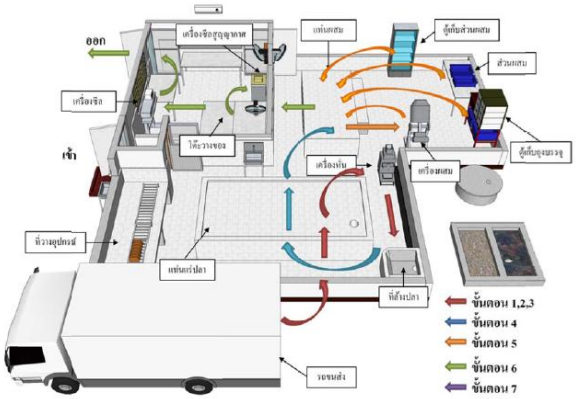
หมวดที่ 2 การควบคุมการปฏิบัติงานเป็นการระบุขั้นตอนในการปฏิบัติงานซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญต่อความปลอดภัยของอาหาร โดยต้องมีระบบการตรวจติดตามวิธีการควบคุมคุณภาพตั้งแต่กระบวนการรับวัตถุดิบตลอดทั้งลูกโซ่อาหาร จึงต้องมีการจัดทำระบบเอกสารขั้นตอนระเบียบวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction) และเอกสารการตรวจสอบต่างๆ (Check-list) โดยการปรับปรุงโครงสร้าง การควบคุมกระบวนการผลิตและคุณภาพวัตถุดิบใน ระบบ GMP ให้มีประสิทธิภาพสูงก็จะเป็นการลดจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมซึ่งสามารถนำระบบ HACCP มาประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [9]

หมวดที่ 3 การบำรุงรักษาและการสุขาภิบาลซึ่งสถานประกอบการอยู่ในสภาพที่ต้องมีการปรับปรุงซ่อมแซมเพื่อป้องกันการปนเปื้อน เช่น อ่างล้างมือต้องเป็นแบบมีก๊อกน้ำที่ไม่ใช้มือ ปิด-เปิด พร้อมสบู่เหลว และอุปกรณ์ทำให้มือแห้ง เป็นต้น

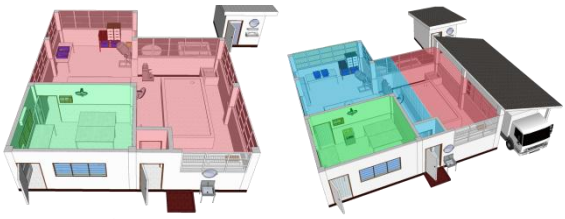
รูปที่ 3 อ่างล้างมือหน้าโรงงาน

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

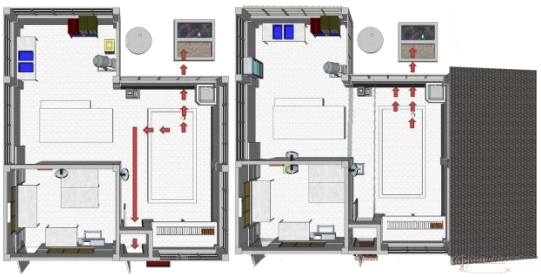
จากข้อมูลพื้นฐานและการประเมินผลตามหลักเกณฑ์และเงื่อนไขในการตรวจประเมิน GMP สุขลักษณะทั่วไปของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และตามข้อกำหนดมาตรฐาน GMP Codex ที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ได้กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน มอก. 34–2546 พบว่าโรงงานผลิตอาหารแปรรูปปลาส้มสันเวียงใหม่ (ศรีทนปลาส้ม) จังหวัดพะเยา สามารถผ่านการตรวจสอบตามการประเมิน GMP สุขลักษณะทั่วไป แต่ยังไม่ผ่านการประเมินความพร้อมตามหลักมาตรฐาน GMP Codex จึงมีข้อเสนอแนะให้ปรับเปลี่ยนผังโรงงานและทิศทางการไหลต่างๆ ในการกระบวนการผลิต ดังรูป



รูปที่ 3 การปรับเปลี่ยนผังโรงงานและกระบวนการผลิต



รูปที่ 4 ทิศทางการไหลของอากาศ (ก่อน – หลัง)



รูปที่ 5 ทิศทางการไหลของน้ำเสีย (ก่อน – หลัง)

ดังนั้น การปรับปรุงโรงงานและเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตจึงกลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความสำเร็จในการพัฒนาและจัดทำระบบ GMP Codex และก็เป็นปัญหาและอุปสรรคในการปรับปรุงและพัฒนา เนื่องจากเป็นสถานประกอบการขนาดเล็ก มีพนักงานไม่มากและใช้พื้นที่โรงงานเป็นส่วนหนึ่งในการพักอาศัย รวมถึงมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงในการซ่อมแซมและปรับปรุงผังโรงงานเพื่อให้เข้าข่ายระบบ GMP Codex ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศรีวรรณ วิริยะดำรงค์ [10]

เอกสารอ้างอิง

[1] จังหวัดพะเยา, ปลาส้ม สินค้า OTOP ของฝากจังหวัดพะเยา, ข้อมูลจาก http://www.visitphayao.com/th/otop/pickledfish (วันที่สืบค้นข้อมูล 6 ตุลาคม 2555)

[2] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, คู่มือการตรวจสถานที่ผลิตอาหารตามหลักเกณฑ์ GMP สุขลักษณะทั่วไป, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2555

[3] กัลยาณี ดีประเสริฐวงศ์, ระบบคุณภาพอาหาร (Quality System) : GMP/HACCP, ข้อมูลจาก http://iodinethailand.fda.moph.go.th/food_54/data/document/2554/GMP4-3_System_Definition.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 6 ตุลาคม 2555)

[4] ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 193) พ.ศ. 2543, วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร, ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป, เล่ม 118 ตอนพิเศษ 6ง., ลงวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2544

[5] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, หลักเกณฑ์และเงื่อนไข ในการตรวจประเมิน GMP, ข้อมูลจาก http://iodinethailand.fda.moph.go.th/food_54/data/document/2554/GMP2.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 25 กุมภาพันธ์ 2556)

[6] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, ข้อปฏิบัติแนะนำระหว่างประเทศ : หลักการทั่วไปเกี่ยวกับสุขลักษณะอาหาร มอก. 34–2546, ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป, เล่ม 121 ตอนที่ 31ง., ลงวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2547

[7] กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ, แนวทางการผลิตอาหารตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดี (จี.เอ็ม.พี) ฉบับสมบูรณ์, ข้อมูลจาก http://www.fisheries.go.th/industry/files/academic/001.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 25 กุมภาพันธ์ 2556)

[8] กองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ, ข้อกำหนดสุขลักษณะในการผลิตผลิตภัณฑ์ประมง, ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, พิมพ์ครั้งที่ 2, 2555

[9] กิตติศักดิ์ วสันติวงศ์และคณะ, การวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมในกระบวนการผลิตข้าวสารบรรจุถุง, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 ม.ค.-เม.ย. 2554

[10] ศรีวรรณ วิริยะดำรง, การประยุกต์ใช้ระบบมาตรฐานหลักเกณฑ์ วิธีการที่ดีในการผลิต (GMP) ของหน่วยผลิตเต้าหู้นมสด ร้านแม่นุ้ย จังหวัดเพชรบุรี, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, 2550

การพัฒนาเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนจากการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่อง CNC

The development of carbon dust protector for products molding in CNC

ดวงใจ ทาแก้ว[1*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
หนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530 E-mail: tduangja@mut.ac.th

Duangjai Tarkew[1*]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology
Nongjok, Bangkok, 10530, E-mail: tduangja@mut.ac.th[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการติดตั้งของกระบวนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน พบว่าการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน มีความล้าช้าส่งผลให้ระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงานนาน ผู้วิจัยจึงนำแนวคิดการแก้ปัญหาโดยการพัฒนาเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนมาช่วยในการทำงานของกระบวนการติดตั้ง เพื่อเสริมให้กระบวนการติดตั้งเร็วขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน หลังจากทำการปรับปรุงวิธีการทำงานตามกระบวนการใหม่สามารถลดเวลา จากเดิมเฉลี่ย 6,279.2 วินาที เป็น 645.6 วินาทีคิดเป็น 89.78 %

คำหลัก ลดเวลา,กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน,เครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน

Abstract

This research aims to reduce the installation time of carbon dust protector in forming process. Due to the problems occurring during the installation of carbon dust protector in forming process, the processes take too long time, resulting in a delay of works. Therefore, we, the researchers, come up with the solution by enhancing the carbon dust protector to improve the installation processes to increase rate of installation and effectiveness of forming process. After the enhancement, we can reduce the installation time from 6,279.2 seconds to 645.6 seconds which is accounted for 89.78%

Keywords: Reduced time, Forming process, Carbon dust protector

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเหล็กและคาร์บอนถือได้ว่าเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญในการพัฒนาประเทศ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีความเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่นๆ เป็นจำนวนมาก ทำให้ความต้องการของผู้บริโภคมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องทำการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค บริษัท พซัน เมคคานิคอล จำกัด ซึ่งเป็นหนึ่งในผู้ประกอบกิจการด้านขึ้นรูปชิ้นส่วนโลหะและคาร์บอนเมื่อทำการขึ้นรูปชิ้นส่วนคาร์บอนจะพบปัญหาในการติดตั้งเครื่องมือล่าช้า ส่งผลให้ต้นทุนสูงขึ้นเนื่องจากต้องทำงานเกินเวลา และเสียเวลาโดยเปล่าประโยชน์ จึงจำเป็นจะต้องลดเวลาการติดตั้งเครื่องมือ ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการการนำเอาทฤษฎีการศึกษาการทำงาน (Work Study) และทฤษฎีด้านวิศวกรรมการเขียนแบบด้วย Solidwork นำมาประยุกต์ใช้พัฒนาเครื่องป้องกันฝุ่นคาร์บอน โดยได้คำนึงถึงการลดเวลาในการติดตั้งเครื่องมือเป็นหลัก เพื่อให้ลดเวลาในการติดตั้งเครื่องมือป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนและช่วยทำให้มีเวลานำไปใช้เพิ่มผลผลิตได้มากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการดำเนินงาน

2.1 การศึกษางาน [1], [2], [3]

2.1.1 ความหมายของการการศึกษางาน การศึกษางานเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการผลิตหรือบริการ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในนามของ การศึกษาการเคลื่อนที่ (Time and Motion Study) การศึกษางาน (work study) เป็นคำที่ใช้แทนวิธีการต่างๆ จากการศึกษาวิธีการทำงาน และการวัดผลงาน ซึ่งใช้ในการศึกษาวิธีการทำงานของคนอย่างมีระเบียบแบบแผนและพิจารณาองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและสภาวะของการทำงานเพื่อปรับปรุงการทำงานนั้นให้ดีขึ้น

2.2 เทคนิคของการวัดงาน [1], [2], [3]

2.2.1 การศึกษาเวลาโดยตรง การศึกษาโดยตรงเป็นเทคนิคการวัดผลงานอย่างหนึ่งโดยผู้ที่ทำการวัดผลงานไปดูการปฏิบัติงานของคนงานและจับเวลาในการทำงานนั้นด้วยนาฬิกาจับเวลา

การศึกษาจับเวลาโดยตรง นอกจากทำให้ทราบเวลาที่ใช้ในการทำงานนั้นๆ แล้วยังสามารถนำไปหาเวลามาตรฐานของงานนั้น และยังสามารถทำงานแล้วเสร็จด้วยอัตราการทำงานปกติตามวิธีการที่กำหนดให้ เรียกว่า เวลามาตรฐาน การศึกษา

การศึกษาเวลา คือ การหาเวลาการทำงานโดยคนงานที่เหมาะสมซึ่งได้ผ่านการฝึกอบรมวิธีการทำงานนั้นมาอย่างดี สามารถทำงานแล้วเสร็จด้วยอัตราการทำงานปกติตามวิธีการที่กำหนดให้ เวลานี้เรียกว่า เวลามาตรฐาน

2.3 องค์ประกอบของเวลามาตรฐาน[1], [2], [3]

2.3.1 การเลือกพนักงานที่จะศึกษา การศึกษาเวลาโดยอาศัยการจับเวลา มักมีผลโดยตรงต่อคนทำงานทางด้านจิตใจ ดังนั้นจึงอธิบายให้พนักงานทราบถึงเหตุผลของการจับเวลา ว่าต้องการศึกษาดูเวลาเฉลี่ยของการทำงาน และดูว่างานที่ทำนั้นถูกต้องตามวิธีที่กำหนดไว้ด้วยอัตราความเร็วใกล้เคียงกับมาตรฐานที่ต้องการ

2.3.2 การแบ่งขั้นตอนงานออกเป็นงานย่อย งานย่อย หมายถึง หน่วยย่อยของงาน ซึ่งเห็นได้ชัดเจนสามารถอธิบาย และจับเวลาได้ ดังนั้นงานย่อยนี้ต้องไม่เล็กเกินไป หรือใหญ่เกินไปจนซับซ้อน

2.3.3 การสังเกตและจับเวลาทำงานในแต่ละขั้นตอนในการบันทึกข้อมูล นาฬิกาที่ใช้จับเวลาใช้เป็นแบบวินาที การจับเวลาของแต่ละงานย่อย เข็มนาฬิกาเริ่มต้นที่ 0 ทุกครั้ง

2.3.4 การกำหนดจำนวนครั้งที่ต้องจับเวลา การศึกษาเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลานั้นข้อมูลจะมีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องจากความแปรปรวนของงานความเร็วของพนักงานในการทำงาน

2.4 ประเมินอัตราความเร็วของพนักงาน[1], [2], [3]

วิธีประเมินอัตราการทำงานใช้วิธี " Westinghouse System of Rating " โดยพิจารณาจากองค์ประกอบ 4 ตัว คือ

2.4.1 ทักษะหรือความชำนาญ (Skill) คือ ความชำนาญในงานที่ทำ

2.4.2 ความพยายาม (Effort) คือ ความตั้งใจหรือความใส่ใจในการทำงานนั้นๆ

2.4.3 สภาพเงื่อนไขการทำงาน (Condition) คือ สภาพแวดล้อมโดยทั่วไปในการทำงานนั้นๆ

2.4.4 ความสม่ำเสมอ (Consistency) คือการรักษาความเร็วจังหวะหรือระดับของผลงานในการทำงาน

2.5 การคำนวณหาเวลาปกติ[1], [2], [3]

หลังจากได้ทำหาเวลาปกติแล้ววิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการทำงานจริงเฉลี่ย (Selected Time) และหาค่าประสิทธิภาพในการทำงาน (Rating Factor) ดังนั้นเราสามารถหาเวลาปกติของงานย่อยๆ ได้โดยวิธีการคำนวณดังนี้

$$NT = ST \times RF \quad (1)$$

เมื่อ NT = เวลาปกติ (Normal Time)
ST = เวลาที่ใช้ในการทำงานจริง (Selected Time)
RF = ประสิทธิภาพในการทำงาน (Rating Factor)

2.6 การคำนวณหาเวลาลดหย่อน[1], [2], [3]

เนื่องจากพนักงานจำเป็นต้องมีเวลาสำหรับทำกิจส่วนตัวสำหรับการพักเหนื่อย และสำหรับการสูญเสียอันเนื่องจากสาเหตุที่เหลีกเลี่ยงไม่ได้ การกำหนดเวลาลดหย่อนเหล่านี้ควรพิจารณาต่างจากส่วนของการให้ค่าปรับอัตราความเร็วในการทำงาน เวลาเวลาลดหย่อนเป็นเวลาที่บวกเพิ่มให้เวลาที่ใช้ทำงานจริงๆ ค่าเวลาลดหย่อนนี้แบ่งออกเป็นสามส่วนคือเวลาลดหย่อนส่วนบุคคล (Personal Allowance) โดยทั่วไปแล้วจะอยู่ระหว่าง 4.5% - 6.5% แต่ในอุตสาหกรรมทั่วไปมักกำหนดไว้ที่ 5% ของเวลาทำงานทั้งหมด ดังนั้นใน 1 วันมีเวลาทำงาน 8 ชั่วโมงเต็มหรือเท่ากับ 480 นาที จะมีเวลาลดหย่อนส่วนบุคคล = 0.05X 8 X 60 =24 นาที เวลาลดหย่อนความเครียด (Fatigue Allowance ดังนั้นค่าเวลาลดหย่อนความเครียดพื้นฐาน (Basic Fatigue Allowance) เป็นค่าคงที่สำหรับงานทั่วๆไปเวลาลดหย่อนความล่าช้า (Delay Allowance) ความล่าช้าที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในหลากหลายรูปแบบ แบบหลีกเลี่ยงได้ (Avoidable Delay) ดังนั้นเวลาลดหย่อนแบบหลีกเลี่ยงได้จะไม่นำมาคิดในการคำนวณเวลามาตรฐาน แบบหลีกเลี่ยงไม่ได้ (Unavoidable Delay) มักเกิดกะทันหันจากการทำงานแบบหลีกเลี่ยงไม่ได้ ความล่าช้าต่างๆ เหล่านี้ถือว่าเกิดจากการขาดประสิทธิภาพในระบบการทำงาน จึงควรพยายามลดการเกิดนี้ให้ลดเหลือน้อยที่สุด เพื่อการหาค่าเวลามาตรฐานได้มีความน่าเชื่อถือดังนั้นจึงใช้ตารางวิเคราะห์เวลาเผื่อของการทำงานเพื่อหาเวลาเผื่อ

2.7 การคำนวณหาเวลามาตรฐาน[1],[2],[3]

ในการศึกษาเพื่อหาเวลามาตรฐานนั้น จึงควรเริ่มการวิเคราะห์งาน บันทึกสภาพการทำงานตามปกติของงาน พร้อมกับเลือกพนักงานที่มีความชำนาญหรือคุ้นเคยกับงานเป็นอย่างดี และทำงานนั้นๆ ด้วยความเร็วที่สม่ำเสมอ หลังจากเราได้คำนวณหาเวลาปกติ (Normal Time) และหาเวลาค่าเผื่อต่างๆ (Allowance Time) ได้แล้วดังนั้นเราสามารถหาเวลามาตรฐานได้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง[4], [5]

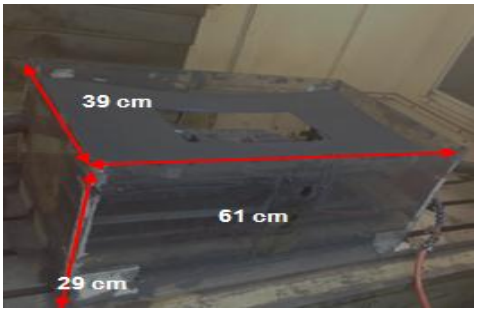
2.8.1 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการทำงานของกระบวนการตกแต่งชิ้นงาน เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตกแต่งชิ้นงานของแผนก พบว่าการเจียระไนฝามอเตอร์ VC200 มีความล้าช้าทำให้เกิดจุดคอขวด ซึ่งส่งผลให้การทำงานเกิดความล้าช้าในแผนก

2.8.2 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการปรับตั้งลูกอัดสำหรับการผลิต ไม้ฝาสังเคราะห์ เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวใช้เวลาสูงสุดในการปรับตั้งเครื่องจักรในแต่ละครั้ง โดยปัญหาดังกล่าวเกิดจากการมีขั้นตอนการทำงานที่เกินความจำเป็นหรือไร้ประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้เสียเวลาและเกิดความสูญเสียของทรัพยากรขึ้น ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้ใช้ความรู้ในด้านการศึกษาเวลา การศึกษาวิธีการทำงาน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน (ก่อนปรับปรุง)

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับขนาดของเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน เพื่อทำการวิเคราะห์หาข้อมูล

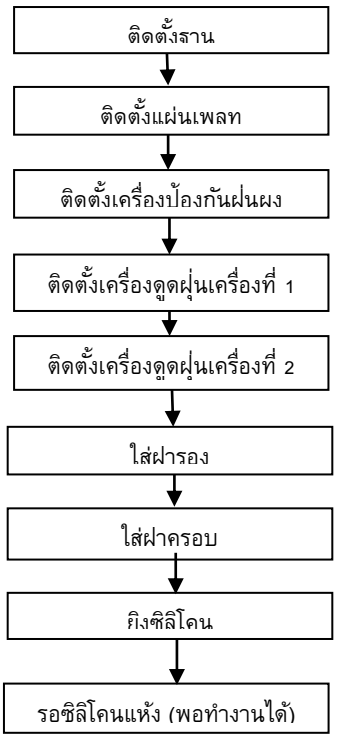


รูปที่ 1 ขนาดของเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน (ก่อนปรับปรุง)

จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงความกว้างและความยาวในส่วนของตัวกล่องของเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน

3.2 ศึกษาขั้นตอนกระบวนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน (ก่อนปรับปรุง)

ศึกษาขั้นตอนการติดตั้งแต่ละขั้นตอนและวิเคราะห์หาสาเหตุจาก Flowchart ดังนี้



รูปที่ 2 Flowchart แสดงกระบวนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน (ก่อนปรับปรุง)

จากรูปที่ 2 Flowchart แสดงกระบวนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน พบปัญหาในการติดตั้งเครื่องมือล่าช้า ซึ่งขั้นตอนการยิงซิลิโคนแล้วรอให้ซิลิโคนแห้ง ทำให้เสียเวลาในการผลิตและส่งผลให้ต้นทุนสูงขึ้นเนื่องจากต้องทำงานเกินเวลา และเสียเวลาโดยเปล่าประโยชน์ จำเป็นจะต้องลดเวลาการติดตั้งเครื่องมือลง จึงเป็นปัญหาในการทำวิจัยในครั้งนี้

3.3 ศึกษาเวลากระบวนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน (ก่อนปรับปรุง)

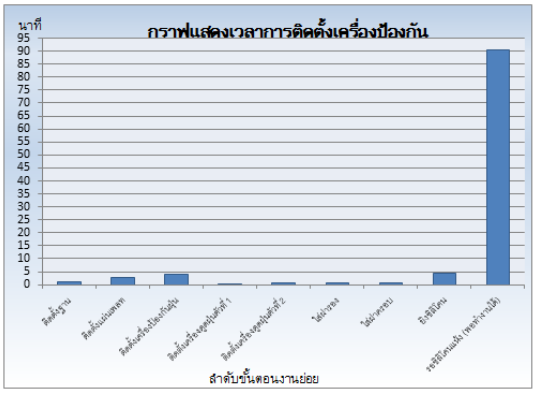
ศึกษาเวลาในกระบวนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน (ก่อนปรับปรุง) โดยที่ให้แต่ละขั้นตอนจะจับเวลาเฉพาะส่วนของการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน ดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงตารางเวลาแต่ละขั้นตอนในส่วนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน (ก่อนปรับปรุง)

ขั้นตอน	รายละเอียดการทำงาน	เวลาย่อยในแต่ละขั้นตอน (วินาที)					เวลาเฉลี่ย
1	ติดตั้งฐาน	65	63	61	64	63	62.7
		61	64	62	61	63	
2	ติดตั้งแผ่นเพลท	179	175	177	178	176	176.6
		175	178	176	175	177	
3	ติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน	232	236	234	236	237	234.2
		233	235	231	235	233	
4	ติดตั้งเครื่องดูดฝุ่นเครื่องที่ 1	26	29	25	27	26	26.3
		28	24	26	27	25	
5	ติดตั้งเครื่องดูดฝุ่นเครื่องที่ 2 และเครื่องเปาลม	35	32	35	34	37	33.9
		34	31	35	32	34	
6	ใส่ฝารอง	34	30	32	28	31	30.3
		29	28	32	30	29	

ตารางที่ 2 แสดงตารางเวลาแต่ละขั้นตอนในส่วนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน (ก่อนปรับปรุง) ต่อ

ขั้นตอน	รายละเอียดการทำงาน	เวลาย่อยในแต่ละขั้นตอน (วินาที)					เวลาเฉลี่ย
7	ใส่ฝาครอบ	30	32	28	32	30	30.8
		29	34	30	32	31	
8	ยิงซิลิโคน	255	261	272	270	265	263.8
		260	259	267	263	266	
9	รอเวลาซิลิโคนแห้ง (พอทำงานได้)	5440	4880	5713	5340	5400	5420.6
		5580	5364	5665	5310	5514	
เวลาเฉลี่ยรวม		6279.2					



รูปที่ 3 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน

3.4 สรุปการวิเคราะห์

จากการศึกษาการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนจากการขึ้นรูปด้วยเครื่อง CNC ได้พบว่าสาเหตุที่ทำให้กระบวนการติดตั้ง ใช้เวลานานนั้นมีอยู่หลายสาเหตุด้วยกัน จากการวิเคราะห์หาสาเหตุพบสาเหตุหลักคือ กระบวนการติดตั้งซึ่งใช้เวลานาน ผู้วิจัยจึงได้ลงความเห็นว่าควรพัฒนาเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนขึ้นมาเพื่อช่วยให้ลดเวลาในการติดตั้ง และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้รวดเร็วยิ่งขึ้น

4. การศึกษาการออกแบบและการทดลอง

4.1 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อออกแบบเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน

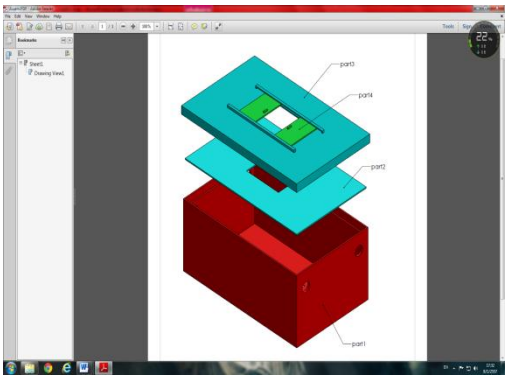
4.1.1 แนวคิดในการออกแบบเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนผู้วิจัยมีแนวคิดในการออกแบบเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน โดยมุ่งเน้นจากขนาดของอุปกรณ์และทิศทางของหัวกลึงเครื่อง CNC ในขณะทำงาน ปัจจัยสำคัญก็คือ ฝาของเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนที่มีขนาดความกว้าง 39 เซนติเมตร ความยาว 62 เซนติเมตร และมีช่องตรงกลางขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร และความยาว 27 เซนติเมตร

4.1.2 หลักการออกแบบเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนได้มีการออกแบบตามหลักของการทำงานและหน้าที่ของอุปกรณ์ในการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน

ขั้นตอนที่ 1 หลักในการออกแบบจะพิจารณาจากหลักการทำงานของอุปกรณ์เดิมโดยทำการปรับปรุงจากหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์เดิม

ขั้นตอนที่ 2 หลักการที่จะใช้ออกแบบโดยการออกแบบพิจารณาจากความสะดวกต่อการทำงาน และลดเวลาในการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน โดยการปรับปรุงกระบวนการการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนใหม่ให้ทำงานง่ายสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น

ขั้นตอนที่ 3 ดำเนินการออกแบบเครื่องและเขียนแบบด้วยโปรแกรม Solidwork โดยนำหลักการการออกแบบจากขั้นตอนที่ 1 และ 2 เพื่อสร้างเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนขึ้นมาดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4 แสดงแบบเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน (Solidwork)

4.1.3 การเลือกใช้วัสดุ การเลือกวัสดุในการทำเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนเลือกวัสดุที่เลือกมา 3 ชนิดนี้เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายหาง่ายตามท้องตลาดและมีราคาไม่

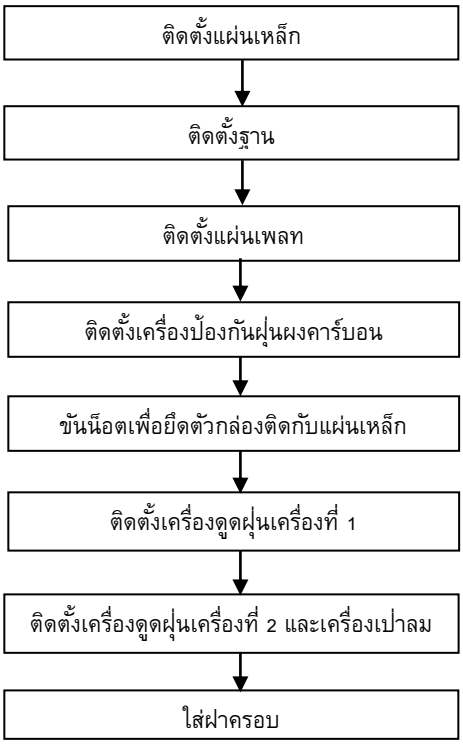
แพงมากเกินไปและมีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำมาทำเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนที่แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 3 การเลือกวัสดุทำเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน

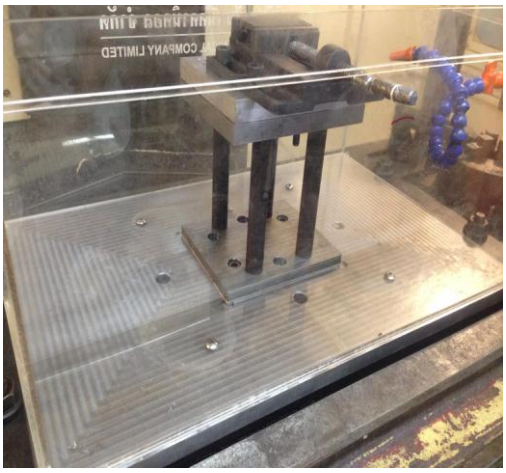
ชนิดของวัสดุ	มีความทนทาน	น้ำหนักเบา	ราคาถูก	หาซื้อได้ง่าย	ขึ้นรูปได้ง่าย
เหล็ก	√		√	√	
อะคริลิค	√	√	√	√	√
อะลูมิเนียม	√			√	

4.2 ศึกษาขั้นตอนกระบวนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน (หลังปรับปรุง)

ศึกษาขั้นตอนและวิธีการติดตั้งทั้ง 8 ขั้นตอนจาก Flowchart ดังนี้



รูปที่ 5 Flowchart แสดงกระบวนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน (หลังปรับปรุง)



รูปที่ 6 แสดงภาพขันน็อตเพื่อยึดกล่องกับแผ่นเหล็ก

จากรูปที่ 6 ขันน็อตจำนวน 8 ตัว เพื่อยึดให้ตัวกล่องติดกับแผ่นเหล็ก เพื่อป้องกันไม่ให้กล่องเคลื่อนไหวขณะที่ขึ้นรูปชิ้นงาน หลังจากที่ได้พัฒนาเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนโดยมีรูปร่างที่แข็งแรงและไม่ต้องยิงซิลิโคนมาใช้งาน โดยลดเวลาช่วงยิงซิลิโคนออกไป แต่เปลี่ยนมาเป็นขันน็อต 8 จุดแทน

4.2 ศึกษาเวลาในกระบวนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน (หลังปรับปรุง)

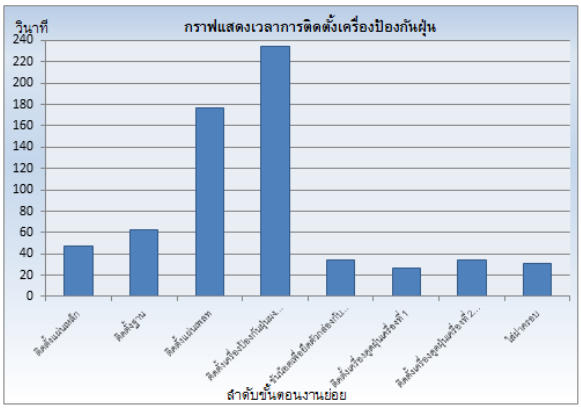
การศึกษาเวลาของกระบวนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน หลังจากการปรับปรุง (จากการจับเวลา) คือศึกษาด้านเวลาการติดตั้ง โดยเวลาการติดตั้งแต่ละขั้นตอนในส่วนของกระบวนการขึ้นรูปแผ่นคาร์บอนหลังจากการพัฒนาเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน ขั้นตอนในการทำงานมีการเปลี่ยนแปลง โดยลดเวลาช่วงยิงซิลิโคนออกไป แต่เปลี่ยนมาเป็นขันน็อต 8 จุดแทน เพื่อทำการเปรียบเทียบเวลาก่อนและการปรับปรุงดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงตารางเวลาแต่ละขั้นตอนในส่วนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน (หลังปรับปรุง)

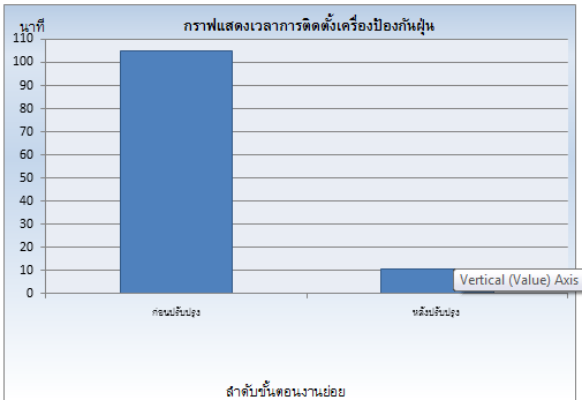
ขั้นตอน	รายละเอียดการทำงาน	เวลาย่อยในแต่ละขั้นตอน (วินาที)					เวลาเฉลี่ย
1	ติดตั้งแผ่นเหล็ก	47	48	45	46	48	46.9
		47	50	45	48	45	
2	ติดตั้งฐาน	65	63	61	64	63	62.7
		61	64	62	61	63	
3	ติดตั้งแผ่นเพลท	179	175	177	178	176	176.6
		175	178	176	175	177	
4	ติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน	232	236	234	236	237	234.2
		233	235	231	235	233	
5	ขันน็อตเพื่อยึดตัวกล่องติดกับแผ่นเหล็ก	33	35	36	34	34	34.2
		35	33	35	33	34	
6	ติดตั้งเครื่องดูดฝุ่นเครื่องที่ 1	26	29	25	27	26	26.3
		28	24	26	27	25	
7	ติดตั้งเครื่องดูดฝุ่นเครื่องที่ 2 และเครื่องเป่าลม	35	32	35	34	37	33.9
		34	31	35	32	34	
8	ใส่ฝาครอบ	30	32	28	32	30	30.8
		29	34	30	32	31	
เวลาเฉลี่ยรวม		645.6					

4.3 สรุปเปรียบเทียบการดำเนินโครงงาน

จากการศึกษาในเรื่องการลดเวลาในการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นคาร์บอนด้วยเครื่อง CNC หลังจากที่ได้พัฒนาเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนโดยมีรูปร่างที่แข็งแรงและไม่ต้องยิงซิลิโคน พบว่าเวลาที่ใช้ในการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนจากก่อนปรับปรุงจะใช้เวลาในการติดตั้ง 104.7 นาที และเมื่อทำการปรับปรุงแล้วเวลาในการติดตั้งลดลงเหลือ 645.6 วินาที หรือประมาณ 10.7 นาที



รูปที่ 7 แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในกระบวนการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นคาร์บอนหลังจากทำการปรับปรุง



รูปที่ 8 แสดงเวลาก่อนและหลังการปรับปรุงการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน

จากรูปที่ 8 จะแสดงให้เห็นเวลาการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนหลังจากการปรับปรุงโดยการทำงานมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งลดเวลาช่วงยิงซิลิโคนออกไป เปลี่ยนมาเป็นขันน็อต 8จุดแทน ทำให้เวลาลดลงจากเดิม 104.7 นาที เป็น 10.7 นาที

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

การลดเวลาในการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอน จากเดิมที่ใช้การยิงซิลิโคนเปลี่ยนมาเป็นขันน็อต 8 จุด ก็เพราะว่าการขันน็อตเป็นการจับยึดได้อย่างมั่นคงและสะดวกกว่าวัสดุอุปกรณ์ชนิดอื่น โดยผลออกมาเป็นที่น่าพอใจของทางวิศวกรของบริษัทเป็นอย่างมาก เพราะสามารถที่จะลดเวลาการติดตั้งเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนได้จริง จากของเดิมคือเวลา 104.7 นาที เป็นเวลา 10.7 นาที และได้ออกแบบเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนให้สามารถช่วยให้การทำงานของพนักงานมี

ประสิทธิภาพ สามารถทำงานได้รวดเร็วมากขึ้นได้ แต่ต้องอยู่ในขอบเขตของงานที่รับมา

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยนี้ทำให้ตรวจพบได้ว่าในการขึ้นรูปชิ้นส่วนคาร์บอนนั้นจะมีกระบวนการขึ้นรูปของชิ้นงานที่แตกต่างกันตามลักษณะของความต้องการลูกค้า ซึ่งส่งผลให้เครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนจะต้องมีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนและพัฒนาเครื่องป้องกันฝุ่นผงคาร์บอนตลอดเวลา เพื่อที่จะสามารถใช้ได้ในกับทุกกระบวนการในการขึ้นรูปชิ้นงาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท พซัน เมคคานิคอล จำกัด สำหรับข้อมูลและนักศึกษา นายรักษิต ไกรสินธุ์ นายจารึก ดวงใจรักเกษม ช่วยเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] ชนินทร์ เทพสุริวงศ์, วันชนะ แฉ่งใจ,อาฝู มาเยอะ, ปริญญานิพนธ์เรื่องการลดเวลา การทำงานของกระบวนการกรีดเส้นด้าย.

[2] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, การศึกษางานอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์ท็อปจำกัด, 2550.

[3] ราชันย์ ฟันแจ้ง, สราวุธ ลี้พลวิจิตร์, การจัดทำเวลามาตรฐานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการผลิตกรณีศึกษากลุ่มผลิตภัณฑ์ (3) ของโรงงานเครื่องประดับ.

[4] วิจิตร ตัณฑสุทธ์, วันชัย ริจิรวนิช, จรูญ มหิทธิฟองกุล และชูเวช ชาญสง่าเวช, การศึกษาการทำงาน. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

การบูรณาการ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์: กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์

An Integration of Design for Six Sigma and ISO/TS 16949 for Design Process, Case Study: Vehicle Shock Absorber

ฐิติกานต์ วุ้นสีแซง[1]* ฤภุวัลย์ จันทรสา[2]
[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131
E-mail: thitikan_wun@hotmail.com*

Thitikan Wunseesang[1]* Ruephuwan Chantrasa[2]
[1,2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, Chonburi 20131
E-mail: thitikan_wun@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยานยนต์โดยการบูรณาการซิกซ์ ซิกม่าเพื่อการออกแบบร่วมกับมาตรฐาน ISO/TS 16949 โดยใช้โช้คอัพยานยนต์ เป็นผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา ขั้นที่ 2 ได้พัฒนาต้นแบบกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามขั้นตอน DMADV ของ ซิกซ์ ซิกม่า ร่วมกับวงจร PDCA เพื่อปรับปรุงระบบบริหารคุณภาพผลิตภัณฑ์ และได้นำเสนอเครื่องมือทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ในทุกขั้นตอน และสามารถตรวจสอบทบทวนการดำเนินการให้ตรงตามมาตรฐาน ISO/TS 16949 ขั้นที่ 3 เป็นการประยุกต์ใช้ต้นแบบที่นำเสนอกับผลิตภัณฑ์โช้คอัพยานยนต์ ผลการประยุกต์ใช้ต้นแบบการออกแบบผลิตภัณฑ์กับกรณีศึกษา พบว่า การออกแบบโช้คอัพยานยนต์มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และเกิดเป็นการปรับปรุงขั้นตอนการออกแบบอย่างต่อเนื่องตามมาตรฐาน ISO/TS 16949 ช่วยส่งเสริมให้เป็นการออกแบบที่แข็งแกร่ง

คำสำคัญ การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์, ซิกซ์ ซิกม่าเพื่อการออกแบบ, มาตรฐาน ISO/TS 16949, โช้คอัพยานยนต์

Abstract

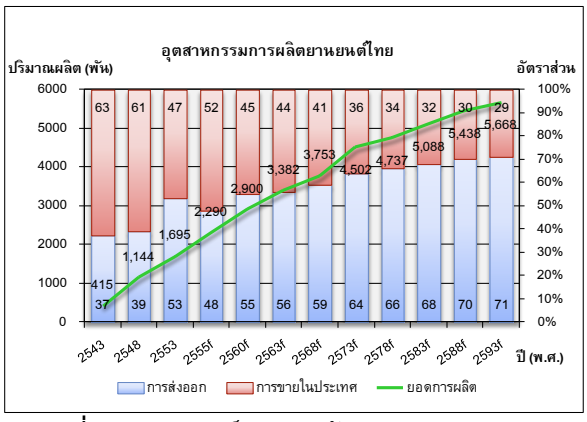
The objective of this research is to propose a methodology for designing and developing automotive parts integrating design for Six Sigma with ISO/TS 16949. The shock absorber was selected as the case study product. The research started with studying the current product design processes of the case study company. In step 2, the methodology for designing and developing automotive part was developed following the DMADV process of the design for Six Sigma and PDCA cycle to improve the management of product quality. The methodology also recommended appropriate statistical tools to analyze all the steps of the processes and provided verification check points that consistent with the ISO/TS 16949 standard. In step 3, the application of the methodology to the shock absorber was performed. Result of this study showed that the methodology for designing and developing automotive part developed in this research increased the design efficiency. It also provided the continuous improvement in the design

process consistency with ISO/TS 16949 standard. As the result, it encouraged the rigorous design and development processes for the automotive part industry.

Keyword: Product design and development, Design for Six Sigma, ISO/TS 16949 standard, Shock absorber

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยก้าวสู่การเป็นฐานการผลิตยานยนต์ที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก จึงจำเป็นต้องพัฒนาให้เป็นฐานการผลิต ที่มีการทดสอบ วิจัย และพัฒนายานยนต์ ให้สอดคล้องกับแนวโน้มของเทคโนโลยียานยนต์ในอนาคต และสร้างมูลค่าเพิ่มภายในโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยเน้นให้มีการสนับสนุนอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ภายในประเทศให้มีความแข็งแกร่ง เป็นเลิศด้านเทคโนโลยี การวิจัยและพัฒนา (Research and Technology and Development: R&D) เพื่อเป็นแรงขับเคลื่อน ในการยกระดับขีดความสามารถทางการแข่งขันของอุตสาหกรรมผลิตยานยนต์ และอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ และสามารถรองรับการคาดการณ์การขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ภายในประเทศ [1] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การคาดการณ์การขยายตัวอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ไทย ถึงปี พ.ศ. 2593 [1]

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แผนยุทธศาสตร์พัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการก่อตั้งบริษัทกรณีศึกษาที่ได้ก่อตั้งขึ้นเพื่อเป็นศูนย์ทดสอบ วิจัย และพัฒนาโช้คอัพยานยนต์ในระดับมาตรฐานโรงงาน (OEM) และระดับอะไหล่ทดแทน (REM) แต่การเริ่มต้นพัฒนาผลิตภัณฑ์ยังดำเนินการที่บริษัทแม่ประเทศญี่ปุ่นเป็นหลัก ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นการนำเสนอต้นแบบของการปรับปรุงกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์อย่างเป็นระบบสำหรับใช้เป็นแนวทางในการเตรียมความพร้อมเพื่อเป็นศูนย์ทดสอบ วิจัย และพัฒนาโช้คอัพยานยนต์ประจำภูมิภาคอาเซียนอย่างเต็มรูปแบบ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

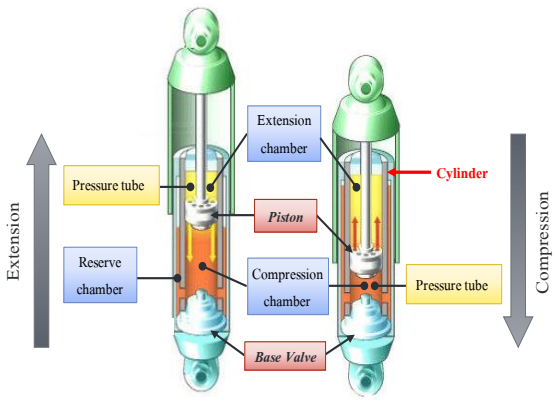
เพื่อสร้างต้นแบบการบูรณาการ ซิกซ์ ซิกม่า ตามขั้นตอน DMADV ร่วมกับวงจร PDCA ที่ได้รับการตรวจสอบขั้นตอนดำเนินการตรงตามมาตรฐาน ISO/TS 16949 และนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ คือ หลักการทำงานของโช้คอัพแบบท่อคู่ (Double tube shock absorber working principle) ซิกซ์ ซิกม่าเพื่อการออกแบบ (Design for six sigma: DFSS) และระบบบริหารงานคุณภาพตามมาตรฐาน ISO/TS 16949 มีการดำเนินการศึกษาดังต่อไปนี้

2.1 หลักการทำงานของโช้คอัพกระบอกคู่

โช้คอัพยานยนต์บรรจุน้ำมันเป็นตัวกลางในการทำให้เกิดแรงดันภายในจากการไหลของน้ำมันผ่านรูเล็ก ๆ ของลูกสูบ (Piston) ส่งผลให้เกิดแรงดันภายในกระบอกสูบ (Outer Shell) ขณะที่ยานยนต์เคลื่อนที่ ดังรูปที่ 2

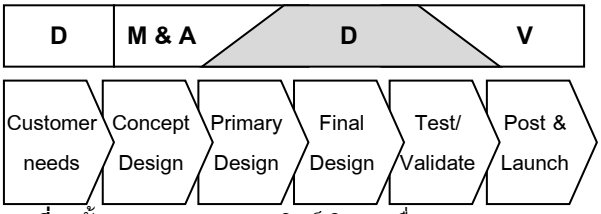


รูปที่ 2 หลักการทำงานของโช้คอัพกระบอกคู่ [2]

แรงดันที่เกิดขึ้นภายในจะมีมากขึ้น เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ และการเต้นอย่างรวดเร็วของตัวถังยานยนต์ แปรเปลี่ยนเป็นความเร็วของลูกสูบ (Piston) ส่งผลให้ความเร็วของลูกสูบ มีความสอดคล้องกับสภาพของพื้นผิวถนนที่อยู่ในสภาวะการขับขี่แบบปกติ เกิดแรงดันต้าน (Damping Force) ช่วยดูดซับแรงกระแทกที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของพื้นผิวถนน [3]

2.2 ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อการออกแบบ (DFSS)

เป็นขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงสถิติตามขั้นตอน DMADV มีขั้นตอนดำเนินการโดย การกำหนดนิยาม (Define) การวัดผล (Measure) การวิเคราะห์ (Analyze) การออกแบบ (Design) และการทวนสอบการออกแบบ (Verify) และมีความสัมพันธ์กับ 6 ขั้นตอนย่อยคือ ความคาดหวังและความต้องการของลูกค้า (Customer need) แนวคิดด้านการออกแบบ (Concept Design) การออกแบบเบื้องต้น (Primary Design) ผลการออกแบบ (Final Design) การทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Test validation) ผลลัพธ์จากกระบวนการออกแบบ (Post & Launch) [4] ดังรูปที่ 3



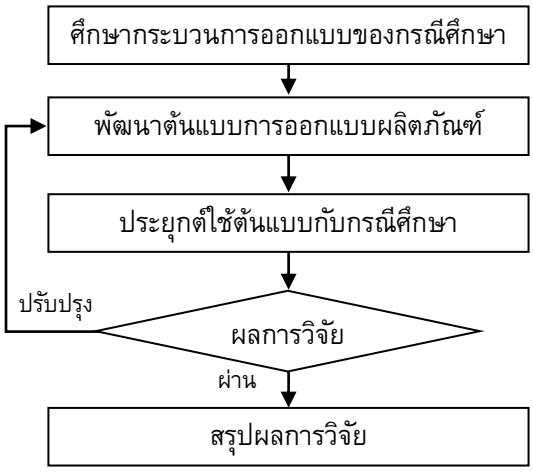
รูปที่ 3 ขั้นตอน DMADV ของ ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อการออกแบบ [4]

2.3 มาตรฐาน ISO/TS 16949

เป็นมาตรฐานข้อกำหนดที่ได้รับการยอมรับกันในอุตสาหกรรมยานยนต์ทั่วโลก ช่วยให้องค์กรเกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องตามของวงจร PDCA คือ วางแผน (Plan) ปฏิบัติ (Do) ตรวจสอบ (Check) แก้ไข (Action) โดยมีเครื่องมือหลัก (Core tools) ช่วยในการปรับปรุง คือ การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ล่วงหน้า (APQP) การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) การวิเคราะห์แนวโน้มลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEAs) การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) กระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนการผลิต (PPAP) และแผนควบคุม (Control Plan) สำหรับการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง และตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า [5]

3. การดำเนินการวิจัย

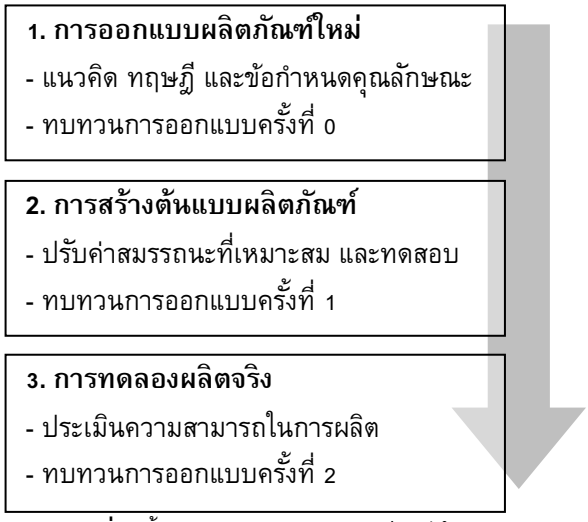
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเริ่มต้นจากศึกษากระบวนการออกแบบของกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ สร้างต้นแบบการปรับปรุง ประยุกต์ใช้ต้นแบบ วิเคราะห์และสรุปผลดำเนินการ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษากระบวนการออกแบบของกรณีศึกษา

จากการศึกษาขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ของกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ทั้งระบบ นำสามารถสรุปผลของขั้นตอนการดำเนินการ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา

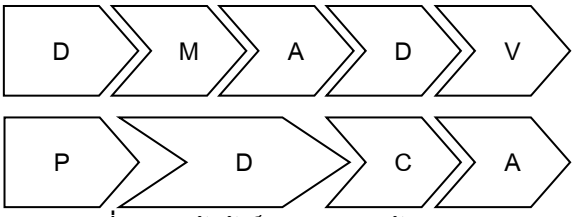
จากรูปที่ 5 การดำเนินการในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษาคือการดำเนินการในขั้นตอนที่ 2 ประกอบด้วย

1. ปรับระดับสมรรถนะที่เหมาะสม หรือเรียกว่างานปรับแรงดันต้าน (Tuning work) ให้เหมาะแก่การใช้งาน

2. การทดสอบความน่าเชื่อถือผลิตภัณฑ์ คือ การทดสอบสมรรถนะ และความคงทนของโช้คอัพยานยนต์ให้ได้ผลตรงตามข้อกำหนดจากการออกแบบ และข้อกำหนดของลูกค้า

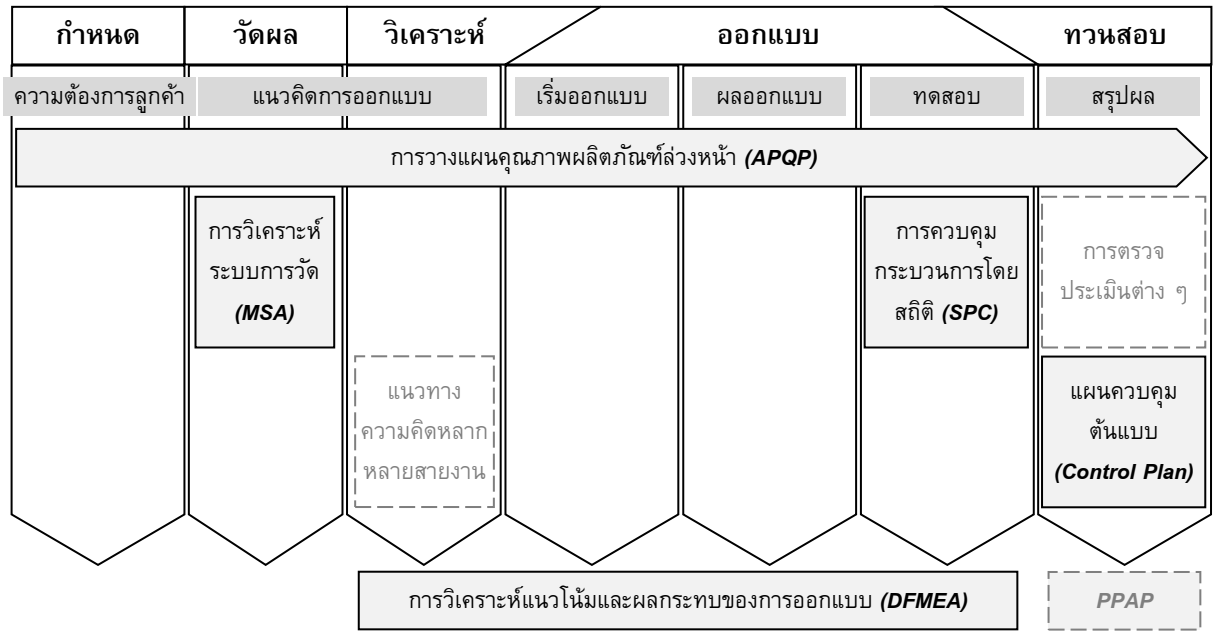
3.2 การพัฒนาต้นแบบจากการบูรณาการ

การพัฒนาต้นแบบการบูรณาการ ซิกซ์ ซิกม่า ร่วมกับมาตรฐาน ISO/TS 16949 สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาพบความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอน DMADV กับวงจร PDCA ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของ DMADV กับ PDCA [6]

การประยุกต์ความสัมพันธ์ของขั้นตอน DMADV กับ PDCA ดังรูปที่ 7 และตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอนทฤษฎี/เครื่องมือ



รูปที่ 7 ต้นแบบการบูรณาการ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ (ปรับปรุงจาก [4])

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอนและเครื่องมือ/ทฤษฎี สำหรับใช้ในต้นแบบการออกแบบผลิตภัณฑ์

กิจกรรมปรับปรุงการออกแบบ \ เครื่องมือ และทฤษฎี			Value engineer	SIPOC	Focus group	Kano analysis	QFD	Reliability testing	MSA	Turtle diagram	Design scorecard	C&E analysis (Ishikawa)	Assembly build validation	Risk analysis tools	Benchmarking	Characteristics matrix	Capability analysis	Critical path method	DOE	Process flow charting	DVP&R	Design for assembly	Simulation tools	Infrastructure process map	Axiomatic design	TRIZ	DFMEA	Mistake/Error proofing	Process verification	SPC	Control Plan	Why-Why analysis
กำหนด	ความต้องการของลูกค้า	เสียงของลูกค้า แผนธุรกิจ และกลยุทธ์	●	●	●	●	●																									
		ข้อกำหนด สมมติฐานและความน่าเชื่อถือ	●		●	●	●	●			●																					
		การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ *(APQP)*	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
วัดผล	แนวคิดการออกแบบ	ข้อมูลการวัดเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์	●					●			●	●	●	●	●																	
		การวิเคราะห์ระบบการวัด *(MSA)*				●			●			●																		●		
		เป้าหมายคุณภาพ และสมรรถนะที่วัดค่าได้	●	●			●	●							●	●	●	●	●													
วิเคราะห์		ราคาการวัดจุดติบ และคุณสมบัติเบื้องต้น	●					●				●	●		●	●						●	●	●	●	●	●						
		การระบุคุณลักษณะพิเศษของผลิตภัณฑ์	●				●	●							●					●					●	●	●						
		การวิเคราะห์ความล้มเหลว *(DFMEA)*	●		●			●		●		●	●	●					●	●	●	●				●	●	●		●		●
ออกแบบ	เริ่มต้นการออกแบบ	การออกแบบเพื่อการผลิต และการประกอบ	●				●	●			●		●		●	●			●			●			●		●	●	●			
		กำหนดสมรรถนะ การใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์	●					●	●		●	●				●				●			●	●		●	●		●				
	ผลการออกแบบ	การสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ	●					●			●		●			●	●									●	●						
		การทบทวนการออกแบบ						●		●	●								●		●	●	●		●		●						
	การทดสอบยืนยัน	การทวนสอบการออกแบบ *(SPC)*						●	●		●					●			●		●								●				
		การตรวจประเมินเพื่อการปรับปรุง *(IQA)*	●		●		●	●		●	●	●	●	●	●		●		●	●	●	●				●	●	●	●	●		●
ทวนสอบ	สรุปผลโครงการ	การป้องกันการเกิดซ้ำ และการป้องกันไว้ก่อน																	●								●	●				●
		การทบทวนจากฝ่ายบริหาร และการสนับสนุน			●						●							●		●	●			●		●						●
		การจัดทำแผนควบคุมคุม *(Control Plan)*					●		●			●				●	●			●	●	●				●	●	●	●	●	●	
		การขออนุมัติผลิตภัณฑ์ *(PPAP)*				●					●						●				●											

จากรูปที่ 7 และตารางที่ 1 เป็นต้นแบบของการปรับปรุง DMADV ที่ระบุเครื่องมือหลัก (Core tools) ตามมาตรฐาน ISO/TS 16949 ร่วมกับเครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้ทางสถิติ เพื่อการปรับปรุงวงจร PDCA อย่างต่อเนื่อง

1. ความต้องการของลูกค้า อยู่ขั้นตอนกำหนดของ DMADV ในขั้นตอนนี้สิ่งที่ต้องดำเนินการคือ ระบุเสียงของลูกค้าและกลยุทธ์ ระบุข้อกำหนดและความน่าเชื่อถือและวางแผนแม่บทด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์

2. แนวคิดการออกแบบ การดำเนินการนี้อยู่ในขั้นตอนวัดผลและวิเคราะห์ของ DMADV ดำเนินการคือ จัดทำข้อมูลการวัดเพื่อเปรียบเทียบ ทำการวิเคราะห์ระบบการวัด กำหนดเป้าหมายคุณภาพและสมรรรถนะที่วัดค่าได้ กำหนดรายการวัตถุดิบและคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ ระบุคุณลักษณะพิเศษของผลิตภัณฑ์ และการวิเคราะห์แนวโน้มของความล้มเหลว จากกระบวนการออกแบบ

3. การเริ่มต้นการอออกแบบ ดำเนินการคือ ออกแบบการประกอบเพื่อการผลิต และปรับระดับของสมรรถนะตลอดจนการเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การดำเนินการนี้เป็นขั้นตอนการออกแบบของ DMADV

4. ผลลัพธ์ของการออกแบบ เป็นขั้นตอนการออกแบบของ DMADV สิ่งที่ต้องดำเนินการในขั้นตอนนี้ คือ สร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบและทบทวนการออกแบบ

5. การทดสอบยืนยัน เป็นขั้นตอนออกแบบของ DMADV สิ่งที่ดำเนินการคือ การทวนสอบการออกแบบและการตรวจประเมินการปรับปรุงกระบวนการต่าง ๆ

6. การสรุปผล เป็นขั้นตอนทวนสอบของ DMADV สิ่งที่ดำเนินการคือ การป้องกันไว้ก่อนและการป้องกันการเกิดซ้ำ การทบทวนของฝ่ายบริหาร การจัดทำแผนควบคุม และรวบรวมข้อมูลเพื่อขออนุมัติการผลิตชิ้นส่วน

3.3 ประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษา

การประยุกต์ใช้ต้นแบบการออกแบบผลิตภัณฑ์กับกรณีศึกษาการออกแบบโช้คอัพยานยนต์ ในขั้นตอนปรับระดับแรงดันต้านและการทดสอบความน่าเชื่อถือ มีรายละเอียดแสดงดัง ตารางที่ 2 ดังนี้

1. ระบุขั้นตอน DMADV ของ ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อการออกแบบ (Design for Six Sigma: DFSS)

2. ระบุการดำเนินการในขั้นตอนย่อยของ DMADV สำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์

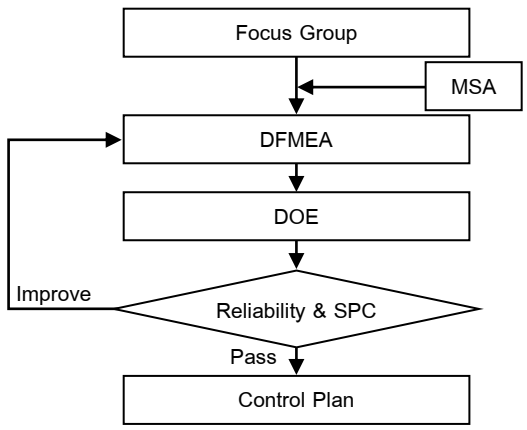
3. ระบุขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาในต้นแบบที่ได้จากการบูรณาการของกระบวนการออกแบบ

4. การเลือกใช้เครื่องมือหรือทฤษฎี ที่เป็นเทคนิคทางสถิติ ในการปรับปรุงกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กรณีศึกษากระบวนการออกแบบโช้คอัพยานยนต์

ตารางที่ 2 การประยุกต์ใช้ต้นแบบการปรับปรุง

ขั้นตอน DMADV	ต้นแบบการปรับปรุง	กรณีศึกษาการออกแบบโช้คอัพยานยนต์	เครื่องมือและทฤษฎี
Define	ความต้องการของลูกค้า	แบบร่าง และข้อกำหนด	Focus Group
		วางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์	
Measure & Analysis	แนวคิดของการออกแบบ	การวิเคราะห์ระบบการวัด	MSA
		รายการวัตถุดิบเบื้องต้น	DFMEA
		การวิเคราะห์ความล้มเหลว	
Design	เริ่มต้นออกแบบ	ปรับ/กำหนดระดับของแรงดันต้าน	DOE
	ผลการออกแบบ	สร้างต้นแบบโช้คอัพยานยนต์	Reliability test & SPC
	ทดสอบยืนยัน	ประสิทธิภาพ และความคงทน	
Verify	สรุปผล	แผนควบคุมต้นแบบ	Control plan

จากตารางที่ 2 ได้จัดทำแผนผังดำเนินการปรับปรุงกระบวนการออกแบบ สำหรับการเลือกใช้เครื่องมือและทฤษฎี เพื่อปรับปรุงกระบวนการออกแบบของกรณีศึกษากระบวนการออกแบบโช้คอัพยานยนต์ ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ขั้นตอนการใช้เครื่องมือสำหรับต้นแบบการปรับปรุง

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการประยุกต์ใช้ต้นแบบการออกแบบผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษากระบวนการออกแบบโช้คอัพยานยนต์ โดยการจัดทำขั้นตอนปฏิบัติบัติงาน (Procedure) ดังต่อไปนี้

4.1 การอภิปรายกลุ่ม (Focus Group)

จัดทำคู่มือปฏิบัติงานสำหรับศึกษาความเป็นไปได้ด้านการออกแบบโดยทีมงาน และจัดทำรายการตรวจสอบการวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อช่วยในการทบทวนการดำเนินการได้เสร็จสมบูรณ์ และมีความเรียบร้อย

4.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)

จัดทำคู่มือปฏิบัติงานการศึกษาระบบการวัด (MSA) ผลที่ได้คือช่วยลดความแปรปวนของผลที่มีในการใช้เครื่องมือวัดแต่ละประเภท และทำให้มั่นใจว่าข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ ตรงตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ของลูกค้า

4.3 การวิเคราะห์แนวโน้มและผลกระทบ (DFMEA)

จัดทำขั้นตอนปฏิบัติงาน DFMEA ผลที่ได้คือข้อมูลที่ช่วยในการตัดสินใจ จากการจัดลำดับของความเสี่ยงหรือแนวโน้มของความล้มเหลวจากกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่อาจจะเกิดขึ้น แล้วนำไปวางแผนการป้องกันความผิดพลาดจากการออกแบบ

4.4 การออกแบบการทดลอง (DOE)

จัดทำคู่มือปฏิบัติงานสำหรับงานปรับแรงดันต้าน (Tuning Work) โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง (DOE) ประยุกต์ใช้เพื่อช่วยลดความผันแปรในงานปรับแรงดันด้านต้าน (Damping Force) ให้อยู่ในช่วงที่กำหนด และใกล้กับค่าเป้าหมายที่ลูกค้ากำหนด

4.5 การทดสอบความน่าเชื่อถือ (Reliability & SPC)

จัดทำคู่มือปฏิบัติงานสำหรับทวนสอบงานออกแบบเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จาก งานทดสอบด้านสมรรถนะ (Performance) และทดสอบความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของผลิตภัณฑ์ จากการประยุกต์การควบคุมกระบวนการโดยการใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) สำหรับตรวจสอบต้นแบบผลิตภัณฑ์ เป็นไปตามข้อกำหนดในการออกแบบ

4.6 แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

จัดทำคู่มือปฏิบัติงานแผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพื่อช่วยให้การออกแบบผลิตภัณฑ์ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า ช่วยให้เกิดแนวทางที่มีแบบแผนสำหรับการออกแบบ และดำเนินการควบคุมทำให้เกิดการเพิ่มมูลค่าของระบบโดยรวม ลดความผันแปรที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ในระหว่างการออกแบบ และพัฒนาผลิตภัณฑ์

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 ผลจากการดำเนินการวิจัย

การออกแบบผลิตภัณฑ์โช้คอัพยานยนต์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและเกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องตามมาตรฐาน ISO/TS 16949 คือ

1. มีการใช้แนวความคิดหลากหลายสายงาน ช่วยให้เห็นประเด็นสำคัญของแนวโน้มความล้มเหลวจากการออกแบบ และวางแผนการป้องกันอย่างครอบคลุม
2. สามารถยอมรับระบบการวัดของพนักงาน และมั่นใจว่าข้อมูลจากการวัดของพนักงานมีความน่าเชื่อถือสำหรับการนำไปวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์
3. ลดความผันแปรของงานปรับแรงดันต้านให้ตรงตามข้อกำหนดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ส่งผลต่อประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือ และระยะเวลาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดีขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดลองเลือกใช้เครื่องมือและทฤษฎีทางสถิติของต้นแบบปรับปรุงกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นเพียงบางส่วนของเครื่องมือทั้งหมด ควรศึกษาเพิ่มเติมการใช้เครื่องมืออื่น สำหรับการวิจัยในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันยานยนต์. (2555). แผนแม่บทสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย ปี พ.ศ. 2555 - 2559.

[2] Kevin, C. (2006), Automotive suspension system

[3] ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ. (2540). งานเครื่องล่างยานยนต์. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[4] Rajesh, J.L., & Philip, S.M. (2008). Design for Lean Six Sigma. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

[5] อนุวัตร หอมรสสุคนธ์ และเสมอจิตร หอมรสสุคนธ์. (2550). ปฏิบัติการ ISO/TS 16949 มุ่งสู่อุตสาหกรรมยานยนต์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] Sokovic, M., & el. (2010). Quality Improvement Methodologies-PDCA Cycle, RADR, Matrix, DMAIC and DFSS. In Journal Congress V43 (pp. 476-483).

การลดของเสียจากกระบวนการทดสอบความผันผวนโดยวิธีการซิกซ์ซิกม่า

Defective Reduction in Oscillation Test Process by Six Sigma Methodology

จีรนุช เล็กแข็ง[1*] ทศพล กียรติเจริญผล[2] ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง[3]
[1,3]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
E-mail: Jeeranuchle@gmail.com[*]

Jeeranuch Legkang[1*] Tossapol Kiatcharoenpol[2] Tritos Laosirihongthong[3]
[1,3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
E-mail: Jeeranuchle@gmail.com[*]

บทคัดย่อ

จากสถานการณ์ปัจจุบัน แรงกดดันมหาศาลของการแข่งขันทางธุรกิจจากบริษัทข้ามชาติได้เพิ่มมากขึ้นและความต้องการของลูกค้าที่ซับซ้อนมากขึ้นสำหรับธุรกิจรับจ้างผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (EMS) จากสภาวะการแข่งขันดังกล่าว ทำให้ผู้ผลิตต้องปรับปรุงประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่ายในการผลิตเพื่อความได้เปรียบในการแข่งขันทางธุรกิจ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงระดับคุณภาพด้วยการลดอัตราการเสีย ลดค่าใช้จ่ายของความบกพร่องที่เกิดขึ้นและเพิ่มผลกำไรจากกระบวนการผลิตเครื่องจ่ายไฟแบบคลื่นวิทยุ ผ่านวิธีการแบบซิกซ์ซิกม่า ซึ่งเป็นเครื่องมือคุณภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการใด ๆ โดยเริ่มจากการกำหนดปัญหา การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลและหาสาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ ในกรณีศึกษานี้ กระบวนการผลิตที่มีอยู่เดิมไม่สามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์ให้ได้ผลิตผลที่ดี เนื่องจากพบของเสียจำนวนมากจากการกระบวนทดสอบความผันผวน จากระดับคุณภาพปกติของผลิตภัณฑ์ที่ร้อยละ 97 ลดลงมาที่ร้อยละ 69 และส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายของความบกพร่องมากถึง 447,000 บาทต่อเดือน จากการศึกษาพบว่ามี 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ซึ่งได้แก่ ความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์, ตำแหน่งการประกอบทรานส์ฟอร์เมอร์ และอิมพีแดนซ์มิสแมทช์ จากการใช้วิธีการแบบซิกซ์ซิกม่า อย่างเป็นระบบในการวิเคราะห์ตัวแปรของกระบวนการทำให้สามารถระบุต้นตอของปัญหา จากนั้นจึงทำการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยวัดจากจำนวนของเสียที่ลดลงอย่างมากจากการทดสอบค่าความผันผวน และผลดังกล่าวได้บรรลุเป้าหมายของการขจัดค่าใช้จ่ายของความบกพร่องที่ตั้งไว้

คำหลัก กระบวนการทดสอบความผันผวน, ความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์, อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดของรูปคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณ, ซิกซ์ซิกม่า

Abstract

Nowadays, the pressure of competition from multi-national companies had increased and more complex customer needs in a business calls Electronic Manufacturing Service provider (EMS). The demands have forced through the entire industries and organizations to improve productivity and reducing costs for gaining a strategic competitive advantage. Thus, this study aimed to improve the quality level by

decrease the defective rate, reduce the cost of poor quality and increase bottom line profits from assembly process of the RF Power Supply through Six Sigma methodology that it's very effective tool to enhance quality performance of any process. The methodology called for define the problem, collecting data, analyzing of data and then systematically eliminating causes of defects by using appropriate problem solving techniques. In the case study existing process could not able to provide good first pass yield of assembled RF Power Supply during Oscillation test process. The yield was drop dramatically from 97% down to 69% and resulted 447,000 baht lost per month from the cost of poor quality. The study found that there are 3 factors related to the process including Relative Impedance, The positioning of transformers installed and impedance mismatches. The systematic analysis of data along with the process parameter able to focus on the correct identification of problem and then gradually arrives at the optimum solution of the problem which resulted into considerable improvement of first pass yield of RF Power Supply after Oscillation testing and costs reduction have achieved.

Keywords: Oscillation Test, Relative Impedance, Voltage Standing Wave Ratio, Six Sigma

1. บทนำ

การปรับปรุงคุณภาพและเทคนิคการแก้ปัญหา ได้ถูกพัฒนาควบคู่มากับการพัฒนาเทคโนโลยีทางการผลิต โดยกลยุทธ์ซิกซ์ซิกม่าเป็นหนึ่งในหลักการบริหารคุณภาพที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาทางคุณภาพได้เป็นอย่างดี และยังเป็นทางเลือกในการปรับปรุงขีดความสามารถทางการผลิตเพื่อเพิ่มอำนาจในการแข่งขันทางธุรกิจอีกด้วย โดยการบริหารแบบซิกซ์ซิกม่าจะมุ่งเน้นกำไรที่มาจากการลดต้นทุนโดยขจัดค่าใช้จ่ายของความบกพร่อง (Cost of Poor Quality: COPQ) ทั้งที่เป็นการลดข้อบกพร่อง ลดรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) ลดความสูญเปล่า (Waste) และลดต้นทุนการใช้ทรัพยากร โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาที่เรียกว่า DMAIC หรือ Define-Measure-Analyze-Improve-Control ซึ่งทำการวิเคราะห์กระบวนการทั้งที่เป็นปัจจัยควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ จนสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยใดเป็นปัจจัยวิกฤตที่ส่งผลต่อคุณภาพ และความพึงพอใจลูกค้า โดยใช้เครื่องมือทางสถิติมาทำการวิเคราะห์ เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริง เพื่อนำไปสู่การแก้ไขและควบคุมกระบวนการ เพื่อสร้างความสม่ำเสมอและผลประโยชน์ในระยะยาว [1, 2]

สำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC เป็นกรณีศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องจ่ายไฟแบบคลื่นวิทยุ (RF Power Supply) โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มอัตราผลผลิตตอบแทนโดยรวม (Rolled Throughput Yield: RTY) และลดต้นทุนความบกพร่อง (COPQ) โดยกระบวนการที่สนใจนำมาศึกษานั้นคือ กระบวนการทดสอบความผันผวน (Oscillation Test) เพื่อตรวจจับปัญหาของอาการเสียที่เรียกว่า OSC Fail ที่เป็นจุดวิกฤติต่อคุณภาพ โดยเป็นกระบวนการเกือบสุดท้ายของกระบวนทั้งหมด ทั้งยังเป็นอุปสรรคต่อแผนการผลิต และการส่งมอบให้ลูกค้า ในเบื้องต้นได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้วงจร PDCA แต่ไม่สามารถเชื่อมโยงปัญหาไปยังสาเหตุของความผิดพลาดที่แท้จริง ดังนั้น จึงเลือกใช้การวิเคราะห์โดยวิธีการ DMAIC

2. ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกม่า

งานวิจัยของ Anupama Pr. กล่าวว่า โครงการเป็นแหล่งที่มาของการเรียนรู้สำหรับองค์กรทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งทีมฝ่ายผลิต การเรียนรู้ที่สำคัญคือการดำเนินการแก้ไขนั้น ไม่ควรจะวางพื้นฐานบนการรับรู้สาเหตุ โดยก่อนที่จะใช้วิธีการ DMAIC นั้นทีมทำงานใช้วิธีแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน ในการปรับปรุงการส่งมอบเพื่อลดปัญหาของเสียที่พบจากลูกค้า โดยหลักการของการแก้ปัญหาส่วนใหญ่มักยึดติดกับทักษะการแก้ปัญหาของผู้เชี่ยวชาญในการผลิต หรือโน้มเอียงไปตามเสียงข้างมาก บางครั้งก็ใช้สัญชาตญาณจากประสบการณ์ส่วนตัวในการตัดสินใจโดยไม่สามารถอ้างอิงตามทฤษฎีและวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้น หลังจากการหาสาเหตุของปัญหา ยัง

พบว่า การระบุสาเหตุนั้นออกมาแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง อีกประการหนึ่งที่สำคัญ คือการมีส่วนร่วมของผู้บริหารระดับสูง เปรียบได้ดั่งกุญแจแห่งการประสบความสำเร็จของโครงการ ซึ่งผลักดันให้เกิดวัฒนธรรมใหม่ และมีจุดมุ่งหมายร่วมกันภายในองค์กร [3]

งานวิจัย Saja Albliwi, Jiju Antony, Sarina Abdul Halim Lim และ Ton van der Wiele แสดงผลการวิจัยในเชิงวิชาการว่า โครงการต่าง ๆ ของลีน ซิกซ์ซิกม่า (LSS) จะประสบความล้มเหลวอย่างสิ้นเชิงถ้าผู้บริหารระดับสูงขาดทัศนะคติในเชิงบวกและความมุ่งมั่นต่อการประยุกต์ใช้ลีนซิกซ์ซิกม่า รวมถึงการสนับสนุนและมีส่วนร่วมต่อโครงการต่าง ๆ การให้การศึกษาและฝึกอบรมกับพนักงานไม่ดีพอ การเลือกและจัดลำดับความสำคัญโครงการลีนซิกซ์ซิกม่า อย่างไร้ระเบียบแบบแผนไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงกลยุทธ์ขององค์กร และการขาดผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคนิคและวิศวกรรมในการที่จะช่วยวิเคราะห์สาเหตุและเสนอแนะการแก้ไขปัญหาอย่างยั่งยืน ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้คือตัวแปรสำคัญที่จะทำให้การประยุกต์ใช้ลีนซิกซ์ซิกม่า ประสบปัญหาและล้มเหลวในท้ายที่สุด [4]

ซิกซ์ซิกม่า นอกจากจะเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานและความแปรปรวนกระบวนการแล้ว ยังเป็นเครื่องมือในการหาสาเหตุของข้อบกพร่องเพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาและการปรับปรุงวิธีการทำงาน อีกทั้ง ยังเป็นปรัชญาการบริหารจัดการและกลยุทธ์ที่ช่วยให้องค์กรสามารถบรรลุประสงค์ในการลดค่าใช้จ่าย นักวิจัยบางท่านยืนยันว่าประโยชน์หลักที่องค์กรจะได้รับจากการใช้ซิกซ์ซิกม่า คือการลดค่าใช้จ่ายโดยการปรับปรุงรอบเวลาการผลิต กำจัดต้นทุนความบกพร่อง เพิ่มความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า และผลกำไรจากการดำเนินธุรกิจที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการใช้ซิกซ์ซิกม่า ในงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงการใช้เทคนิคและเครื่องมือทางคุณภาพที่หลากหลายมาประยุกต์ใช้ในเชิงบูรณาการณ์ ตลอดจนทักษะความรู้ในเชิงวิศวกรรมซึ่งเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงเทคนิคและทักษะในการประกอบ บัดกรีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ องค์กรเองได้รับประโยชน์จากการดำเนินการซิกซ์ซิกม่า ในแง่ของการประหยัดค่าใช้จ่าย การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการปรับปรุงกระบวนการ ในขณะที่บุคคลที่เกี่ยวข้องยังได้รับความรู้ทางสถิติและทักษะการแก้ปัญหาจากการดำเนินการโครงการ

3. วิธีการศึกษาและดำเนินงานวิจัย

ใช้แนวทางการวิเคราะห์แบบวิธีการ DMAIC โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกแก้ปัญหาจากกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์เครื่องจ่ายไฟ (Power Supply) แบบคลื่นวิทยุ (Radio Frequency) โดยมีเป้าหมายหลักในการลดต้นทุนความบกพร่อง (Cost of Poor Quality) จากการวิเคราะห์ตามขั้นตอนการค้นหาและระบุปัญหา ได้คัดเลือกหัวข้อการลดของเสียจากการทดสอบความผันผวนของเครื่องจ่ายไฟ ซึ่งเป็นกระบวนการสุดท้ายในการผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าว เมื่อผลทดสอบไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (Out of Specification/Fail test) และของเสียที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถนำกลับมาแก้ไขหรือซ่อมแซม

ส่วนขั้นตอนการวิเคราะห์ได้นำการวิเคราะห์แบบครั้งละหนึ่งตัวแปร หรือ OFAT (One Factor of the Time) มาทำการศึกษากลุ่มตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ดีและเสียจากกระบวนการทดสอบความผันผวน เพื่อหาตัวแปรมาสนับสนุนสมมุติฐานในการค้นพบความสัมพันธ์ของค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ (Relative Impedance) ซึ่งส่งผลเชิงลบกับความผันผวนของกระบวนการประกอบเครื่องจ่ายไฟ แบบคลื่นวิทยุ (RF Power Supply)

4. ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ปัญหา มีปัจจัยที่มีผลกระทบกับกระบวนการอยู่ด้วยกัน 3 ปัจจัย คือ (1) ความสัมพันธ์เชิงซ้อน (Relative Impedance) (2) ตำแหน่งการประกอบทรานสฟอร์เมอร์ (RF Transformer) (3) อิมพีแดนซ์มิสแมทช์ (Impedance Mismatches) ซึ่งจำเป็นต้องทำการปรับปรุงกระบวนการโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 การคัดเลือกโครงการ

ทำการศึกษารายละเอียด ที่มีผลเกี่ยวข้องโดยใช้วิธีการ DMAIC เป็นแนวทางการดำเนินโครงการ

4.2 การค้นหาและระบุปัญหา (Define Phase)

โดยเริ่มจากการกำหนดปัญหา (Problem Statement) ซึ่งเป็นปัญหาในเชิงธุรกิจที่มีผลกระทบ

ทางตรงกับความต้องการของลูกค้า เป็นปัญหาที่พบในช่วงระยะ 3 เดือน โดยอัตราระดับคุณภาพ (Yield) อยู่ที่ร้อยละ 69 ทำให้เกิดต้นทุนความบกพร่อง (Cost of Poor Quality) เท่ากับ 470,000 บาทต่อเดือน จากรายงานอัตราระดับคุณภาพ พบว่าเกิดของเสียอยู่ที่กระบวนการทดสอบความผันผวน (Oscillation Test) ซึ่งมีอาการเสีย (Failure Symptom) ที่เรียกว่า OSC Fail โดยที่ของเสียไม่สามารถนำกลับมาปรับปรุง (Debug) แก้ไข หรือซ่อมแซม (Rework/Repair) แต่ต้องทำการผลิตขึ้นมาใหม่เพื่อทดแทนอัตราของเสียที่เกิดขึ้น

4.2.1 ทำการวิเคราะห์ Roll Throughput Yield (RTY) หรือความน่าจะเป็นที่ผลิตภัณฑ์จะไม่เกิดความบกพร่องหรือของเสีย เมื่อได้ผ่านทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต โดยมี RTY อยู่ที่ร้อยละ 69 และพบระดับอาการเสียที่เรียกว่า OSC fail มากที่สุดที่ร้อยละ 94 ของอาการเสียทั้งหมด

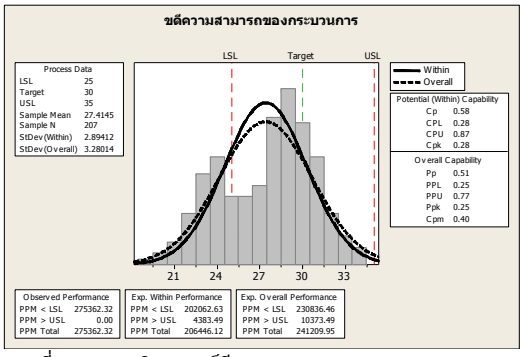
4.3 การวัดเก็บข้อมูลในกระบวนการ (Measure Phase)

4.3.1 ศึกษาค่าอิมพีแดนซ์ด้านอินพุท (Input Impedance) และอิมพีแดนซ์ด้านเอาท์พุท (Output Impedance) ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ โดยอ้างอิงจากทฤษฎี Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) ซึ่งค่าตามอุดมคติของการวัด SWR ที่ 1:1 นั้นหมายความว่าประสิทธิภาพสูงสุดของการส่งกำลังของเครื่องจ่ายไปแบบคลื่นวิทยุ (RF Power Supply) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อค่าอินพุทอิมพีแดนท์ (Input Impedance) และเอ้าทพุทอิมพีแดนท์ (Output Impedance) มีค่าเท่ากันในช่วงที่กำหนด

4.3.2 ศึกษากระบวนการที่ทำให้เกิดของเสีย โดยใช้แผนภาพกระบวนการระดับสูง (High Level Process Map) หรือ SIPOC เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่กระบวนการก่อนหน้าการทดสอบความผันผวน

4.3.3 วิเคราะห์ขีดความสามารถของการวัดและการทำซ้ำ ด้วยวิธีการ Gage R&R มาเป็นมาตรฐานในการวัดเครื่องมือวัด เพื่อประเมินเครื่องทดสอบความผันผวน (Oscillation tester) และค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดในกระบวนการวัด เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในเครื่องมือทดสอบว่ามีประสิทธิภาพในการนำข้อมูลมาใช้ทำการวิเคราะห์ในเชิงสถิติ ซึ่งค่าที่ได้น้อยกว่าร้อยละ 10 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมได้ตามาตรฐาน MSA

4.3.4 การวิเคราะห์ขีดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability: CPK) นำค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของผลิตภัณฑ์ มาทำการวิเคราะห์ เพื่อทำการหาปัจจัยความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความต้านทานเชิงซ้อน (Relative Impedance) กับการทดสอบความผันผวน โดยขีดความสามารถที่วัดได้แค่เพียง 0.28 Cpk และค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงไปทางซ้าย (Mean shift) จากรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์ขีดความสามารถของกระบวนการ

4.4 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกับปัญหา (Analysis Phase)

ใช้การวิเคราะห์แบบตัวแปรเชิงเดี่ยว โดยวิเคราะห์ทีละสาเหตุ ทีละปัจจัย (One Factor at a Time) เพื่อกลั่นกรองปัญหาออกทีละปัจจัย จนกว่าจะเหลือเฉพาะปัจจัยที่มีผลโดยตรง

4.4.1 วิเคราะห์บล็อกไดอะแกรมการทำงานและการออกแบบวงจร (Product Functionality Block Diagram and Circuit Design Diagram) พบว่ามี 2 ปัจจัยทำให้เกิดความสูญเสียระหว่างสายส่งสัญญาณ (Transmission) มายังขาเข้าของกระบวนการทดสอบความผันผวนคือ ความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ (Relative Impedance) และการแมทช์ซิ่งอิมพีแดนซ์ด้วยตัวเก็บประจุ (Matching Capacitors) ซึ่งถูกออกแบบไว้เพื่อชดเชยค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นระหว่างทาง

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ (Relative Impedance) พบว่าค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของผลิตภัณฑ์มีค่าที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการประกอบทรานส์ฟอร์เมอร์ (Transformers) T1 และ T2 เมื่อวัดเทียบกับการประกอบทรานซิสเตอร์ (Transistor) Q2 การวิเคราะห์การแมทช์ซิ่งค่าอิมพีแดนซ์ด้วยตัวเก็บ

ประจุ (Matching Capacitors) จากกลุ่มผลิตภัณฑ์ตัวอย่างพบว่าค่าอิมพีแดนซ์ในช่วง 25.1 ถึง 35 โอห์ม (Ohm) เป็นค่าในช่วงที่ผ่านการทดสอบ และค่าอิมพีแดนซ์ช่วง 17.0 ถึง 25.0 กับ 35.1 ถึง 40.0 นั้นทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดอาการเสียขึ้นในกระบวนการทดสอบความผันผวน (Oscillation Test)

ตารางที่ 1 ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการทดสอบความผันผวน

ค่าความสัมพันธ์ของอินพุทอิมพีแดนซ์ (หน่วยการวัดเป็นโอห์ม)	ค่าอิมพีแดนซ์แทนด้วยเกรดสี	ผลการทดสอบความผันผวน
17.0 – 25.0	สีส้ม	ไม่ผ่าน
25.1 – 30.0	สีเขียว	ผ่าน
30.1 – 35.0	สีแดง	ผ่าน
35.1 – 40.0	สีเหลือง	ไม่ผ่าน

4.4.2 การวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Modes and Effects Analysis: FMEA) โดยนำปัจจัยทั้งหมดมาวิเคราะห์ ซึ่ง FMEA จะแสดงให้เห็นถึงจุดเปราะบางของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่เกิดความล้มเหลว และระดับความเสี่ยงของความล้มเหลวแต่ละส่วน รวมทั้งความจำเป็นในการแก้ไข เพื่อให้ผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการมีความสมบูรณ์มากขึ้น จนพบว่ากระบวนการประกอบทรานส์ฟอร์เมอร์ มีระดับความเสี่ยงที่ (Risk Priority Number: RPN) มากสุดถึง 144

4.4.3 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ที่ส่งผลกับตำแหน่งการประกอบทรานส์ฟอร์เมอร์ (Transformer) T1 และ T2 โดยใช้กราฟโครงร่าง (Contour Plot) มาทำการวิเคราะห์ เพื่อช่วยหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)

4.5 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

4.5.1 การทดลอง (Design of Experiment: DOE) กำหนดการทดลองโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มละ 5 ซึ่งกลุ่มแรกประกอบ T1 ที่ 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 และ 2.8 มิลลิเมตร ส่วนกลุ่มที่สองให้ประกอบ T2 ที่ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 มิลลิเมตรตามลำดับ

4.5.2 สรุปผลการทดลอง และระบุรูปแบบการปฏิบัติงานจากผลการทดลองนั้น ได้ตำแหน่งการประกอบที่เหมาะสมคือ T1 เท่ากับ 2.7 มิลลิเมตร และ T2 เท่ากับ 0.6 มิลลิเมตร ซึ่งพบว่าตำแหน่งการประกอบดังกล่าวที่ไม่โอกาสพบของเสียเลย และเพื่อให้เกิดเสถียรภาพในกระบวนการประกอบจึงจัดทำเครื่องมือ (Jig/Tool) และอุปกรณ์การตรวจสอบ (Go/No-Go Gauge) เพื่อจำกัดตำแหน่งการประกอบทรานส์ฟอร์เมอร์ โดยกำหนดเป็นระเบียบแบบแผนซึ่งระบุในเอกสารการปฏิบัติงาน (Assembly Requirement Document)

4.6 การควบคุมตัวแปร (Control Phase)

ทำการปรับปรุงตารางความล้มเหลวและค่าผลกระทบ (FMEA) พัฒนาแผนควบคุม (Control Plan) กำหนดตำแหน่งการประกอบไว้ในเอกสารปฏิบัติงานและการตรวจสอบ และควบคุมคุณภาพโดยใช้ระบบ Process Feedback System (PFS) ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่ถูกประยุกต์มาจากหลักการการควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistical Process Control: SPC) เพื่อใช้ควบคุมอัตราความไม่มีคุณภาพให้อยู่ที่ร้อยละ 97 โดยกำหนดให้มีการเตือน (Warning Level) ที่ร้อยละ 90 เพื่อให้หยุดการผลิต (Shutdown Production) เมื่อเกิดสิ่งผิดปกติในกระบวนการ

5. สรุป

กรณีศึกษานี้แสดงให้เห็นความสำเร็จของการประยุกต์ใช้หลักการปรับปรุงคุณภาพแบบซิกซ์ซิกม่าโดยใช้วิธีการ DMAIC กับการผลิตเครื่องจ่ายไฟแบบคลื่นวิทยุ ซึ่งการออกแบบการทดลอง DOE ในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) เพื่อหาสาเหตุของปัญหาและค้นหาค่าที่มีความเหมาะสม และให้ผลลัพธ์ต่อกระบวนการที่ดีที่สุดภายใต้สภาพที่ต่างกัน โดยเป้าหมายสำคัญสุดคือ การศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Characteristic of Product) และการนำไปใช้งาน (Product Application) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการ DMAIC สามารถช่วยระบุปัญหาและสาเหตุของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ โดยผลที่ได้รับจากการศึกษามีดังนี้

1) เพิ่มอัตราผลผลิตโดยรวมจากร้อยละ 69 กลับมาที่ร้อยละ 97 โดยอัตราการเสียของ OSC เป็นศูนย์

2) อัตราผลผลิตตอบแทนที่กระบวนการทดสอบความผันผวนสูงสุด หรือ 100%

3) ลดอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อการผลิตในอัตราส่วนต่อหนึ่งล้านครั้งเป็นศูนย์

4) เพิ่มขีดความสามารถของกระบวนการผลิตที่ 1.72 หรือระดับคุณภาพที่ 6 ซิกม่า

5) ต้นทุนความบกพร่องเป็นศูนย์

5.1 ผลกระทบต่อวัฒนธรรมองค์กร

จากการศึกษาพบว่าในขณะที่ซิกซ์ซิกม่าเป็นปรากฏการณ์ที่รับรู้โดยทั่วไปแล้ว ยังมีความเหมาะสมมากขึ้นสำหรับความเสี่ยงสูงที่ซับซ้อน กับโครงการข้ามสายงานและค่าใช้จ่ายอันไม่สมควรสำหรับโครงการขนาดเล็ก ซึ่งซิกซ์ซิกม่าเป็นเครื่องมือในการบ่งชี้และแก้ปัญหาที่ซ่อนเร้นในระบบ และเป็นกลยุทธ์ในการเพิ่มผลกำไรทางธุรกิจ ซึ่งหนึ่งในเหตุผลสำหรับการประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกม่า นั้นเนื่องจากความจริงที่ว่า องค์กรสามารถสร้างผลตอบแทนทางการเงินโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบ Low Volume, High Variety ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งซิกซ์ซิกม่า ยังประโยชน์ในการสร้างกระบวนการที่ดีกว่าอย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพที่สามารถตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นของลูกค้า ซึ่งผลจากการศึกษาและประยุกต์ครั้งนี้ บริษัทได้รับผลตอบแทนกลับมาจำนวน 1,410,000 บาท จากภายในระยะเวลาหนึ่งไตรมาส ซึ่งปกติแล้ว อุตสาหกรรม EMS เป็นธุรกิจที่อัตรากำไรต่ำเฉลี่ยสิทธิที่ประมาณ 5% [5] ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นี้สร้างแรงผลักดันในองค์กร โดยเฉพาะฝ่ายบริหารในการนำซิกซ์ซิกม่า สำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพทั้งหมดทุกภาคส่วนในองค์กร โดยไม่จำกัดเฉพาะในส่วนกระบวนการผลิตเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกม่า เพื่อลดสินค้าคงคลัง ลดระยะเวลาในการจัดหาและจัดซื้อวัตถุดิบ การลดเวลาในการแก้ปัญหาการร้องเรียนของลูกค้าเป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงกระบวนการโดยประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกม่าหรือวิธีการแก้ปัญหาแบบ DMAIC ให้ประสบความสำเร็จด้วย 4 ปัจจัยหลัก คือ 1) การมีทัศนคติที่ดี, ความมุ่งมั่น และการมีส่วนร่วมของผู้บริหารระดับสูง 2) การคัดเลือกโครงการและการจัดลำดับความสำคัญที่ดี 3) วัฒนธรรมองค์กรกับการยอมรับความเปลี่ยนแปลง 4) การเชื่อมโยงซิกซ์ซิกม่ากับกลยุทธ์ทางธุรกิจ ส่วนปัญหาที่พบระหว่างการทำโครงการคือ ขาดการฝึกอบรมและการศึกษาข้อมูลการใช้ประโยชน์จากเครื่องมือที่มีคุณภาพทางสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล และการขาดแคลนทรัพยากรทางด้านเทคนิคเฉพาะทาง อย่างไรก็ตาม วิธีการของโครงการปรับปรุงคุณภาพได้รับการยอมรับเป็นอย่างดีจากพนักงานและโครงการปรับปรุงคุณภาพอื่นที่เสนอก็ได้รับอนุมัติจากผู้บริหารระดับสูงหลังจากการดำเนินการประสบความสำเร็จ การมีส่วนร่วมในของผู้บริหารระดับสูงพิสูจน์ได้ว่าเป็นปัจจัยความสำเร็จที่สำคัญของโครงการ ซึ่งกรณีศึกษานี้เป็นจุดเริ่มต้นของวัฒนธรรมสายใหม่และจุดมุ่งหมายร่วมกันภายในองค์กร ซึ่งยืนยันว่าซิกซ์ซิกม่า จะประสบความสำเร็จน้อยกว่าหากมุ่งมั่นเกินไปกับเป้าหมายทางการเงินในระยะสั้น แต่ขาดการมีส่วนร่วมในการจัดการ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง. 2553. กลยุทธ์การผลิต/การปฏิบัติเพื่อสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพมหานคร

[2] อัมพวรรณ จิรอาภาวงศ์, ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง, และทศพล เกีรติเจริญผล.2551.การประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC สำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิตสุขภัณฑ์เซรามิกส์, วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 19 (ฉบับที่ 4), 36-44.

[3] Anupama Prashar. 2014. Process improvement in farm equipment sector (FES): a case on Six Sigma adoption. International Journal of lean Six Sigma Vol. 5, No. 1, pp. 62-88

[4] Saja Albliwi, Jiju Antony, Sarina Abdul Halim Lim, Ton van der Wiele. 2014. Critical failure factors of Lean Six Sigma: a systematic literature review. International Journal of Quality & Reliability Management Vol. 31, No. 9, pp. 1012-1030

[5] Sustainability Accounting Standard Board. 2014. Electronic Manufacturing Service & original Design Manufacturing

การเพิ่มผลิตภาพการเปลี่ยนฟันลูกโม่บดมันสำปะหลังด้วยวิธีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

Productivity Improvement in Changing Procedures of Tapioca Milling Blades by Using Continuous Improvement Method

สุขอังคณา แถลงกัณฑ์* โกวิทย์ พลหาญ
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002 E-mail:sukangkana@kku.ac.th*

Sukangkana Talangkun*, Kowit Pholhan
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineerning, Khon kaen University
Naimuang, Muang, Khon Kaen, 40002, E-mail:sukangkana@kku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการปรับปรุงกระบวนการทำงานอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ปัจจุบันพบว่าขั้นตอนการตรวจสอบและเปลี่ยนฟันลูกโม่ที่ใช้บดโม่มันสำปะหลังของบริษัทกรณีศึกษา มีการทำงานซ้ำซ้อนกันระหว่างพนักงานผลิต และฝ่ายซ่อมบำรุง เป็นเหตุทำให้ใช้เวลามากเกินไป เกิดการรอคอย พนักงานทำงานพลาดบ่อยครั้ง เป็นสาเหตุทำให้ฟันชำรุด และเครื่องจักรหยุดการทำงาน ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงทำศึกษาขั้นตอนการตรวจสอบและเปลี่ยนฟันลูกโม่ด้วยแผนภูมิกระบวนการไหล เพื่อบ่งชี้ความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการ และทำการปรับปรุงกระบวนการด้วยเทคนิคไคเซ็นเพื่อลดความสูญเปล่าของกระบวนการทำงาน ผลของการศึกษาพบว่าได้กระบวนการทำงานที่เป็นมาตรฐาน และสามารถลดขั้นตอนการเปลี่ยนและตรวจสอบฟันลูกโม่ลงได้ 23.68% และเวลาลดลง 32.50% สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงลูกโม่จากเดิม 164,166 บาท ลดลงเหลือ 23,452 บาทต่อฤดูกาล (ลดลง 85.72%)

คำหลัก : การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ความสูญเปล่า แป้งมันสำปะหลัง

Abstract

This research is an application of continuous improvement method in productivity improvement in a starch mill. In the case study factory, there was repetition in the changing milling blades procedures by a production operator and inspection by a maintenance worker. This caused excess working times. It was also found that operators sometime did not follow an instruction method caused damaging in the milling blades and consequently machine broken down. Therefore, flow process chart method was introduced in order to recover wastes occurred in the process. The working procedure was improved using Kaizen technique to identify and reduce wastes. The standard working instruction was developed. As a result, the procedure in changing blades was reduced by 23.68 percent. Time in changing milling blades was reduced by 32.50 percent. The expenditure in maintenance of mills was also reduced from 164,166 to 23,452 Baht per season (85.72% reduction).

Keywords: Continuous improvement, Waste, Tapioca starch

1. บทนำ

ความสำเร็จของการทำงานและการบริหารงานนั้นมีความจำเป็นที่หน่วยงานต้องมีการพัฒนาปรังปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement) เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ลดต้นทุน และลดการสูญเสียต่างๆ เป็นเวลากว่า 50 ปีที่ผู้นำอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์อย่างโตโยต้า (Toyota) ได้นำเทคนิคการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง หรือในภาษาญี่ปุ่นเรียกว่า ไคเซ็น (Kaizen) มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต การบริการและผลิตภัณฑ์ โดยมุ่งเน้นการมีส่วนร่วมของพนักงานทุกคน ตั้งแต่ผู้บริหารระดับสูง ระดับกลางและพนักงานร่วมกันแสวงหาแนวทางใหม่ๆ เพื่อปรับปรุงวิธีการทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานให้ดีขึ้นอยู่เสมอ [1] เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการได้ถูกนำมาพัฒนาและใช้ในการปรังปรุงและหนึ่งในวิธีการที่เป็นที่นิยมก็คือ PDCA cycle หรือที่เรียกว่า วงจรคุณภาพของเดมมิ่ง (Deming Cycle) ประกอบด้วย P-Plan : ศึกษาปัญหา จัดทำมาตรวัดเพื่อติดตามผล เช่น เวลา ต้นทุน จากนั้นเสนอวิธีการและวางแผนเพื่อการเปลี่ยนแปลง , D-Do: นำวิธีการปรุงไปใช้ในระบบงานขนาดเล็กก่อนหรืองานในช่วงระยะเวลาสั้นก่อน ,C-Check: นำข้อมูลมาวิเคราะห์ และพิจารณาว่าได้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร เปรียบเทียบมาตรวัด และ A-Action: หากเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ดีในงานขนาดเล็ก ก็นำวิธีการนั้นมาขยายปรับปรุงในงานขนาดใหญ่ขึ้น และขยายผลต่อเนื่องเพื่อขจัดความสูญเปล่า [2]

ความสูญเปล่า (Waste) เป็นกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มกับกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ อาจจะเป็นสิ่งที่ถูกออกแบบไว้ในกระบวนการผลิตโดยผู้ปฏิบัติงานไม่รู้ว่าเป็นความสูญเสีย หรืออาจจะเป็นสิ่งที่ผู้ปฏิบัติงานต้องทำเพื่อแก้ไขความผิดพลาด และบางครั้งทำจนเกิดความรู้สึกว่าเป็นหน้าที่ประจำ ความสูญเสียจะถูกค้นพบและกำจัดออกไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง เพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการผลิต ซึ่งความสูญเปล่าในงานอุตสาหกรรมถูกจำแนกออกเป็น 7 ประการ ได้แก่ ความสูญเปล่าเนื่องจากการผลิตมากเกินไป ความสูญเปล่าเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง ความสูญเปล่าเนื่องจากการขนส่ง ความสูญเปล่าเนื่องจากการเคลื่อนไหว ความสูญเปล่าเนื่องจากกระบวนการผลิต ความสูญเปล่าเนื่องจากการรอคอย และความสูญเปล่าเนื่องจากการผลิตของเสีย [3] แนวคิด ECRS เป็นแนวคิดหนึ่งของการปรับปรุงแบบไคเซ็น ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการลดความสูญเปล่าที่กล่าวมา ประกอบด้วย Eliminate (การขจัดงานที่ไม่จำเป็นออก), Combine (การรวมงานเข้าด้วยกัน), Rearrange (การปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน) และ Simplify (การทำให้ง่ายและสะดวกขึ้น) [4] โดยกระบวนการปรับปรุงงานอย่างต่อเนื่องจะได้ผลดี จำเป็นต้องมีการนำเครื่องมือควบคุมคุณภาพทั้ง 7 (7 QC Tools) เข้ามาร่วมด้วย ซึ่งเครื่องมือคุณภาพถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพในกระบวนการทำงาน สามารถช่วยในการศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา การเลือกปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหาและวิเคราะห์สาเหตุแห่งปัญหาที่แท้จริงเพื่อการแก้ไขได้ถูกต้องตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐานและควบคุมติดตามผลอย่างต่อเนื่อง เครื่องมือควบคุมคุณภาพทั้ง 7 ประกอบด้วย แผ่นตรวจสอบ(Check Sheet) แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) กราฟ (Graph) แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)แผนผังการกระจาย(Scatter Diagram) แผนภูมิควบคุม(Control Chart) และ ฮิสโตแกรม (Histogram) [5]

ในอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตรของไทยนั้น มันสำปะหลังถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ผลิตภัณฑ์หลักจากมัน คือ แป้งมันสำปะหลัง (Tapioca Starch) สามารถนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย และเป็นสินค้าส่งออกที่มีความสำคัญ จากการศึกษาเบื้องต้นในโรงงานกรณีศึกษาบริษัท จ.เจริญมาร์เก็ตติ้ง จำกัด ซึ่งเป็นโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง งอยู่ที่จังหวัดเลย พบว่าปัญหาสำคัญที่เป็นจุดอ่อนและอุปสรรคต่อการดำเนินงานของบริษัท ได้แก่ การขาดความรู้และทักษะของพนักงานในงานได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติ เครื่องจักรชำรุดบ่อยครั้งและทำให้มีการซ่อมใช้เวลานาน การมีระบบการผลิตที่มีประสิทธิภาพต่ำทำให้มีสัดส่วนของเสียสูงกว่ามาตรฐาน ผู้ประกอบการได้เล็งเห็นถึงปัญหาและต้องการที่จะแก้ไขปรับปรุง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อ

ประยุกต์ใช้วิธีการปรับปรุงกระบวนการทำงานอย่างต่อเนื่อง เพื่อแก้ไขปัญหาและปรับปรุงกระบวนการทำงานเพื่อลดการสูญเปล่าและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัย ทางผู้วิจัยได้นำหลักการ PDCA มาใช้ในการปรับปรุงงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

<u>ขั้นที่ 1</u> การวางแผน (Plan ; P)

1) การศึกษาสภาพปัญหา

จากการศึกษาสภาพปัญหาของบริษัท กรณีศึกษาในฤดูกาลปี พ.ศ. 2556 – 2557 พบว่าบริษัทได้ประสบปัญหาลูกโม่เสียอยู่บ่อยครั้ง ฟันลูกโม่หัก หรือจำนวนฟันลูกโม่ไม่ถูกต้อง ทำให้กระบวนการผลิตเกิดการหยุดชะงัก ส่งผลให้ต้องสูญเสียเวลาในการผลิตและเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงลูกโม่ประมาณ 164,166 บาทต่อฤดูกาล ในขั้นตอนการทำงานเปลี่ยนฟันลูกโม่ไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบจึงมักพบปัญหาจำนวนฟันลูกโม่ไม่ถูกต้อง ส่วนกระบวนการตรวจสอบฟันลูกโม่จะเป็นหน้าที่ของแผนกซ่อมบำรุง ซึ่งจะมีขั้นตอนมากถึง 38 ขั้นตอน ส่งผลกระทบต่อเวลาในกระบวนการผลิต

2) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

สำหรับการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาลูกโม่เสีย ทางผู้วิจัยได้ทำการระดมสมอง (Brain Storming) ร่วมกับทีม QCC ของบริษัท ประกอบด้วยหัวหน้าแผนกผลิต หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง พนักงานประจำแผนก และใช้ผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการระดมสมอง เพื่อให้สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุได้ง่ายขึ้น ผลการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหา สามารถสรุปเป็นด้านต่างๆ ดังนี้

1. สาเหตุที่เกิดจากวิธีการ

เนื่องจากคู่มือการทำงานเดิมไม่ชัดเจน รายละเอียดในการปฏิบัติงานยังไม่ครอบคลุมทุกขั้นตอนการทำงาน ทำให้พนักงานขาดรายละเอียดที่มากพอในการทำความเข้าใจ เป็นผลทำให้การเปลี่ยนฟันลูกโม่ไม่ถูกต้อง ซี่ฟันและประกับที่ใส่ใหม่มีขนาดไม่สม่ำเสมอกัน และมีจำนวนฟันและประกับไม่ครบตามมาตรฐานของเครื่อง ส่งผลให้ลูกโม่สูญเสียสมดุล เกิดการสั่นสะเทือนทันทีหลังเปลี่ยนฟันลูกโม่ทำให้เกิดการทำงานหยุดชะงักขึ้น

2. สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน

พนักงานขาดความรู้และความชำนาญในกระบวนการเปลี่ยนฟันลูกโม่อย่างถูกวิธี เนื่องจากเกิดการหมุนเวียนของพนักงานไปทำงานสายการผลิตอื่นบ่อยครั้ง และบริษัทยังไม่มีเอกสารการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐานให้กับพนักงาน ทำให้เกิดความผิดพลาดในการเปลี่ยนฟันลูกโม่

3. สาเหตุที่เกิดจากเครื่องจักรและอุปกรณ์

เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเป็นของเก่า ทำให้ประสบปัญหาในการซ่อม และหาอะไหล่ในการบำรุงรักษา

จากสาเหตุดังกล่าวข้างต้น จะเห็นว่าปัญหาด้านเครื่องจักรมีความเกี่ยวข้องกับเงินลงทุน จึงขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้บริหารบริษัท แต่สาเหตุปัญหาที่เกิดจากพนักงานและวิธีการสามารถทำการแก้ไขด้วยการศึกษาและวิเคราะห์งานและการปรับปรุงงานอย่างต่อเนื่อง

3) วิธีการแก้ไขและการปรับปรุง

หลังจากทราบสาเหตุของปัญหา ทางผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการแก้ไขและปรับปรุง ตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

1. ศึกษากระบวนการทำงานสำหรับการเปลี่ยนฟันลูกโม่และการตรวจสอบฟันลูกโม่ จากพื้นที่จริง ของจริงและสถานการณ์จริงร่วมกับทีม QCC ของบริษัท

2. เขียนแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) ของการเปลี่ยนฟันลูกโม่และการตรวจสอบฟันลูกโม่ ในวิธีการทำงานปัจจุบัน ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 1

3. ปรับปรุงวิธีการทำงานของการเปลี่ยนฟันลูกโม่และการตรวจสอบฟันลูกโม่ ด้วยหลักการ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange and Simplify) ดังนี้

- ใช้หลักการรวมงาน (Combine) เพื่อลดขั้นตอนการทำงานของแผนกซ่อมบำรุงในขั้นตอนการตรวจสอบลูกโม่ ด้วยการรวมขั้นตอนงานที่ซ้ำซ้อนกับฝ่ายผลิตและตัดงานที่ไม่จำเป็นออกซึ่งได้แก่การตรวจสอบฟันลูกโม่ ซึ่งเป็นขั้นตอนของฝ่ายผลิตที่ต้อง

ตรวจสอบ ทำให้ขั้นตอนงานลดลงจาก 38 เหลือ 29 ขั้นตอน และลดเวลาจาก 1601 เป็น 1081 นาที ดังรูปที่ 2

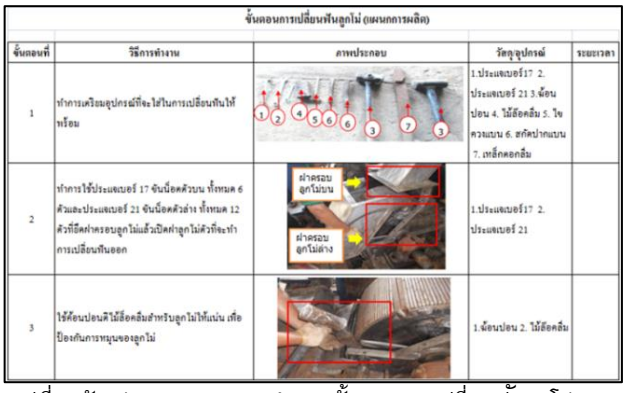
- ออกแบบเอกสารมาตรฐานการทำงาน (Work Instruction) ของการเปลี่ยนฟันลูกโม่ใหม่ แสดงดังรูปที่ 3 โดยใช้หลักการทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) เพื่อให้กระชับเข้าใจง่าย มีรูปภาพประกอบที่ชัดเจนและเป็นขั้นตอน และได้ทำการเพิ่มขั้นตอน การตรวจสอบฟันลูกโม่หลังจากเปลี่ยนฟันเสร็จแล้ว เพื่อให้พนักงานได้ตรวจสอบงานก่อนที่จะเดินเครื่อง เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดจากการเสียสมดุลของลูกโม่ ซึ่งได้แก่ ลูกปืนแตก น็อตขาด แท่นรองเครื่องแตก ตลอดจนออกแบบมาตรฐานการทำงานของขั้นตอนการตรวจสอบ ดังรูปที่ 4

คำอธิบายขั้นตอนการทำงาน	TIME (min.)	สัญลักษณ์					
		○	⇨	D	□	◇	▽
1.เดินไปเบิกเครื่องมือที่สโตร์	110	○	⇨	D	□	◇	▽
2.เบิกของ	55	○	⇨	D	□	◇	▽
3.เดินกลับจากสโตร์ไปยังพื้นที่ลูกโม่	120	○	⇨	D	□	◇	▽
4.เช็คหมายเลขเครื่องที่จะทำการตรวจเช็ค	5	○	⇨	D	□	◇	▽
5.เดินไปห้องไฟฟ้าเพื่อลงสวิตช์	40	○	⇨	D	□	◇	▽
6.แขวนป้ายหยุดซ่อมที่หัวเบรกเกอร์	5	○	⇨	D	□	◇	▽
7.เดินลงมายังตู้คอนโทรลลูกโม่	30	○	⇨	D	□	◇	▽
8.ทดสอบกดสตาร์ทลูกโม่ตัวที่จะทำการตรวจเช็ค	2	○	⇨	D	□	◇	▽
9.เดินจากตู้คอนโทรลไปยังลูกโม่	30	○	⇨	D	□	◇	▽
10.ตรวจเช็คสายพาน	5	○	⇨	D	□	◇	▽
...							
...							
...							
36.บันทึกข้อมูลการตรวจเช็คลงในแบบฟอร์ม	60	○	⇨	D	□	◇	▽
37.รวบรวมเครื่องมือและเช็ดความสะอาด	30	○	⇨	D	□	◇	▽
38.ส่งเครื่องมือที่สโตร์	120	○	⇨	D	□	◇	▽
	1601						

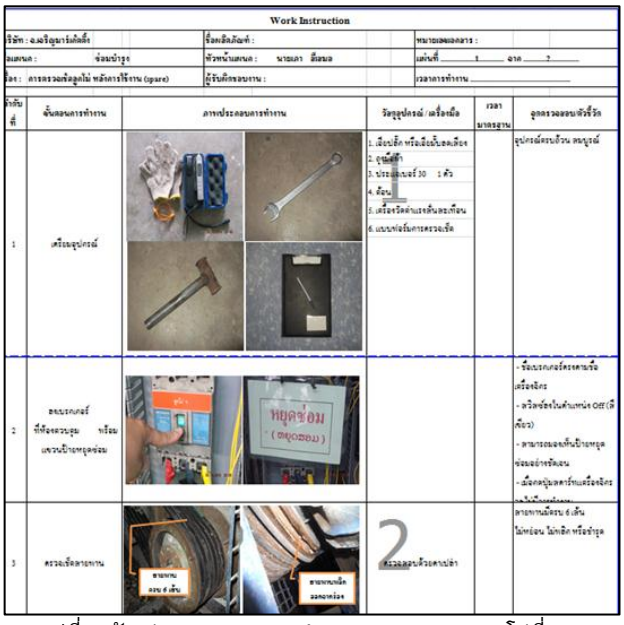
รูปที่ 1 ตัวอย่างแผนภูมิการไหลของขั้นตอนการตรวจสอบฟันลูกโม่ ก่อนปรับปรุง

คำอธิบายขั้นตอนการทำงาน	TIME (min.)	สัญลักษณ์					
		○	⇨	D	□	◇	▽
1.เดินไปเบิกเครื่องมือที่สโตร์	110	○	⇨	D	□	◇	▽
2.เบิกของ	55	○	⇨	D	□	◇	▽
3.เดินกลับจากสโตร์ไปยังพื้นที่ลูกโม่	120	○	⇨	D	□	◇	▽
4.เช็คหมายเลขเครื่องที่จะทำการตรวจเช็ค	5	○	⇨	D	□	◇	▽
5.เดินไปห้องไฟฟ้าเพื่อลงสวิตช์	40	○	⇨	D	□	◇	▽
6.แขวนป้ายหยุดซ่อมที่หัวเบรกเกอร์	5	○	⇨	D	□	◇	▽
7.เดินลงมายังตู้คอนโทรลลูกโม่	30	○	⇨	D	□	◇	▽
8.ทดสอบกดสตาร์ทลูกโม่ตัวที่จะทำการตรวจเช็ค	2	○	⇨	D	□	◇	▽
9.เดินจากตู้คอนโทรลไปยังลูกโม่	10	○	⇨	D	□	◇	▽
10.ตรวจดูความสะอาด	20	○	⇨	D	□	◇	▽
11.ตรวจเช็คสายพาน	5	○	⇨	D	□	◇	▽
12.ตรวจเช็คการ์ดครอบชุดขับ	5	○	⇨	D	□	◇	▽
13.ใช้ประแจเบอร์ 28 คลายน็อตตุ๊กตาทั้ง 2 ข้าง	105	○	⇨	D	□	◇	▽
14.วางเครื่องมือแล้วเปิดฝาตุ๊กตาออก	10	○	⇨	D	□	◇	▽
15.ตรวจดูสภาพจารบี และลูกปืนทั้ง 2 ข้าง	20	○	⇨	D	□	◇	▽
...							
...							
...							
27.บันทึกข้อมูลการตรวจเช็คลงในแบบฟอร์ม	60	○	⇨	D	□	◇	▽
28.รวบรวมเครื่องมือและเช็ดความสะอาด	30	○	⇨	D	□	◇	▽
29.ส่งเครื่องมือที่สโตร์	120	○	⇨	D	□	◇	▽
	1801						

รูปที่ 2 ตัวอย่างแผนภูมิการไหลของขั้นตอนการตรวจสอบฟันลูกโม่ หลังปรับปรุง



รูปที่ 3 ตัวอย่างมาตรฐานการทำงานขั้นตอนการเปลี่ยนฟันลูกโม่



รูปที่ 4 ตัวอย่างมาตรฐานการทำงานการตรวจสอบลูกโม่ที่ออกแบบใหม่

- ใช้หลักการปรับเปลี่ยน (Rearrange) และ การทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) แนะนำการจัดระบบหมวดหมู่ในห้องสโตร์ การปรับผังจัดวางอุปกรณ์ในสโตร์ และระบบการเบิกจ่ายวัสดุการตัดสต๊อก เพื่อให้สามารถลดเวลาในการค้นหาและลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นจากวัสดุขาดสต๊อก ตัวอย่างการจัดระบบในสโตร์แผนกน็อตที่ปรับปรุงใหม่แสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 ตัวอย่างการจัดสต็อกน็อตที่มีข้อมูลชัดเจน และจัดเรียงเป็นหมวดหมู่

<u>ขั้นที่ 2</u> การลงมือปฏิบัติ (DO; D)

ทำการจัดฝึกอบรมเกี่ยวมาตรฐานวิธีการทำงานใหม่ที่ได้ปรับปรุงให้กับพนักงานในลักษณะ on the job training ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 อบรมพนักงานในการทำงานการตรวจสอบฟันลูกโม่

<u>ขั้นที่ 3</u> การตรวจสอบและติดตามผล (Check; C)

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ผลก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุง

<u>ขั้นที่ 4</u> การกำหนดมาตรฐาน (Action; A)

จัดทำเอกสารวิธีการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐานโดยมีขั้นตอนการปฏิบัติงานอย่างชัดเจนพร้อมมีรูปภาพประกอบของแต่ละขั้นตอนการผลิตเพื่อให้พนักงานที่อ่านหนังสือไม่ออกหรือเป็นชาวต่างประเทศสามารถนำไปปฏิบัติได้

3. ผลการวิจัย

จากการปรับปรุงกระบวนทำงานด้วยการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง พบว่าปัญหาการเสียของลูกโม่ที่มีสาเหตุมาจากพนักงานขาดความรู้และความชำนาญในการเปลี่ยนฟันลูกโม่อย่างถูกวิธีนั้น หลังจากทำการปรับปรุง ทำให้ลดการเสียสมดุลของลูกโม่ลงได้ เป็นผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเนื่องจากการเสียสมดุลของลูกโม่ลดลงจาก 164,166 บาท (คิดจากค่าอุปกรณ์ที่ต้องเปลี่ยนและค่าแรงพนักงานซ่อมบำรุงต่อฤดูกาล ซึ่งข้อมูลนี้ได้จากการประมาณการของสถานประกอบการ) เหลือ 23,452 บาทต่อฤดูกาล (ลดลง 85.72%) และเหลือเพียงการซ่อมบำรุงตามรอบปกติเท่านั้น และในส่วนกระบวนการตรวจสอบฟันลูกโม่ หลังจากทำการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน ทำให้ลดขั้นตอนการทำงานจาก 38 ขั้นตอน เหลือ 29 ขั้นตอน (ลดลง 23.68%) และเวลาการตรวจสอบลดลงจาก 26.68 นาที เหลือ 18.01 นาที (ลดลง 32.50%) โดยผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนงานสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 นอกจากนี้ผลจากการปรับปรุงระบบของห้องสโตร์ ทำให้สามารถค้นหาวัสดุอุปกรณ์ได้ง่ายขึ้น การขาดสต๊อกของวัสดุและอุปรณ์ลดลง ซึ่งผลเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 เปรียบเทียบสภาพห้องสโตร์ ก่อนและหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการทำงาน

ตัวชี้วัด	หน่วย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	% ที่ลดลง
จำนวนขั้นตอนในการตรวจสอบฟันลูกโม่	ขั้นตอน	38	29	23.68
เวลาในการตรวจสอบฟันลูกโม่	นาที	26.68	18.01	32.50
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงลูกโม่	บาทต่อฤดูกาล	164,166	23,452	85.72

4. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้นำหลักการ ECRS มาใช้ปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อแก้ปัญหาลูกโม่เสีย จากการปรับปรุงมาตรฐานการทำงาน และอบรมพนักงาน พบว่าสามารถทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเนื่องจากการเสียของลูกโม่ลดลง 85.72% และสามารถลดขั้นตอนการตรวจสอบลูกโม่ลงได้ 23.68% และลดเวลาการตรวจสอบลงได้ 32.50% และยังสามารถกำหนดเอกสารการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐานให้กับพนักงาน

4.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรจัดฝึกอบรมให้ความรู้และเพิ่มทักษะในการทำงานให้กับพนักงานให้ทำงานได้อย่างถูกต้อง เพื่อลดปัญหาการผลิตของเสียหรือการชำรุดของเครื่องจักร และควรจัดให้พนักงานมีส่วนร่วมในการรับรู้ถึงข้อบกพร่องและผลที่เกิดขึ้น เพื่อให้พนักงานได้มีส่วนร่วมในการวางแผน แก้ไข ตรวจสอบและติดตามผลต่อไป

2) การปรับปรุงครั้งต่อไปของบริษัท ควรให้ความสำคัญกับการบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม(TPM) เนื่องจากเครื่องจักรในโรงงาน 80 %เป็นเครื่องจักรเก่าเพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตและสร้างประสิทธิผลให้กับเครื่องจักรสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการเพิ่มผลิตภาพแรงงานตามความต้องการสถานประกอบกิจการที่ได้รับการสนับสนุนจากกรมพัฒนาฝีมือแรงงานภาค 6 จังหวัดขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

[1] อัมพิกา ไกรฤทธิ์, ไคเซ็น กุญแจสู่ความสำเร็จแบบญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ:ซีเอ็ตยูเคชั่น, 2534

[2] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, คิวซีเซอร์เคิล, กรุงเทพฯ: ส.เอเซียเพลส, 2542

[3] พรรณี หอมทอง, ความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes), ข้อมูลจาก http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=19136&section=9 (วันที่สืบค้นข้อมูล 18 เมษายน 2558)

[4] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, การศึกษางานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท๊อป, 2542

[5] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. เครื่องคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). แหล่งที่มา http://youth.ftpi.or.th, วันที่สืบค้นข้อมูล 18 เมษายน 2558

การลดของเสียในกระบวนการผลิตอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์: กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

Defect reduction in packaging for electronic parts product: case study of electronic part manufacturing

กนกพร บุญจูบุตร
โปรแกรมวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 E-mail: knp_stw@hotmail.com

Kanokporn Boonjubut
Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology,
Nakhon Ratchasima Rajabhat University E-mail: knp_stw@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ของโรงงานกรณีศึกษาผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยการศึกษาเริ่มจากการพิจารณากระบวนการผลิตด้วยแผนภูมิกระบวนการผลิต วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุการเกิดปัญหาด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล พบว่าปัญหาหลักที่ทำให้เกิดของเสียคือ ปัญหาการเจาะรูอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นระดมสมองเพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหานั้น โดยมีมาตรการแก้ไขคือ จัดทำหัวข้อในการตรวจสอบ (Check List) กำหนดรอบเวลาในการตรวจสอบและจัดทำอุปกรณ์ (JIG) ที่สามารถตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์บรรจุชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ได้ หลังจากปรับปรุงการทำงานแล้ว พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถลดต้นทุนของเสียที่เกิดขึ้นจากเดิม 60,200 บาท/เดือน เป็น 17,200 บาท/เดือน ลดลง 43,000 บาท/เดือน และลดระยะเวลาในการตรวจสอบจากเดิม 84.76 วินาที เป็น 72.81 วินาที ลดลง 11.95 วินาที

คำหลัก ของเสีย, อุปกรณ์บรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์, จิ๊ก

Abstract

The purpose of this research was to reduce defect in packaging for electronic parts product of case study electronic part manufacturing. The study started with consideration production process of flow process chart, analyzing the problems the major causes by using cause and Effect Diagram. Found that the main cause of waste was drilling the hole electronic products. Brainstorming was used to indicate the remedial action, which are: topic in check (Check List) determines the time to check. And provision of equipment (JIG) to determine the quality of electronic part products. After problem solving and problem protection procedures to implement in production process, the defects from packaging for electronic parts production process can be reduced cost the wastes by average from 60,200 bath/month to 17,200 bath/month, or equal to cost reduction of 43,000 bath/month. And reduced the actual time less time from 84.76 seconds to 72.81, or reduction of 11.95 seconds.

Keywords: Waste, Electronic Parts, Jig

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการแข่งขันในภาคอุตสาหกรรมที่สูงมากขึ้นเพื่อรองรับกับความต้องการของลูกค้า องค์กรจึงต้องมีการพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อความอยู่รอดของธุรกิจ และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับคู่แข่งในทางด้านการตลาด นำไปสู่การผลิตสินค้าที่มีคุณภาพและเป็นที่น่าเชื่อถือของผู้บริโภค การลดความสูญเสีย อันเกิดเป็น ของเสีย หรือ Waste ในกระบวนการผลิตที่มักพบว่ามีความสูญเสียต่างๆ แฝงอยู่ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการต่ำกว่าที่ควรจะเป็น [1] บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทหนึ่งที่ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ จากการสำรวจข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษาแห่งนี้ พบว่ามีของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตในส่วนของการผลิตอุปกรณ์บรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการผลิตและของเสียที่เกิดจากอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์

รุ่น	ปริมาณการผลิต		ปริมาณของเสีย		ของเสีย
	ม้วน	ชิ้น	ม้วน	ชิ้น	
A	1,296	226,800,000	69	12,075,000	5.32%
B	4,224	823,680,000	104	20,280,000	2.46%
C	816	159,120,000	15	2,925,000	1.84%
D	348	15,660,000	6	270,000	1.72%
รวม	6,684	1,225,260,000	194	35,550,000	11.34%

จากข้อมูลตารางที่ 1 พบว่าบริษัทกรณีศึกษามีของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์คิดเป็นร้อยละ 11.34 ซึ่งถือว่าเป็นจำนวนที่ควรทำการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น จึงเล็งเห็นถึงความสำคัญโดยทำการศึกษากระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาเพื่อหาจุดบกพร่องเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งการลดของเสียนั้นจะทำให้เกิดผลดีต่อบริษัทกรณีศึกษาเป็นอย่างยิ่ง ทั้งในเรื่องการลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง การเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและก่อให้เกิดความพึงพอใจของลูกค้า

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์

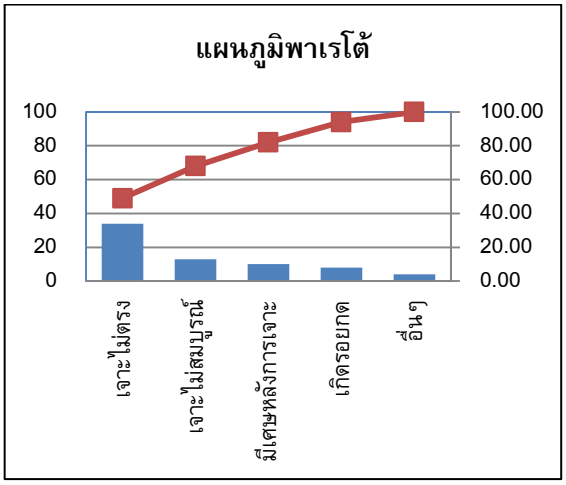
3. การดำเนินการวิจัย

ทำการศึกษาขั้นตอนในการผลิตอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเลกทรอนิกส์รุ่น A เนื่องจากปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์รุ่น A เป็นรุ่นที่มีของเสียมากที่สุด แสดงข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การแยกประเภทของเสียของ อุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์รุ่น A

ประเภทของเสีย	ปริมาณที่เสีย (ม้วน)	อัตราของเสีย
มีเศษหลังการเจาะ	10	14%
เจาะไม่ตรง	34	49%
เจาะไม่สมบูรณ์	13	19%
เกิดรอยกด	8	12%
อื่นๆ	4	6%

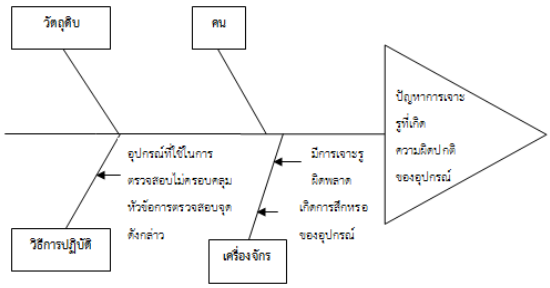
จากตารางที่ 2 พบว่าอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์รุ่น A มีสาเหตุมาจากเจาะไม่ตรงมีปริมาณของเสียมากที่สุดคือร้อยละ 49 รองลงมาคือสาเหตุจากเจาะไม่สมบูรณ์ร้อยละ 19 และรองลงมาคือมีเศษหลังการเจาะร้อยละ 14 ตามลำดับ จึงได้ทำการเรียงลำดับของสาเหตุหรือประเภทของเสียดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปริมาณของประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในการผลิตอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์รุ่น A

4. วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดของเสียมากที่สุดโดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) [3] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงแผนผังแสดงสาเหตุและผล

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการเกิดของเสียโดยอาศัยหลักการต่างๆ พบว่าสาเหตุของการเกิดของเสียมีสาเหตุมาจากเครื่องจักร (Machine) และวิธีการทำงาน (Method) ทั้งนี้การหาแนวทางการปรับปรุงเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นนั้นต้องวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงที่เป็นไปได้โดยใช้ Why Why Analysis แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ Why Why Analysis

หัวข้อปัญหา Item	หัวข้อการแก้ไข	Why1	Why2	Why3	Why4	Counter Measure มาตรการแก้ไข
ปัญหาการเจาะรูอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ผิดพลาด	การแก้ไขปัญหาการเกิดสิ่งผิดพลาด	มีการเจาะรูไม่ตรงตำแหน่งโดยผิดไปจากตำแหน่งที่ระบุ	เครื่องจักรเกิดการสึกหรอของอุปกรณ์ ทำให้ระยะในการเจาะคลาดเคลื่อน	ไม่มีหัวข้อการวางการบำรุงรักษา ในเครื่องจักรดังกล่าวทำให้เกิดความผิดปกติ	ไม่มีเครื่องมือในการบำรุงรักษา	- จัดทำหัวข้อในการตรวจสอบและกำหนดรอบเวลาในการตรวจสอบ
		อุปกรณ์ตรวจสอบไม่ครอบคลุม	ไม่สามารถตรวจสอบขนาดของรูที่เจาะได้			จัดทำอุปกรณ์ที่สามารถตรวจสอบ ใช้ครอบคลุมหัวข้อการเกิดปัญหา

5. แนวทางในการแก้ไข

5.1 จัดทำหัวข้อในการตรวจสอบและกำหนดรอบเวลาในการตรวจสอบ

การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance : PM) [4,5] เพื่อป้องกันเกิดการชำรุด หรือ Breakdown ของเครื่องจักร จึงจัดทำหัวข้อในการตรวจสอบและกำหนดรอบเวลาในการตรวจสอบ โดยดำเนินการต่อไป

- การบำรุงรักษาประจำวัน
- การตรวจสอบตามระยะเวลา
- ดำเนินการบำรุงรักษาหรือซ่อมปรับคืนสภาพ

การคำนวณหาค่าเฉลี่ยอายุการใช้งานก่อนเสียหาย

การวัดผลโดยใช้ค่าระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างการเกิดเหตุขัดข้องของเครื่องจักร (Mean Time Between Failure: MTBF) ซึ่งการหาค่า MTBF หาได้จากสูตร

$$MTBF = \frac{\text{เวลาที่เครื่องจักรทำการผลิต}}{\text{จำนวนครั้งที่เครื่องจักรเสีย}}$$

$$MTBF = \frac{(\text{เวลาทั้งหมด} - \text{เวลาสูญเสีย})}{\text{จำนวนครั้งที่เครื่องจักรเสีย}}$$

$$MTBF = \frac{34{,}560-14}{3}$$

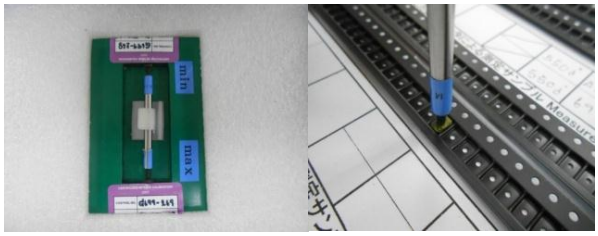
= 11,515.33 ชั่วโมง

จากค่าการคำนวณหาค่าเฉลี่ยอายุการใช้งานก่อนเสียหาย อัตราการเกิดความเสียหายของเครื่องจักรอยู่ที่ 11,515.33 ชั่วโมง จึงได้มีการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาค่า MTBF มาสร้างแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักร เพื่อเป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกันก่อนเกิดการเสียหายของเครื่องจักร

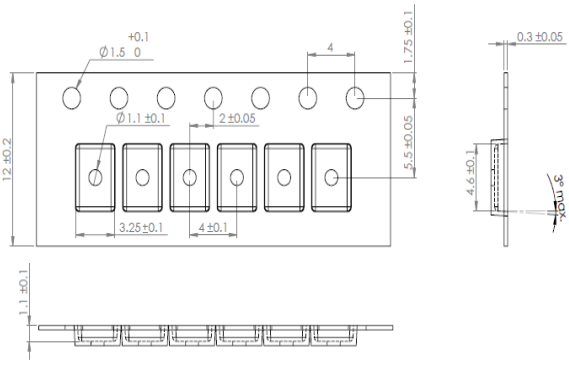
จากผลลัพธ์การคำนวณหาค่า MTBF ที่ได้ คือ อัตราการเกิดความเสียหายของกระบวนการเจาะอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์เฉลี่ยแล้วอยู่ที่ 515.33 ชั่วโมง จึงได้ทำแผนการบำรุงรักษาในหัวข้อ PERFORMATION โดยมาระยะเวลาความถี่เข้าไปบำรุงรักษาในจุดที่เป็นปัญหาดังกล่าว

5.2 การสร้างเครื่องมือในการตรวจสอบอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์

สำหรับเครื่องมือในการตรวจสอบแบบเดิมจะสามารถตรวจสอบได้เฉพาะขนาดความผิดปกติ ความกว้างและความยาวของขนาดการขึ้นรูปของด้านในช่องอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังภาพที่ 3 โดยใช้ด้าน Min วัดในส่วนความกว้าง ด้าน Max วัดในส่วนความยาวของช่องอุปกรณ์บรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ให้ได้ตามขนาด Specification ดังรูปที่ 4 และข้อจำกัดของ JIG แบบเดิมไม่สามารถตรวจสอบรู PIN ที่เจาะบนอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ได้

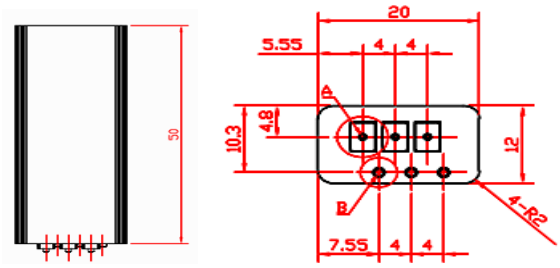


รูปที่ 3 อุปกรณ์ Jig ในการตรวจสอบชิ้นงานแบบเดิม



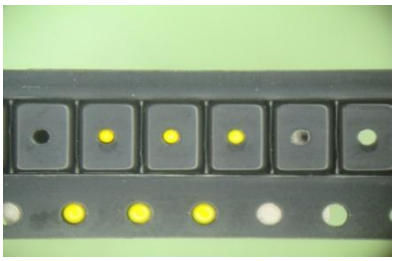
รูปที่ 4 ขนาด Specification อุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ รุ่น A

เนื่องจาก JIG แบบเดิมต้องทำการวัดขนาดของช่องอุปกรณ์บรรจุภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ในด้านความกว้างและความยาว และยังไม่สามารถตรวจสอบรู PIN ที่เจาะบนอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ [5] จึงทำการออกแบบ JIG แบบใหม่ที่สามารถวัดขนาดความกว้างและความยาวในขั้นตอนเดียว และสามารถตรวจสอบรู PIN ที่เกิดจากการเจาะรูผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ (แสดงดังรูปที่ 5-7)



รูปที่ 5 แสดงขนาดของ Jig ที่ทำการออกแบบใหม่

รูปที่ 6 แสดง Jig ที่ทำการออกแบบใหม่



รูปที่ 7 ตัวอย่างการ Jig แบบใหม่ ในการตรวจสอบชิ้นงาน

6. ผลการดำเนินการ

จากการทดลองนำแนวทางการแก้ไขปัญหาไปปฏิบัติ พบว่าปริมาณของเสียที่พบก่อนและหลังการปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบของเสียอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ (เฉลี่ยต่อเดือน)

ประเภทของเสีย	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
	ปริมาณที่เสีย (ม้วน)	คิดเป็นมูลค่า (บาท)	ปริมาณที่เสีย (ม้วน)	คิดเป็นมูลค่า (บาท)
เจาะไม่ตรง	9	38,700	-	-
เจาะไม่สมบูรณ์	2	8,600	1	4,300
มีเศษหลังการเจาะ	1	4,300	1	4,300
เกิดรอยกด	1	4,300	1	4,300
อื่นๆ	1	4,300	1	4,300
รวม	14	60,200	4	17,200

จากตารางที่ 4 พบว่าหลังปรับปรุงสามารถทำให้ของเสียจากสาเหตุเจาะไม่ตรงลดลงจากเฉลี่ย 9 ม้วน/เดือน จนไม่มีของเสียที่เกิดจากเจาะไม่ตรง และพบว่าของเสียจากสาเหตุเจาะไม่สมบูรณ์ลดลงจากปริมาณของเสียเฉลี่ย 2 ม้วน/เดือน เหลือเพียงปริมาณของเสียเฉลี่ย 1 ม้วน/เดือน สามารถลดต้นทุนของเสียที่เกิดขึ้นจากเดิม 60,200 บาท/เดือน เป็น 17,200 บาท/เดือน ลดลง 43,000 บาท/เดือน นอกจากนี้การออกแบบ Jig ใหม่ยังสามารถลดขั้นตอนในการตรวจสอบได้ แสดงการเปรียบเทียบดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบกระบวนการทำงานในการตรวจสอบอุปกรณ์โดยใช้ JIG แบบเดิมและแบบใหม่

แบบเดิม	เวลา (วินาที)	แบบใหม่	เวลา (วินาที)
1. กระบวนการตัดชิ้นงาน	4.35	1. กระบวนการตัดชิ้นงาน	4.55
2. กระบวนการตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตา	28.05	2. กระบวนการตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตา	28.08
3. ตรวจสอบชิ้นงานโดยใช้ Jig ทางด้าน Min	13.16	3. ตรวจสอบชิ้นงานโดยใช้ Jig	14.96
4. ตรวจสอบชิ้นงานโดยใช้ Jig ทางด้าน Max	11.40	4. จดบันทึกข้อมูลที่ได้ลง Check Sheet	25.22
5. จดบันทึกข้อมูลที่ได้ลง Check Sheet	27.80		
รวม	**84.76**	**รวม**	72.81

จากการดำเนินการงานวิจัย โดยทำการศึกษาเพื่อปรับปรุง โดยใช้วิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยทำการเปรียบเทียบค่า MTBF ของเครื่องจักร ดังในตารางที่ 6 ดังนี้

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพก่อนและหลังการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

เครื่องจักร	MTBF (ชั่วโมง)	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
	11,515.33	34,556

7.สรุปผลการดำเนินงาน

จากปัญหาที่พบจากการเกิดของเสียที่เกิดอุปกรณ์บรรจุผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ จึงดำเนินการตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักร โดยทำการจับเวลาหาข้อบกพร่องของเครื่องจักรที่ทำการเจาะรูจากผลการสร้างแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรก่อนเกิดความเสียหายซึ่งต้องเข้าไปบำรุงรักษาในชุดอุปกรณ์การเจาะของเครื่องจักร ผลที่ได้คือ ส่งผลทำให้เกิดของเสียลดลงสามารถลดต้นทุนของเสียที่เกิดขึ้นจากเดิม 60,200 บาท/เดือน เป็น 17,200 บาท/เดือน ลดลง 43,000 บาท/เดือน

การใช้ Jig แบบใหม่สามารถตรวจสอบชิ้นงานได้อย่างครอบคลุม โดยสามารถตรวจสอบรู Pin ที่เกิดจาก

การเจาะรูบนผลิตภัณฑ์บรรจุชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ได้ และสามารถลดเวลาในขั้นตอนการตรวจสอบซึ่งจากเดิมมีการทำงานทั้งหมด 5 ขั้นตอน การใช้ JIG แบบใหม่สามารถลดขั้นตอนให้เหลือ 4 ขั้นตอน โดยการรวมขั้นตอนที่ 3 และ 4 เข้าด้วยกัน และพบว่าอุปกรณ์แบบใหม่สามารถลดระยะเวลาในการตรวจสอบจากเดิม 84.76 วินาที เป็น 72.81 วินาที ลดลง 11.95 วินาที

เอกสารอ้างอิง

[1] โกศล ดีศีลธรรม, แนวคิดการลดความสูญเปล่าในการเพิ่มผลผลิตในงานอุตสาหกรรม, 2546

[2] นิพนธ์ บัวแก้ว, ลดความสูญเปล่าและลดระยะเวลาการผลิตรวม, กรุงเทพ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดบุ๊ค, 2547

[3] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, หลักการควบคุมคุณภาพ, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย–ญี่ปุ่น), 2550

[4] ธานี อ่วมอ้อ, การบำรุงรักษาแบบทุกคนมีส่วนร่วม TPM (Total productive maintenance), พิมพ์ครั้งที่2, กรุงเทพฯ: พีค บูลส์, 2547

[5] อนุศักดิ์ ฉิ่นไพศาล, **การบริหารงานบำรุงรักษา**, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2555

[6] วชิระ มีทอง, การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์, พิมพ์ครั้งที่ 19, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย–ญี่ปุ่น), 2551

การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการฉีดกาวประสาน

Quality improvement in injecting glue process

ปฏิภาณ โพธิ์ศรีสุข* พีรเดช สุวิทยารักษ์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
E-mail: patiparn.pho@gmail.com; peeradaech.su@rmuti.ac.th

Patiparn Posrisook*, **Peeradaech Suwittayaruk**
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakhonratchasima, 30000,
E-mail: patiparn.pho@gmail.com; peeradaech.su@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพสำหรับการแก้ปัญหากระบวนการผลิตในโรงงานผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ของบริษัทหนึ่ง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดกาวประสานระหว่าง Plate และ Magnet โดยใช้ 5 ขั้นตอนได้แก่ การกำหนดปัญหา การวัด การวิเคราะห์ การปรับปรุง และการควบคุม ผลการศึกษาปัญหาพบว่ากระบวนการฉีดกาวลงไปที่ Plate มีความคาดเคลื่อนไปจากเส้นแนวและตำแหน่งของกาว ดังนั้นทีมงานวิจัยจึงได้เสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพโดยทำการสร้างต้นแบบมาตรฐานเส้นแนวและตำแหน่งของกาวให้มีความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนั้นผู้วิจัยได้เสนอระบบการตรวจสอบความถูกต้องตามรอบเวลาอย่างสม่ำเสมอ หลังจากการปรับปรุง พบว่าสัดส่วนของเสียจากแผนก VMI ลดลงจาก 18.44% เหลือ 4.60% และแผนก OQA ลดลงจาก 23.13% เหลือ 8.18%.

คำหลัก กระบวนการฉีดกาว; สัดส่วนของเสีย; การปรับปรุงคุณภาพ

Abstract

This paper was to study the quality improvement for solving a problem in a harddisk parts manufacturing plant of a company. The purpose of this research was to reduce defects in the process of spraying adhesive interface between Magnet and Plate using five phases improvement methods including define, measurement, analysis, improvement and control phases. The study found that the injection of glue to the plate is expected to move out of the line and the position of the adhesive. Therefore, we proposed a method to improve the quality by creating a standard of the pattern line and position of the spray adhesive to be more precise. Moreover, we proposed the system to monitor the accuracy of the sessions regularly. Having improved, the defect of VMI was reduced from 18.44% to 4.60% and the defects of OQA was reduced from 23.13% to 8.18%.

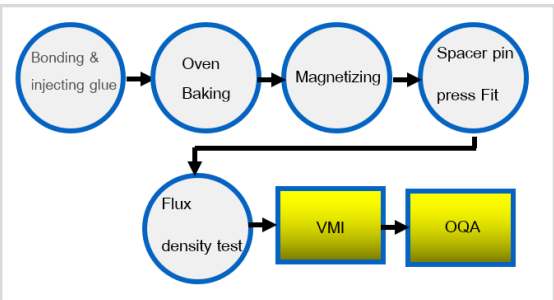
Keywords: injection of glue; Defect; Quality Improvement

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ (Harddisk) มีแนวโน้มที่มีการผลิตเพิ่มสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับความต้องการใช้คอมพิวเตอร์เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ความต้องการบริโภคข้อมูลข่าวสารทางสื่ออิเล็คทรอนิคส์ของมนุษย์ผ่านสังคมออนไลน์เป็นประเด็นสำคัญ ที่จำเป็นต้องการใช้พื้นที่ขนาดใหญ่เพียงพอในการเก็บบันทึกข้อมูลและมีความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลสำหรับการแบ่งปันส่งต่อข้อมูลเหล่านั้น โดยที่ฮาร์ดดิสก์เป็นส่วนประกอบสำคัญอย่างหนึ่งของคอมพิวเตอร์ทำหน้าเก็บบันทึกข้อมูลต่างๆ ดังกล่าว การผลิตฮาร์ดดิสก์นั้นมีความซับซ้อนมากเนื่องจากมีส่วนประกอบมากมาย ซึ่งแต่ชิ้นส่วนจะทำหน้าที่แตกต่างกันออกไป

บริษัทกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็คทรอนิคส์ ประเภทอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ โดยบริษัทเป็นหนึ่งในเครือของกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ ร่วมกับอีก 17 บริษัท ภายใต้การบริหารของบริษัทแม่ในประเทศสิงคโปร์ มีสาขาย่อยในประเทศไทย ประเทศจีน และประเทศมาเลเซีย ดำเนินธุรกิจด้วยวิสัยทัศน์ต้องการเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์อันหนึ่งของโลก

บริษัทดังกล่าวได้ผลิตชิ้นส่วนในฮาร์ดดิสก์ชิ้นหนึ่งเรียกว่า VCM (Voice Coil Motor) ทำการประกอบเพื่อเป็นชิ้นส่วนในฮาร์ดดิสก์ที่ทำหน้าที่ควบคุม Actuator arm ที่มีหน้าอ่านข้อมูลบนจานในฮาร์ดดิสก์ ในสายกระบวนการผลิตชิ้นงาน VCM ประสบความสูญเสียจำนวนมากในกระบวนการฉีดกาวประสานระหว่าง Plate และ Magnet เนื่องจากการปนเปื้อนของคราบกาวกระจายไปยังส่วนต่างๆ ของชิ้นงาน และเป็นปัญหาอันดับหนึ่งที่ถูกตรวจพบได้จากลูกค้าภายใน ดังรูปที่ 1 แสดงภาพแผนผังการไหลของกระบวนการผลิต VCM



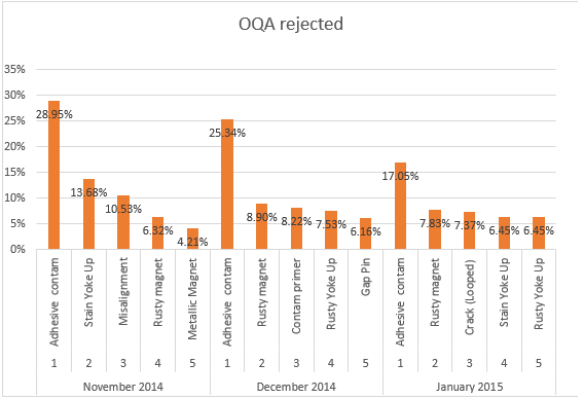
รูปที่ 1 ภาพแผนผังการไหลของกระบวนการผลิต VCM

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการทำวิจัยสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.1 การกำหนดปัญหา (Define Phase)

จากรายงานปัญหาของลูกค้าภายใน VCM Model AXXX ที่เป็นกรณีศึกษาพบรายการของเสีย 5 อันดับแรกที่หลุดรอดไปยังแผนก OQA ในเดือนพฤศจิกายน 25557 ถึงเดือนมกราคม 2558 พบปัญหาสัดส่วนของเสีย [1] การปนเปื้อนของคราบกาว (Adhesive contamination) มากที่สุดเป็นอันดับที่ 1 ในช่วงระยะทั้ง 3 เดือนดังรูปที่ 2

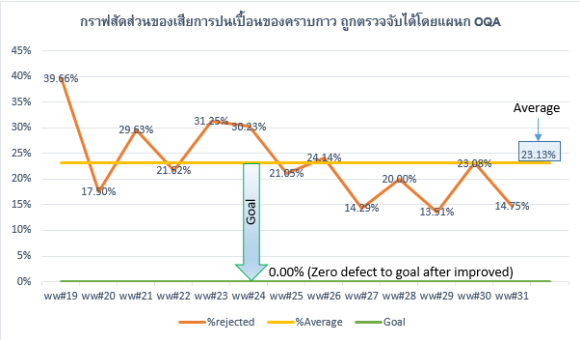


รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงของเสีย 5 อันดับแรกที่หลุดรอดไปยังแผนก OQA

ผู้วิจัยจึงร่วมกับทีมงานเลือกที่จะปรับปรุงปัญหาของเสียของการปนเปื้อนของคราบกาว ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 ตัวอย่างของเสียมีการปนเปื้อนของคราบกาวและของดีที่ปราศจากคราบกาว

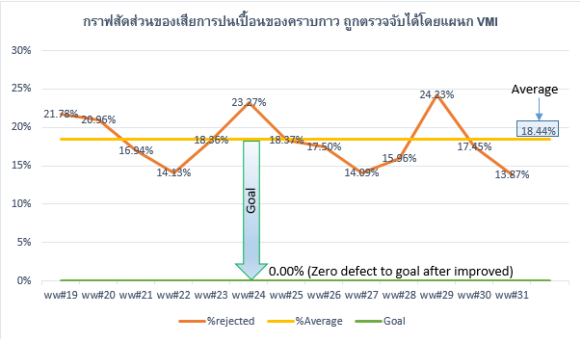
เฉพาะปัญหาการปนเปื้อนของคราบกาวที่พบการหลุดรอดสามารถวิเคราะห์เป็นเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของเสียในแต่ละสัปดาห์ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงสัดส่วนของเสียของคราบกาวในแต่ละสัปดาห์ถูกตรวจพบได้โดยแผนก OQA

จากเปอร์เซ็นต์สัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ย 23.13% ต่อสัปดาห์ที่หลุดรอดไปยังแผนก OQA และปัญหาการปนเปื้อนของคราบกาว มีสัดส่วนของเสียในระดับสูงเช่นกันในส่วนของแผนก VMI (พนักงานตรวจสอบขั้นตอนสุดท้ายโดยใช้สายตา) ที่มีสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ย 18.44% จากช่วงเวลาเดียวกัน ดังรูปที่ 5

ทางทีมงานวิจัยคาดหวังว่าหลังจากการดำเนินงานวิจัยแล้ว จะสามารถขจัดของเสียให้หมดไปจากแผนก VMI และ OQA แต่ในทางปฏิบัติทีมงานวิจัยมีเป้าหมายที่จะลดสัดส่วนของเสียให้น้อยกว่า 10 %



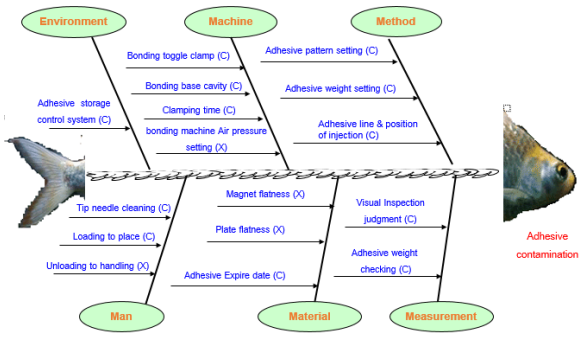
รูปที่ 5 กราฟแสดงสัดส่วนของเสียการปนเปื้อนของคราบกาวในแต่ละสัปดาห์ถูกตรวจจับได้โดยของแผนก VMI

2.2 การวัด (Measurement Phase)

การวัดและเก็บข้อมูลในกระบวนการ ในการศึกษากระบวนการตรวจสอบใช้วิธีการตรวจสอบด้วยตาเปล่าผ่านกล้องกำลังขยาย 10 เท่า โดยใช้เกณฑ์มาตรฐาน ICS (Inspection Capability Study) ซึ่งเป็นการศึกษาความสามารถในการตรวจสอบ โดยผลประเมินที่ 90% หรือมากกว่าจึงถือว่าผ่านเกณฑ์ ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานของลูกค้าและโรงงานกรณีศึกษาตกลงร่วมกัน ดังนั้นจึงได้มีการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดนี้ไปที่ตัวบุคคลเป็นหลักโดยการใช้ Attribute Gauge R&R [2] โดยเลือกตัวอย่างในกระบวนการผลิต 20 ชิ้น ซึ่งสิ่งตัวอย่างเหล่านี้ประกอบไปด้วยสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดี 12 ชิ้น และไม่ดี 8 ชิ้น ทำการตรวจสอบตัวอย่างที่เลือกทั้ง 20 ชิ้น แล้วเลือกพนักงานที่ทำหน้าที่ตรวจสอบ จำนวน 3 คน โดยพนักงานทุกคนได้รับผ่านการฝึกอบรมและมีทักษะเป็นอย่างดี

จากการตรวจสอบโดยมีค่าดัชนีทุกค่าวัดประเมินเท่ากับ 85% ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดไว้ที่ต้องได้อย่างน้อย 90% ดังนั้นสามารถสรุปเบื้องต้นได้ว่าปัญหาจากการพบของเสียในการตรวจสอบเกิดจากการตรวจสอบที่ผิดพลาดของพนักงานตรวจสอบขั้นสุดท้าย (VMI) ทางทีมงานจึงนำสาเหตุนี้เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) [2] ร่วมกับการวิเคราะห์ปัจจัยของกระบวนการฉีดกาวโดยนำสาเหตุทั้งหมดมาคัดกรองปัจจัยให้เหลือปัจจัยควบคุมที่สามารถปรับค่าได้ จากนั้นให้คะแนนความสำคัญโดยใช้เมตริกซ์เหตุและผล (Cause and Effect Matrix) [2] และการถ่วงน้ำหนักความรุนแรงที่จะกระทบไปหาลูกค้าจากการระดมความรู้ทักษะ ประสบการณ์ของทีมงาน และวิศวกรผู้เชี่ยวชาญการ โดยเกณฑ์การพิจารณามาจากปัจจัยควบคุมเหล่านั้น ส่งผลกระทบต่อการเกิดคราบกาวปนเปื้อนไปยังชิ้นงาน โดยมีคะแนนเต็ม 70 คะแนนซึ่งเป็นคะแนนรวมที่ผู้บริหารกำหนดให้

จากการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถสรุปสาเหตุปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเกิดคราบกาวปนเปื้อนจากปัจจัยได้แก่ แนวเส้นและตำแหน่งการฉีดกาว รูปแบบของเส้นของกาวที่ฉีดลงไป ปริมาณกาวที่ฉีดลงไป วิธีการทำความสะอาดเข็มฉีดกาว การวางชิ้นงานเข้าเครื่องฉีดกาว และการตรวจสอบสอบที่ผิดพลาด ดังแสดงตามรูปที่ 6 และตารางที่ 1

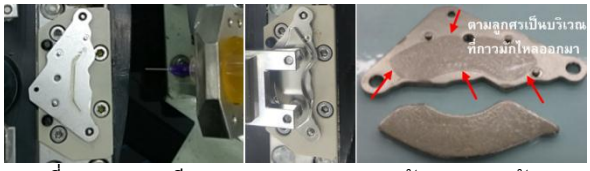


รูปที่ 6 แสดงแผนภาพปัจจัยและสาเหตุการปนเปื้อนของคราบกาว

ตารางที่ 1 การประเมินน้ำหนักความรุนแรงต่อลูกค้า

Weighting of severity to Customer		7	
Process Inputs	Affect to adhesive contamination	Weighting	คะแนน
1	Adhesive line & position of injection	10	70
2	Adhesive pattern setting	10	70
3	Adhesive weight setting	10	70
4	Tip needle cleaning	10	70
5	Loading to place	10	70
6	Visual Inspection judgment	10	70
7	Adhesive weight checking	5	35
8	Bonding toggle clamp	5	35
9	Bonding base cavity	5	35
10	Clamping time	3	21
11	Adhesive Expire date	2	14
12	Adhesive storage control system	2	14
Total			**574**

จากปัจจัย 6 อันดับแรกนั้นส่งผลต่อการปนเปื้อนของคราบกาวไปยังตัวชิ้นงาน หากปรับแต่งกระบวนการฉีดกาวไม่เหมาะสมและกระบวนการผิดพลาดเกิดขึ้นแล้วไม่สามารถตรวจจับได้ทันทีจึงเป็นสาเหตุเริ่มต้นทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของคราบกาว ดังตัวอย่างรูปที่ 7 และกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้ายที่ผิดพลาดด้วย จึงผนวกกันเป็นสาเหตุที่มีของเสียที่ลูกค้าภายในตรวจพบ



รูปที่ 7 แสดงการฉีดกาวและการแผ่กระจายตัวของกาวหลังการประกบชิ้นงาน

2.3 การวิเคราะห์ (Analysis Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการคัดกรองปัจจัยวิธีการ 6 ปัจจัยแรกที่ได้จากเฟสการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาผ่านการวิเคราะห์และตรวจสอบกระบวนการฉีดกาวตามปัจจัยที่มีผล ซึ่งมีความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลอย่างเป็นเหตุและผล อธิบายด้วยเทคนิค why-why analysis [1],[5]

2.3.1 กรณีที่ 1 การสัมผัสถูกเนื้อกาวจากกระบวนการฉีดกาวที่ผิดปกติ

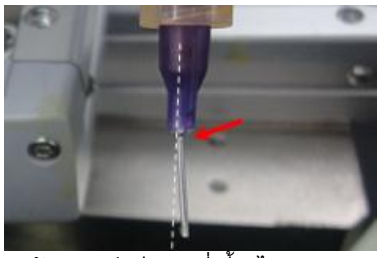
Why1 หยิบงานออกจากเครื่องโดยสัมผัสถูกเนื้อกาวที่ล้น

Why2 แนวเส้นและตำแหน่งการฉีดกาวเปลี่ยนไป

Why3 ปลายเข็มฉีดกาวเบี้ยวจากศูนย์เดิม ดังรูปที่ 8

Why4 เข็มฉีดกาวปะทะชิ้นงานอย่างรุนแรงขณะฉีดกาว

Why5 วางชิ้นงานเกยไม่แนบไปกับพื้นราบของเครื่อง



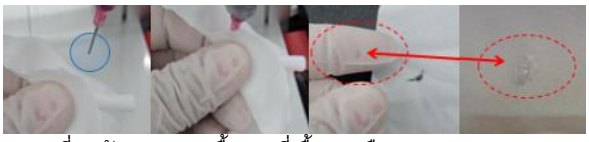
รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างเข็มฉีดกาวที่เบี้ยวไปจากตำแหน่งศูนย์เดิม

2.3.2 กรณีที่ 2 การสัมผัสถูกเนื้อกาวจากกระบวนการทำความสะอาดหัวเข็มฉีดกาว

Why1 มีเนื้อกาวติดถุงมือหลังจากทำความสะอาดหัวเข็มแล้ว ดังรูปที่ 9

Why2 ถุงมือที่สวมต้องสัมผัสกับผ้าทำความสะอาดที่มีเนื้อกาวอยู่โดยตรง

Why3 ผ้าที่ทำความสะอาดหัวเข็มฉีดกาวมีเนื้อกาวติดอยู่



รูปที่ 9 ตัวอย่างของเนื้อกาวที่เปื้อนถุงมือจากการทำสะความสะอาดหัวเข็มฉีดกาว

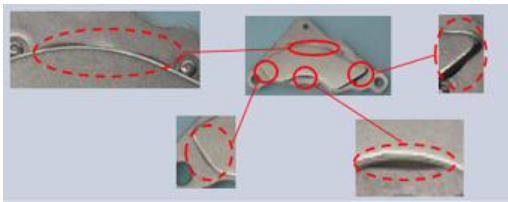
2.3.3 กรณีที่ 3 การสัมผัสถูกเนื้อกาวจากกระบวนการผลิตที่อาจจะมีปริมาณของกาวมากเกินไป ดังรูปที่ 10

Why1 หยิบงานออกจากเครื่องโดยสัมผัสถูกเนื้อกาวที่ล้นจากการประกบของชิ้นงาน

Why2 กาวไหลออกในปริมาณมากเกินไป

Why3 การตั้งระยะปลายเข็มถึงชิ้นงานแนวดิ่งและทำมุมชิดกับชิ้นงานมากเกินไป เข็มถูกกดลงและปลายเข็มเปิดมุมเพิ่ม

Why4 ปลายเข็มมีมุมเปิดมากขึ้นกาวจึงไหลเพิ่มขึ้น



รูปที่ 10 ตัวอย่างการฉีดกาวในปริมาณมากเกินไป

สรุปได้ว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเกิดคราบกาวปนเปื้อนคือ 1) มีสาเหตุจากการปฏิบัติงานในขั้นตอนของการฉีดกาวที่ผิดปกติ 2) การทำความสะอาดหัวเข็มฉีดกาวด้วยวิธีที่ไม่เหมาะสม 3) การตั้งค่าของการฉีดกาวที่ทำให้ปริมาณของกาวไหลออกมามากเกินไป ปัจจัยดังกล่าวจึงเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาของคราบกาวปนเปื้อนไปยังชิ้นงานได้ โดยมีถุงมือที่สวมหรือมือผู้ปฏิบัติงานเป็นเสมือนพาหะที่ช่วยส่งต่อให้เนื้อกาวเคลื่อนที่ต่อไปในกระบวนการ ซึ่งเกิดจากสาเหตุในขณะปฏิบัติงานและการตั้งค่า ที่เป็นเหตุการณ์ที่มาจากทั้ง 3 กรณีที่ผนวกเข้าด้วยกัน เนื่องจากกระบวนการเกิดความผิดปกติและไม่สามารถตรวจจับความผิดปกติได้ทันที จึงเป็นสาเหตุของการปนเปื้อนของคราบกาวไปยังชิ้นงาน และในการตรวจสอบขั้นสุดท้ายทำการตรวจผิดพลาด จึงมีของเสียดังกล่าวหลุดรอดไปยังลูกค้าภายใน (OQA) และเกิดข้อร้องเรียนให้มีการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้ปัญหาดังกล่าวหมดไป

2.4 การปรับปรุง (Improvement Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำปัจจัยมีผลที่ได้จากการวิเคราะห์และทำการออกแบบวิธีการแก้ไข

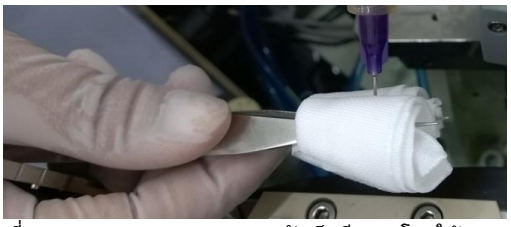
2.4.1 OJT ให้กับพนักงานทุกคนที่เกี่ยวข้องที่แผนกกระบวนการฉีดประสาน และแผนกของพนักงานตรวจสอบขั้นสุดท้าย (VMI)

ผลที่ได้คือสัดส่วนของเสียจากการปนเปื้อนคราบลดลง จากแผนกการตรวจสอบขั้นสุดท้าย (VMI) และการทดสอบ GR&R อีกครั้งกับพนักงานสามคนชุดเดิมมีผลที่พัฒนาขึ้นโดยมีค่าดัชนีทุกค่าวัดประเมินเท่ากับ 95%

2.4.2 สร้างเกจสำหรับการวัดเพื่อตรวจสอบแนวเส้นและตำแหน่งของกาวให้ได้เกณฑ์มาตรฐาน โดยมีรอบเวลาที่เหมาะสมในตรวจสอบที่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นวิธีการที่เพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีเพียงการตรวจสอบปริมาณของกาวเท่านั้น และยังสามารถตอบสนองในแง่ของความเร็วการตรวจสอบความถูกต้องในกระบวนการได้ทันที หากพบความผิดปกติ ดังรูปที่ 11

รูปที่ 11 เกจสำหรับการตรวจสอบแนวเส้นและตำแหน่งของกาวที่เหมาะสม

2.4.3 การทำความสะอาดหัวเข็มฉีดกาวโดยใช้อุปกรณ์หนีบจับผ้าและเช็ดทำความสะอาดไปที่หัวเข็ม เพื่อหลีกเลี่ยงเนื้อกาวที่จะติดมากับถุงมือ ดังรูปที่ 12



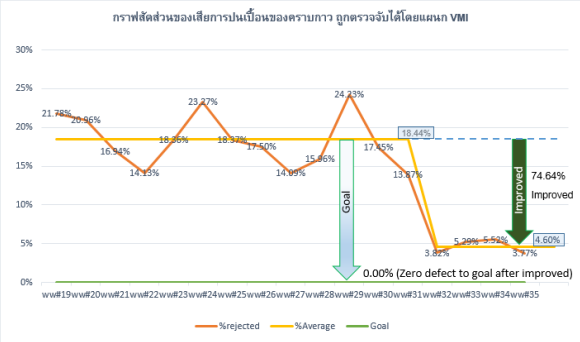
รูปที่ 12 แสดงการทำความสะอาดหัวเข็มฉีดกาวโดยใช้อุปกรณ์หนีบจับผ้า

2.5 การควบคุม (Control Phase)

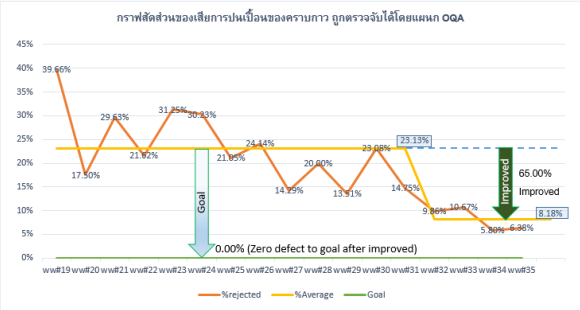
เมื่อได้วิธีการสำหรับตรวจจับความผิดปกติของกระบวนการฉีดกาวและวิธีการทำความสะอาดที่เหมาะสมแล้ว ได้มีการกำหนดแผนการควบคุมปัจจัยต่างๆ โดยจัดทำเป็นเกณฑ์การพิจารณามาตรฐานของแนวเส้นและตำแหน่งของกาว สำหรับการปรับแต่งตั้งค่าการฉีดกาวหรือการเปลี่ยนเข็มฉีดกาว และลงบันทึกในใบตรวจสอบ (Check Sheet) [4] สำหรับการติดตามกระบวนการอย่างเหมาะสม โดยหลังจากการนำการปรับปรุงไปใช้ในการกระบวนการแล้ว ในสัปดาห์การทำงานที่ 32, 33, 34 และ 35 มีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่ปนเปื้อนคราบกาวลดลงทั้ง 2 แผนก โดยที่แผนกตรวจสอบขั้นตอนสุดท้ายของพนักงาน (VMI) ลดลงเหลือ 4.60% และแผนกของเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ

(OQA) ลดลงเหลือ 8.18% ดังรูปที่ 13 และ 14 ตามลำดับ

ตามการดำเนินงานโดย DMAIC [3] ได้มีการพัฒนาที่ดีขึ้น แต่ยังไม่บรรลุวัตถุเป้าหมายที่ตั้งไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เตรียมแผนการทดลอง DOE เพื่อเสนอต่อผู้บริหารต่อไป เพื่อการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 13 กราฟแสดงสัดส่วนของเสีย การปนเปื้อนของคราบกาว ของแผนก VMI



รูปที่ 14 กราฟแสดงสัดส่วนของเสีย การปนเปื้อนของคราบกาว ของแผนก OQA

3. สรุป

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการแก้ปัญหากระบวนการผลิตในโรงงานผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ มีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อลดของเสียและขจัดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดกาวประสานระหว่าง Plate และ Magnet โดยวิธีการควบคุมเส้นแนวและตำแหน่งของกาวที่ฉีดลงไปให้มีความถูกต้อง จากการดำเนินงานวิจัย ผลการศึกษาปัญหาพบว่ากระบวนการฉีดกาวลงไปที่ Plate มีความคาดเคลื่อนไปจากเส้นแนวและตำแหน่งของกาว ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพโดยทำการสร้างต้นแบบมาตรฐานเส้นแนวและตำแหน่งของกาวให้มีความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนั้นผู้วิจัยได้เสนอระบบการตรวจสอบความถูกต้องตามรอบเวลาอย่างสม่ำเสมอ จากการปรับปรุงพบว่า การตรวจสอบขั้นตอนสุดท้ายของพนักงาน (VMI) สามารถลดสัดส่วนของเสียจาก 18.44% ลดลงเหลือ 4.60% และแผนกของเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ (OQA) สามารถลดสัดส่วนของเสียจาก 23.13% ลดลงเหลือ 8.18%

เอกสารอ้างอิง

[1] รัตติยา รายณะสุข และชุมพล ยวงใย, การปรับปรุงกระบวนการผลิตโรงงานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2555, 2555.

[2] ปิยะนันท์ สยนานนท์ และปารเมศ ชุติมา, การลดสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรในโรงงานผลิตแผงวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2557, 2557.

[3] ณัฐวิทย์ เพชรานนท์ และ ศุภรัชชัย วรรัตน์, การลดลักษณะบกพร่องในกระบวนการประกอบแผงวงจรไฟฟ้า, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2556, 2556.

[4] ฐาปนันดร์ เขียวสังข์ และศุภรัชชัย วรรัตน์, การลดของเสียในกระบวนการผลิตการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติก, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2555, 2555.

[5] อฐิลักษณ์ เตียวติ และคณะ, การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้หลักควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง :กรณีศึกษาการผลิตขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบสุญญากาศ, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2557, 2557.

[6] มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์ และแสงสาร อัศวทรัพย์ไพศาล, การควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อความชื้นในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2557, 2557.

การลดของเสียในการประกอบลำโพงขนาดเล็ก

Waste reduction process of Small Loudspeaker Assembly

อนุวัตร ศรีศรยุทธ*, พีรเดช สุวิทยารักษ์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และ สถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ. นครราชสีมา 30000
E-mail: anuwat_04@yahoo.com; peeradaech.su@rmuti.ac.th

Anuwat Srisorayut*, Peeradaech Suwittayaruk
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakornrajasima, 30000,
E-mail: anuwat_04@yahoo.com; peeradaech.su@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ศึกษากระบวนการผลิตในการประกอบลำโพงขนาดเล็กของบริษัทหนึ่ง โดยมุ่งเน้นปัญหาที่กระทบต่อการดำเนินธุรกิจ ปัญหาที่เลือกมาแก้ไขเป็นปัญหาที่กระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยดำเนินการผ่าน 4 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนการกำหนดปัญหา ขั้นตอนการวิเคราะห์ ขั้นตอนการปรับปรุง และขั้นตอนการควบคุม หลังจากการศึกษากระบวนการผลิตพบว่าของเสียจากการประกอบลำโพงขนาดเล็กมีค่าเท่ากับ 8.99 เปอร์เซ็นต์ จุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้เพื่อลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตให้น้อยกว่า 5.5 เปอร์เซ็นต์ เครื่องมือคุณภาพต่าง ๆ เช่น แผนภูมิพาเรโต ผังกางปลา และการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ เป็นเครื่องมือหลักที่ใช้ในการทำวิจัย โดยหลังจากที่ดำเนินการถึงขั้นตอนการปรับปรุงสามารถบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือของเสียลดลงน้อยกว่า 5.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนขั้นตอนการควบคุมได้เสนอแนวทางเพื่อให้ปฏิบัติต่อไป

คำหลัก ของเสีย, การประกอบลำโพงขนาดเล็ก, หูฟัง

Abstract

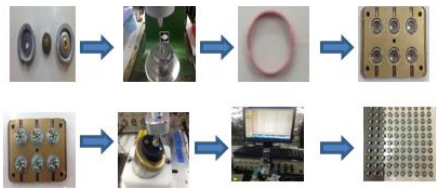
This research project was to study the process of Small Loudspeaker Assembly of a company emphasizing on business problems. The problem of critical to quality was selected to be solved by using four steps: defining phase, analyzing phase, improving phase, and controlling phase. After the manufacturing process was studied, we found that the defect of Small Loudspeaker Assembly was equal to 8.99 percent. The main objective of this research was to reduce the defect at least 5.5 percent. Quality tools such as pareto diagram, fishbone diagram, and Failure Mode Effects Analysis were used as tools to conduct this research. After the step of improving, the result of the defect met the aim, 5.5 percent. The guide of performance was introduced for the step of controlling.

Keywords: Defect, Small Loudspeaker Assembly, Head phone

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

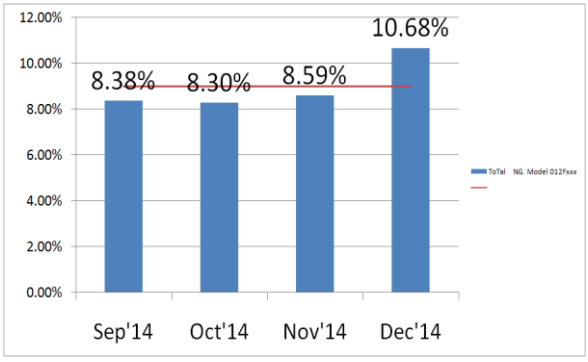
ในปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่ผลิตเพื่อการส่งออก ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ มีการขยายตัวทางการตลาดอย่างรวดเร็ว และมีการแข่งขันภายในอุตสาหกรรมค่อนข้างสูงทั้งภายในประเทศและนอกประเทศ สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตการประกอบลำโพงขนาดเล็กดังแสดงในรูปภาพที่1



รูปที่ 1 ภาพกระบวนการประกอบลำโพงขนาดเล็ก

การในดำเนินการวิจัยคณะผู้วิจัยได้ใช้ขั้นตอนบางส่วนของการดำเนินโครงการวิจัยตามแนวทางของซิกซ์ซิกม่า เนื่องจากได้ศึกษางานวิจัยที่ได้ดำเนินโครงการในอดีต พบว่าเป็นแนวทางที่ใช้ได้ผลในการการลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ยกตัวอย่างเช่น การศึกษารูปแบบการลดต้นทุนโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดอ่อนโดยเปรียบเทียบราคาของเมททัลไลซ์พอลิเอสเตอร์และฟอยล์อลูมิเนียม พบว่าสามารถลดต้นทุนได้ต่ำกว่า 41% [1] การลดความสูญเสียจากการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนย่อยของกล่องเก็บของด้านหน้าของคอนโซลรถยนต์ สามารถลดปริมาณ Scrap purge จาก 7.8 กิโลกรัมต่อครั้ง เหลือ 4.24 กิโลกรัมต่อครั้ง คิดเป็นร้อยละ 45.64 และลดปริมาณการใช้ Purging Compound จาก 4.0 กิโลกรัมต่อครั้ง เหลือ 2.28 กิโลกรัมต่อครั้ง คิดเป็นร้อยละ 43.00 [2] การลดปัญหาสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการลอกลายเส้นลายวงจร ผลหลังการปรับปรุงพบว่าค่าเฉลี่ยของเสียลดลงจาก 47.52% เหลือเพียง 1.38% โดยการพยากรณ์ปริมาณการผลิตคาดว่ามูลค่าความสูญเสียจะลดลงได้ถึง 3,435,984 บาทต่อปี [3] การปรับปรุงและลดปริมาณของเสียจากกระบวนการบัดกรีของการประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบัดกรีได้มากกว่าร้อยละ 90 ของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดโดยปริมาณของเสียลดลงจากร้อยละ 4.81เหลือเพียงร้อยละ0.27 [4] การลดข้อบกพร่องจากการประสานกาวล้นขอบ สามารถลดสัดส่วนของเสียจาก 4.95% เหลือ 0.51% ส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ถึงประมาณ 6 ล้านบาทต่อปี [5]

หลังจากผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงนำแนวทางการแก้ไขปัญหามาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาสำคัญที่เกิดกับบริษัทตัวอย่าง จากการเก็บข้อมูลของเสียตั้งแต่เดือนกันยายน ถึง เดือนธันวาคม 2557 ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยของของเสียอยู่ที่ 8.99 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2 แผนภูมิปัญหาของเสียในกระบวนการประกอบตั้งแต่เดือนกันยายน ถึง ธันวาคม 2557

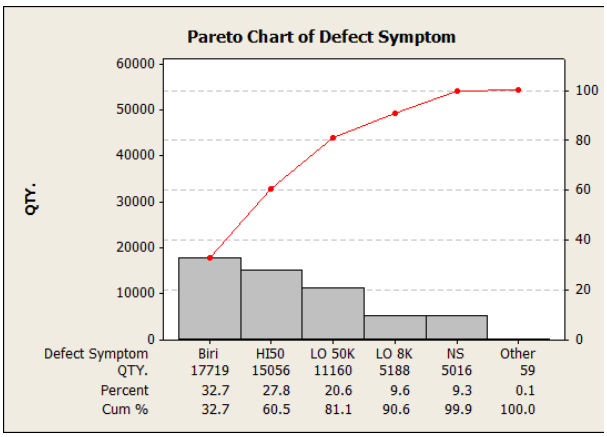
วัตถุประสงค์ของการดำเนินงานวิจัยนี้เพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการประกอบลำโพงขนาดเล็กและเพื่อลดต้นทุนการผลิตในกระบวนการประกอบลำโพงขนาดเล็ก โดยมีเป้าหมายในการวิจัยคือ ลดของเสียกระบวนการประกอบลำโพงขนาดเล็กในสายประกอบของบริษัทตัวอย่างจากเดิม 8.99 % ให้ลดลง 5.5 % ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้คือปริมาณของเสียในกระบวนการประกอบลำโพงขนาดเล็กลดลง และค่าใช้จ่ายการผลิตในกระบวนการประกอบลำโพงขนาดเล็กลดลง

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

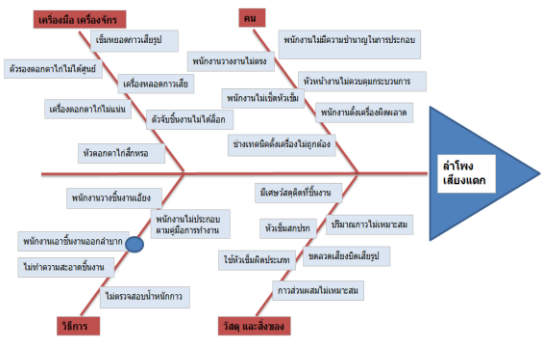
ขั้นตอนการดำเนินวิจัยได้ดำเนินงานตาม 4 ขั้นตอนดังนี้

2.1 การกำหนดปัญหา

ในขั้นตอนเบื้องต้นผู้วิจัยได้รวบรวมทีมงานประกอบด้วยวิศวกรการผลิต หัวหน้างาน ช่างเทคนิค วิศวกรคุณภาพ พนักงานฝ่ายผลิต และผู้จัดการฝ่าย เพื่อช่วยระดมสมองและแสดงความคิดเห็นตลอดทั้งเสนอแนะรวมถึงการศึกษาแนวทางการลดของเสียจากงานวิจัยที่เคยทำมาในอดีตตามเอกสารอ้างอิงทั้ง 6 เรื่อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดปัญหาที่สำคัญในการทำโครงการวิจัย จากการศึกษาปัญหาที่เกิดจากการประกอบลำโพงขนาดเล็กของโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่เดือนกันยายน ถึง ธันวาคม 2557 ดังแสดงในรูปที่ 3 (ปริมาณของเสียแยกตามชนิดข้อบกพร่อง) พบว่าปัญหาลำโพงเสียงแตกเป็นปัญหาแรกที่ทางทีมงานเลือก เพื่อนำมากำหนดเป็นหัวข้อของปัญหาในการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3 แผนภูมิพาเรโตแสดงปริมาณของเสียแยกตามชนิดของข้อบกพร่อง



รูปที่ 4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพสาเหตุและผลโดยใช้หลักการของ 4M

2.2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ผู้วิจัยจากได้ระดมสมองกับทีมงานเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่มีผลก่อให้เกิดปัญหาลำโพงเสียงแตก โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 4

ลำดับ	ปัญหา	หลักเกณฑ์ในการประเมินความเสี่ยง			ค่าความเสี่ยงชี้นำ (RPN)	%
		ความรุนแรง (Severity)	โอกาสที่จะเกิดขึ้น (Occurrence)	ความเป็นไปได้ที่จะตรวจพบ (Detect)		
		10-Jan	10-Jan	10-Jan	1-1500	
1	พนักงานเอาชิ้นงานออกลำบาก	6	8	7	336	22.51%
2	ตัวยึดจับชิ้นงานไม่ได้ศูนย์	8	7	5	280	18.75%
3	เครื่องตอกตาไก่ไม่ตรง	7	6	4	168	11.25%
4	พนักงานเววางชิ้นงานไม่ดี	5	5	4	100	6.70%
5	ช่างเทคนิคตั้งเครื่องไม่ถูกต้อง	8	4	3	96	6.43%
6	พนักงานไม่มีความชำนาญในการประกอบ	7	4	3	84	5.63%
7	มีเศษวัสดุติดที่ชิ้นงาน	6	6	2	72	4.82%
8	ขกลวดบิดทำให้เสียรูป	8	4	2	64	4.29%
9	ชิ้นส่วนไม่ได้ขนาด	5	5	3	45	3.01%
10	เครื่องหยอดกาวเสีย	5	4	2	40	2.68%
11	เข็มหยอดกาวเสียรูป	6	3	2	36	2.41%
12	ปริมาณกาวไม่เหมาะสม	5	2	3	30	2.01%
13	กาวผสมไม่เหมาะสม	5	3	2	30	2.01%
14	พนักงานไม่ปฏิบัติตามกฎ	5	3	2	30	2.01%
15	หัวตอกสึกหรอ	7	2	2	28	1.88%
16	พนักงานไม่เช็ดหัวเข็ม	4	2	2	16	1.07%
17	หัวเข็มสกปรก	7	1	2	14	0.94%
18	ใช้หัวเข็มผิดประเภท	8	1	1	8	0.54%
19	ไม่ตรวจน้ำหนักกาว	8	1	1	8	0.54%
20	หัวหน้างานไม่ควบคุมกระบวนการ	2	2	2	8	0.54%
Total						100%

รูปที่ 5 วิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ

จากรูปที่ 4 ปัญหาที่อาจจะทำลำโพงเสียงแตก มีหลายสาเหตุด้วยกัน แต่ทางทีมงานเลือกเฉพาะ 6 สาเหตุที่สำคัญได้แก่ 1) ตัวยึดจับชิ้นงานไม่ได้ศูนย์ 2) ชิ้นงานไม่ได้ขนาด 3) พนักงานเอาชิ้นงานออกลำบาก 4) พนักงานวางชิ้นงานไม่ดี 5) เครื่องตอกตาไก่ไม่ตรง และ 6) ช่างเทคนิคตั้งเครื่องไม่ถูกต้อง มาทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยสาเหตุของปัญหาที่มีค่าความเสี่ยงชี้นำ (Risk Priority Number : RPN) สูงที่สุดได้แก่ พนักงานเอาชิ้นงานออกลำบาก ทางทีมงานวิจัยจึงในนำประเด็นนี้เข้าสู่ขั้นตอนการปรับปรุงต่อไป

2.3 การปรับปรุง

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพสาเหตุและผล รวมถึงการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ สาเหตุแรกที่ทำให้ลำโพงเสียงแตก ส่วนหนึ่งเกิดจากการนำชิ้นงานออกจากตัวจับชิ้นงานไม่ตรงกับทิศทางที่ถูกต้อง เนื่องจากเกิดความลำบากในการนำชิ้นงานออก ทีมงานจึงได้ทำการปรับปรุงตัวยึดจับชิ้นงานให้มีความสะดวกขึ้นและไม่ทำให้ชิ้นงานที่ผ่านการติดตั้งตัวยึดแล้วเกิดการเสียรูป รูปที่ 6 แสดงตัวยึดจับก่อนและหลังการปรับปรุง

ก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง

รูปที่ 6 ภาพตัวจับชิ้นงานก่อนและหลังการปรับปรุง

2.4 การควบคุม

หลังจากที่ได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขในเบื้องต้นแล้ว ทางทีมผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการควบคุมและติดตามเพื่อที่จะไม่ให้เกิดปัญหาในข้อบกพร่องที่ทำการแก้ไขดังนี้

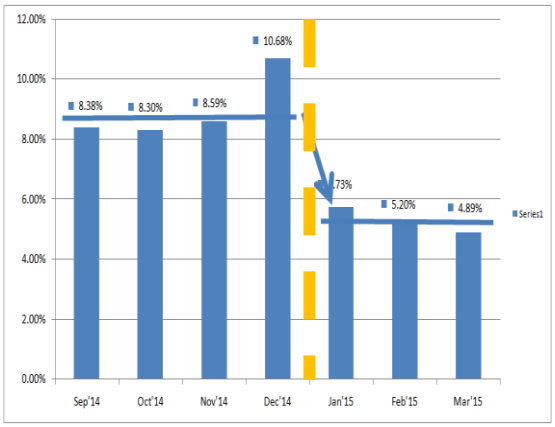
2.4.1 กำหนดมาตรฐานในการทำงานในขั้นตอนที่ทำการประกอบชิ้นงาน

2.4.2 กำหนดให้เจ้าหน้าที่ดูแลสายการผลิตมีการนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการประกอบไปทำการวัดชิ้นงานในระหว่างวัน 2 เวลา ก่อนเริ่มงานและหลังพักกลางวัน

2.4.3 กำหนดให้ช่างเทคนิคที่รับผิดชอบเครื่องจักรมีการซ่อมบำรุงตามรอบระยะเวลาการบำรุงรักษา

3. สรุปผลโครงการ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ เพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการประกอบลำโพงขนาดเล็ก และเพื่อลดต้นทุนการผลิตในกระบวนการประกอบลำโพงขนาดเล็ก หลังจากดำเนินการผ่านขั้นตอน 3 ขั้นตอนได้แก่ 1) การกำหนดปัญหา 2) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 3) การปรับปรุง โดยทำทำการออกแบบตัวรองจับชิ้นงานใหม่ ดังแสดงในรูปที่6 เพื่อให้พนักงานนำงานออกได้สะดวก ส่งผลให้ของเสียที่เกิดจากการประกอบลำโพงขนาดเล็กลดลง โดยปริมาณของเสียในเดือนมกราคม 2558 สามารถลดของเสียได้ 5.73% ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์เป็นต้นไป สามารถลดของเสียได้ต่ำกว่าเป้าที่ตั้ง 5.5% ดังแสดงในรูปที่ 7 อีกทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายของบริษัทลงได้ 240,699 บาทต่อเดือน ในขั้นตอนการควบคุมทางคณะผู้ทำการวิจัยได้เสนอแนวทางในการควบคุมดังแสดงในข้อ 2.4 ทั้งนี้ส่วนปริมาณของเสียที่ยังคงมีปริมาณที่สูงอยู่นั้น ทางผู้ดำเนินงานวิจัยจะหาสาเหตุเพื่อดำเนินการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในอนาคต



รูปที่ 7 ภาพกราฟแสดงก่อนและหลังการปรับปรุงแก้ไข

เอกสารอ้างอิง

[1] วสวัตติ□ บุญปรีชา. การลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต ของอุตสาหกรรมพลาสติก โดยวิธีลีนซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, แผนกวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553

[2] นิศากร ทันขวา. การลดความสูญเสียในกระบวนการฉีดพลาสติกตามหลัก ซิกซ์ ซิกมา. บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา, 2554

[3] ปิยะนันท์ สยนานนท์ และ ปารเมศ ชุติมา. การลดสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรในโรงงานผลิตแผงวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน. วิทยานิพนธ์

ปริญญามหาบัณฑิต,แผนกวิศวกรรมอุตสาหการ. คณะวิศวกรรมศาสตร์.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557

[4] อาคม มาป้อง และตรีทศ เหล่าศิริหงส์ทอง. การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกม่าสาหรับปรับปรุงกระบวนการผลิตแผงวงจรอิเล็คทรอนิกส์. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2557

[5] ปกรณ์ อุ่นจันทร์ การลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องในกระบวนการเคลือบแบบหลายแผ่นด้วยวิธีการซิกซ์ซิกม่าบัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2555

[6] ปุณยิศา คืนดี. การลดของเสียในกระบวนการผลิตรองเท้า แผนกฉีดเอทิลีนไวนิลอะซิเตท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, 2557

การประยุกต์ใช้กิจกรรมกลุ่มคุณภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

The application of Quality Control Circle to improve production efficiency

นุจิรา กองทรัพย์* และ ภัทราพล กองทรัพย์
สาขาวิชาเครื่องกลและอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร อ.เมือง จ.สกลนคร 47000 E-mail: nujira.k@gmail.com*

Nujira Kongsap* and Pattrapon Kongsap
Mechanical and Industrial Program, Faculty of Industrial Technology
Sakon Nakhon Rajabhat University, Muang, Sakon Nakhon, 47000, E-mail: nujira.k@gmail.com*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยประยุกต์ใช้กิจกรรมกลุ่มคุณภาพของกรณีศึกษา โดยทำการศึกษาข้อมูลทั่วไปของกรณีศึกษา ศึกษากระบวนการทำงานในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต CCL (Crepe cup lump) เพื่อลดปัญหาการหยุดสายการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้ดีขึ้น ด้วยการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการป้องกันยางติดการ์ดครอบลูกกลิ้ง CP-01 ที่เกิดในกระบวนการนี้ การศึกษาพบว่าสามารถลดการหยุดสายการผลิตจากเดิม 160 นาที เหลือ 0 นาที และได้ผลผลิตจากเดิม 8.15 ตัน/ชม. เป็น 9.15 ตัน/ชม. เพิ่มขึ้น 1 ตัน/ชม. คิดเป็น 12.27 เปอร์เซ็นต์ หลังจากประยุกต์ใช้กิจกรรมกลุ่มคุณภาพ (Quality Control Circle: QCC)

Abstract

The purpose of this research Increase productivity by applying Quality Control Circle of case studies to learn of the case study. The process works at each stage of the production process CCL (Crepe cup lump) to reduce stoppages and maximize productivity for the better. The design helps to prevent rubber roller cover CP-01 card which occur in this process. The study found that can reduce stoppages from 160 minutes to 0 minutes, and Yields from 8.15 tons / hour was 9.15 tons / hour, up to 1 ton / hour, equivalent to 12.27 percent after the application of Quality Control Circle

Keywords: กิจกรรมกลุ่มคุณภาพ, การแปรรูปยางพารา, ประสิทธิภาพ

1. บทนำ

ในปัจจุบันตลาดอุตสาหกรรมการผลิตยางมีการแข่งขันกันอย่างรุนแรงมากขึ้น ทำให้สถานประกอบการแต่ละแห่งต้องมีการปรับตัวและพัฒนารูปแบบการผลิตทั้งด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อให้ธุรกิจสามารถแข่งขันกับผู้ผลิตรายอื่นและอยู่รอดได้ ดังนั้นแนวทางที่สถานประกอบการต้องนำมาใช้เพื่อพัฒนารูปแบบธุรกิจให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งการค้ารายอื่นๆ คือ การทำให้สินค้าเป็นที่รู้จักและยอมรับจากผู้ซื้อ โดยอาศัยการสร้างความพึงพอใจสูงสุดแก่ลูกค้าและตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยการผลิตสินค้าที่ได้มาตรฐานตรงตามความต้องการของลูกค้า ผลิตชิ้นงานตามความต้องการและส่งมอบสินค้าได้ในเวลาที่ลูกค้าต้องการ (JIT)

บริษัท รับเบอร์แลนด์ โปรดักส์ จำกัด สาขาบึงกาฬ เป็นหนึ่งในผู้ประกอบการอุตสาหกรรมยาง โดยมีสินค้าหลักที่ทำการผลิต คือ ยางแท่ง STR 10 ยางแท่ง STR 20 และยางผสม ซึ่งเป็นส่วนประกอบในการผลิตยางรถต่อไป และเมื่อเกิดการแข่งขันในตลาดอุตสาหกรรมการผลิตยางด้านคุณภาพ และราคาที่สูงขึ้น ทำให้บริษัทได้รับ

ผลกระทบและส่งผลให้บริษัทต้องมีการปรับรูปแบบธุรกิจเพื่อเตรียมความพร้อมในการก้าวเข้าสู่สภาพการแข่งขันที่รุนแรงเพื่อให้องค์กรอยู่รอดและดำเนินธุรกิจต่อไปได้ ซึ่งปัจจุบันปัญหาที่ทางบริษัทประสบ คือ ปัญหายางติดการ์ด (Hopper) CP-01 โดยลูกกลิ้งรีดยาง (Creeper) CP-01 นับว่าเป็นเครื่องจักรที่สำคัญของกระบวนการผลิต ส่งผลให้สายการผลิตต้องหยุดทันที ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียจากการหยุดสายการผลิต ทั้งการเสียเวลาในการทำการแก้ไข ความปลอดภัยของพนักงานในการแก้ไข ร่วมทั้งส่งผลต่ออัตราการผลิตของบริษัท ดังนั้นทั้งผู้ประกอบการจึงมีความต้องการที่จะลดเวลาในการหยุดสายการผลิต

การศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการด้วยกิจกรรมกลุ่มคุณภาพ [2,6,11] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อการแก้ปัญหา (Problem Solving Research) โดยทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงยางติดการ์ด (Hopper) CP-01 โดยการศึกษาหาสาเหตุ และนำมาหาแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงเพื่อเวลาในการหยุดสายการผลิตของกระบวนการนี้ และเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตในกระบวนการนี้ ตลอดจนเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับผู้ผลิตรายอื่น และอยู่รอดในตลาดอุตสาหกรรมยางได้อย่างยั่งยืน

2. วิธีการดำเนินงาน

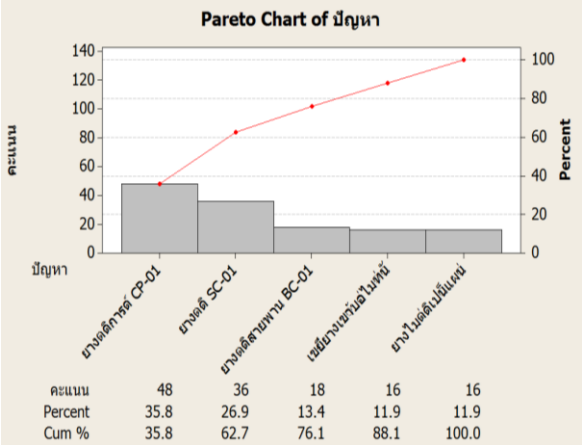
การศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการ ด้วยกิจกรรมกลุ่มคุณภาพ (Quality Control Circle: QCC) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ผู้ศึกษาได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล และทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งเป็นสายกระบวนการผลิต CCL ผลิตยางแผ่น BK เพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตยางแท่ง ผู้ศึกษาได้เลือกดำเนินการตามขั้นตอนของกิจกรรมกลุ่มคุณภาพ (QCC) ที่สำคัญดังนี้

2.1 คัดเลือกหัวข้อ โดยใช้การระดมความคิดเห็นจากพนักงานทุกระดับในการ list ปัญหาจากการทำงานของกระบวนการผลิต CCL ลงใน check Sheet

จากข้อมูลปัญหาที่ระดมความคิดเห็น นำมาจัดลำดับความสำคัญของปัญหาด้วยการให้ค่าคะแนนตามความรุนแรง ความถี่และความเป็นไปได้ ซึ่งได้หัวข้อปัญหาดังนี้

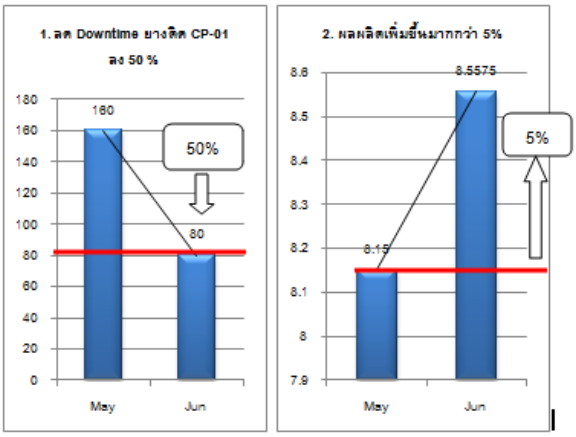
ตารางที่ 1 ตารางการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

ลำดับ	ปัญหา	ความรุนแรง				ความถี่				ความเป็นไปได้				รวม
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	คะแนน
1	ยางติดการ์ด CP-01				✓			✓					✓	48
2	ยางติด SC-01			✓				✓					✓	36
3	ยางติดสายพาน BC-01			✓				✓				✓		18
4	เขี่ยยางเข้าบ่อไม่ทัน				✓		✓					✓		16
5	ยางไม่ติดเป็นแผ่น				✓		✓					✓		16



รูปที่ 1 กราฟพาเรโตแสดงปัญหาและจำนวนคะแนนจากการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

2.2 ทำความเข้าใจสถานการณ์ปัญหา และตั้งเป้าหมาย โดยให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์คุณภาพขององค์กรเรื่อง Production = 100% on target และ Downtime $\leq$ 3%



รูปที่ 2 แสดงเป้าหมายในการแก้ไขปัญหา

2.3 วางแผนกิจกรรม

การศึกษาในครั้งนี้ มีการกำหนดตารางการดำเนินงานดังตารางที่ 2 โดยเริ่มดำเนินการเดือนพฤษภาคม ถึงวันที่ 16 กรกฎาคม 2557

ตารางที่ 2 ตารางวางแผนกิจกรรม

รายการ			2557		
			พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1	วางแผนกิจกรรม	P			
		A			
2	ค้นหาปัญหา	P			
		A			
3	สำรวจสภาพปัจจุบัน	P			
		A			
4	กำหนดเป้าหมาย	P			
		A			
5	วิเคราะห์สาเหตุ	P			
		A			
6	กำหนดวิธีการแก้ไข	P			
		A			
5	ดำเนินการแก้ไข	P			
		A			
7	สำรวจสภาพภายหลังแก้ไข	P			
		A			

2.4 วิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา นำปัญหาที่ต้องการแก้ไขมาวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนผังก้างปลา โดยการระดมความเห็นในการจัดทำแผนผังก้างปลา

จากการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาซึ่งพบว่าปัญหาจากยางติดการ์ด CP-01 มีค่าคะแนนสูงที่สุดจึงได้เลือกปัญหานี้ มาทำการวิเคราะห์ผ่านผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram) โดยกำหนดให้หัวปลาเป็นปัญหาที่พบจากยางติด Hopper CP-01 และพบสาเหตุหลักๆ

ตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล

วิเคราะห์สาเหตุด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล	
สาเหตุหลัก	ปัญหา
คน	- ขาดการติดตามตลอดเวลา
	- ทักษะการควบคุมเครื่องของพนักงาน ใหม่
	- ความเมื่อยล้า
เครื่องจักร	- ความกว้างลูก feeder ไม่เหมาะสม
	- รูปแบบ Hopper ไม่เหมาะสม กว้างเกินไป
	- ไม่มีรอบเวลาการลับลูก Feed
วัสดุ	- ยางแข็ง
	- ยางร่วนขนาดเล็กลูก Feed ดึงไม่ขึ้น
	- ยางเหนี่ยวติดเป็นก้อนกระจุก Hopper
	- ยาง Rework เมื่อนำเข้าไลน์จะรวมตัวในบ่อเป็นก้อนใหญ่
วิธีการ	- ไม่มีมาตรฐานการหยอดยางลง CP
	- ไม่มีการแกะยางออกก่อนสะสมเป็นก่อนใหญ่
	- ยังขาดมาตรฐานการทำงาน

2.5 พิจารณา และสำรวจสภาพปัจจุบัน เก็บข้อมูล

หลังจากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ทำให้ยางติด Hopper CP-01 ทั้งหมดจาก 4M ได้ข้อสรุปสาเหตุหลักๆ ดังนี้ 1. มีช่องว่างที่เกิดขึ้นของ Hopper CP-01 ส่งผลให้ยางเข้าไปติดได้ 2. ลูก Feeder ขาดความคมในการป้อนยาง เมื่อสามารถเลือกสาเหตุปัญหาหลักๆได้ของการเกิดยางติด Hopper CP-01 ก็ทำการเก็บข้อมูลสำรวจสภาพปัญหา ร่วมทั้งการเลือกวิธีการแก้ปัญหาที่ตรงต่อการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุด จากการระดมความคิดเห็นของพนักงานที่เกี่ยวข้อง

ทำการสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหาที่เกิดขึ้นพบว่า ยางติดสะสมเป็นก้อนต้องเสียเวลาในการงัดแงะยางที่ติดออกและอันตรายต่อพนักงานที่ปฏิบัติงาน ดังแสดงในรูปที่ 4

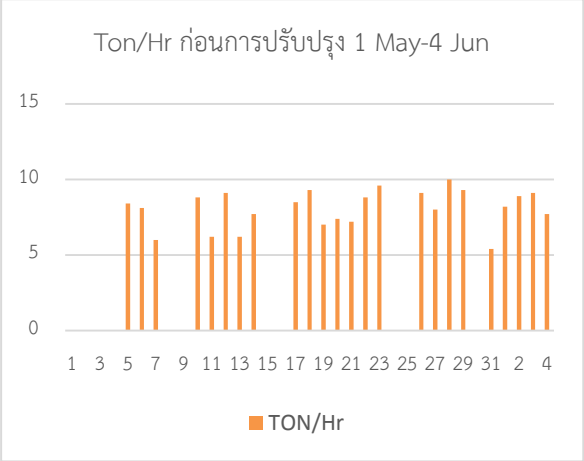
ทำการเก็บข้อมูลเวลาการหยุดสายการผลิตจากปัญหายางติด (Down Time, DT) ช่วงเดือนพฤษภาคมก่อนลงมือแก้ไข ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งจากการเก็บข้อมูลของกระบวนการผลิต CCL จำนวน 11 ครั้งตามจำนวนการหยุดจากสาเหตุยางเหนียวติด CP-01 ในเดือนพฤษภาคม พบว่ามี DT ยางติด CP-01 = 160 นาที

เก็บข้อมูลปริมาณการผลิตระหว่างวันที่ 1 พฤษภาคม ถึง 4 มิถุนายน ดังรูปที่ 5 พบว่า ปริมาณเฉลี่ยที่ผลิตได้เท่ากับ 8.5 ตัน/ชั่วโมง

รูปที่ 4 สภาพปัญหายางติดสะสมเป็นก้อนของเครื่อง Hopper CP-01 กระบวนการผลิต CCL

ตารางที่ 4 ตารางเก็บข้อมูลเวลาการหยุดสายการผลิต

Date	Week	Shift	Line	Start	Finish	DT Time (CCL)
5/5/2014	03-09 5/5/2014	A	CCL	1:40	2:00	20
13/5/2014	10-16 5/5/2014	B	CCL	5:10	5:20	10
14/5/2014	10-16 5/5/2014	B	CCL	23:30	23:40	10
17/5/2014	17-23 5/5/2014	A	CCL	22:40	22:50	10
17/5/2014	17-23 5/5/2014	A	CCL	0:00	0:10	10
17/5/2014	17-23 5/5/2014	A	CCL	5:00	5:10	10
19/5/2014	17-23 5/5/2014	A	CCL	8:35	8:45	10
20/5/2014	17-23 5/5/2014	B	CCL	20:10	20:20	10
20/5/2014	17-23 5/5/2014	A	CCL	9:50	10:20	30
22/5/2014	17-23 5/5/2014	B	CCL	19:10	19:40	30
27/5/2014	24-30 5/5/2014	A	CCL	1:20	1:30	10
				รวม		160



รูปที่ 5 ปริมาณกระบวนการผลิต CCL ตัน/ชม.ก่อนปรับปรุงช่วงวันที่ 1 พ.ค. ถึง 4 มิ.ย. 2557

2.6 วิธีการในการแก้ไขปัญหา

ได้มีการระดมความคิดเห็นหาวิธีการปรับปรุงปัญหาที่เกิดขึ้นด้วยการเสนอแนะวิธีการในการแก้ไขและทำการวิเคราะห์ถึงข้อดี ข้อเสียของวิธีการที่ได้นำเสนอ และได้ข้อสรุปถึงวิธีการที่จะนำมาแก้ไข ดังนี้

1. ปรับปรุง Hopper CP-01 ลดช่องว่างที่ทำให้ยางติด

2. ลับคมลูก Feeder เพื่อให้ป้อนยางดีขึ้น

ตารางที่ 5 ข้อดี-ข้อเสียของวิธีการแก้ไขปัญหา

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ลดปัญหายางติดลงได้	-
2. จัดทำได้ง่ายไม่ซับซ้อน	-
3. ไม่ต้องลงทุนเพิ่ม ใช้วัสดุเหลือใช้ในการจัดทำ	-

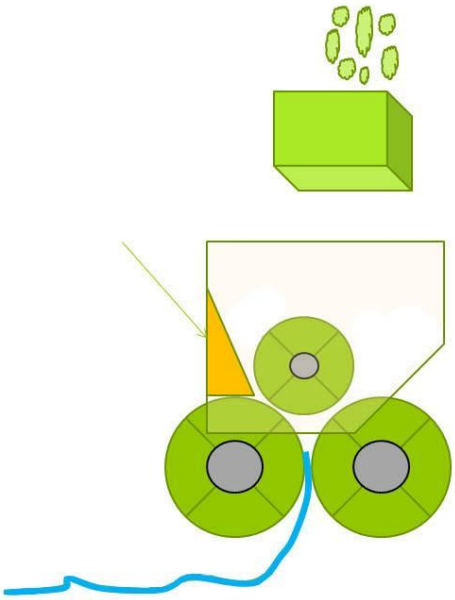
3. การแก้ไขปัญหา

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นและหาวิธีการในการแก้ปัญหาพร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อดี ข้อเสียของการแก้ไขปัญหาแล้วนั้น ผู้ศึกษาได้ทำการปรับปรุงตามวิธีการแก้ไขปัญหาที่ได้ตกลงร่วมกันของพนักงาน ดังรูปที่ 6 โดยได้ใส่การ์ดลดพื้นที่ Hopper CP-01 ป้องกันการสะสมของยางเป็นก้อน (Pokayoke) ขึ้นเพื่อป้องกันการติดของยาง

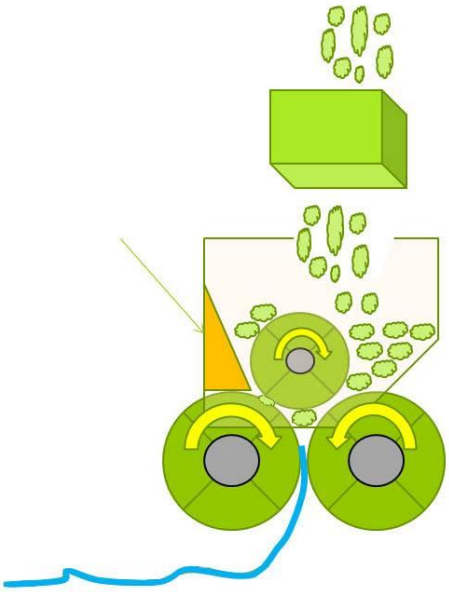
รูปที่ 6 การแก้ไขปัญหาตามวิธีการที่กำหนด

4. ผลการศึกษา

ผลการปรับปรุงหลังการดำเนินการจัดทำการ์ดใส่ใน Hopper CP-01 เพื่อพื้นที่ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 7-1 แสดงรูปจำลองการทำงานของ Hopper CP-01 ที่ได้ใส่การ์ดเข้าไปเพื่อลดพื้นที่, 7-2 แสดงรูปจำลองการทำงานของ Hopper CP-01 ที่ได้ใส่การ์ดเข้าไปเพื่อลดพื้นที่ และมีการไหลของยางผ่านลูกกลิ้ง และ 7.3 แสดงรูปการทำงานของ Hopper CP-01



รูปที่ 7-1 แสดงรูปจำลองการทำงานของ Hopper CP-01ใส่การ์ดเข้าไปเพื่อลดพื้นที่

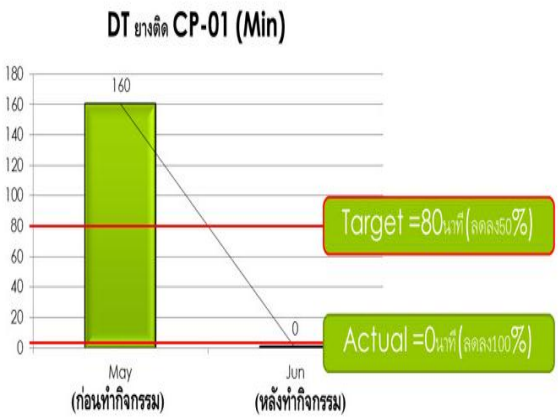


รูปที่ 7-2 แสดงรูปจำลองการทำงานของ Hopper CP-01 ที่ได้ใส่การ์ดเข้าไปเพื่อลดพื้นที่ และมีการไหลของยางผ่านลูกกลิ้ง

รูปที่ 7-3 แสดงรูปการทำงานของ Hopper CP-01 ที่ได้ใส่การ์ดเข้าไปเพื่อลดพื้นที่ และมีการไหลของยางผ่านลูกกลิ้ง

ตารางที่ 5 ผลที่ได้รับจากการแก้ไขปัญหา

ผลที่ได้รับทางตรง	ผลที่ได้รับทางอ้อม
1. พนักงานไม่ต้องเสี่ยงในการงัดยางติด	1. พนักงานเห็นประโยชน์ของกิจกรรม QCC
2. ลดปัญหาหยุดเครื่องจักรจากยางติดการ์ด CP-01 ลงจาก 160 นาที เหลือ 0 นาที	2. ลดความล้าของพนักงาน
3. ได้ผลผลิตมากขึ้น จาก 8.15 ตัน/ชม. เป็น 9.15 ตัน/ชม.	3. พนักงานตระหนักถึงคุณค่าของการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ (Re-Use)



รูปที่ 8 แสดงรูปกราฟก่อนและหลังการปรับปรุง

5. สรุป

เมื่อดำเนินการปรับปรุงแก้ไขด้วยเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการ โดยการประยุกต์ใช้กิจกรรมกิจกรรมคุณภาพ (QCC) และ Pokayoke พบว่าสามารถลดปัญหาหยุดเครื่องจักรจากยางติดการ์ด CP-01 ลงจาก 160 นาที เหลือ 0 นาที ซึ่งมากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ถึง 50% และได้ผลผลิตมากขึ้น จาก 8.15 ตัน/ชม. เป็น 9.15 ตัน/ชม.

เอกสารอ้างอิง

ให้เรียงลำดับตามที่ปรากฏในเนื้อเรื่อง และให้เคร่งครัดกับแบบฟอร์มดังแสดงในตัวอย่างข้างล่างนี้

[1] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างาน: คิวซีเซอร์เคิล, กรุงเทพฯ: ส.เอเชียเพรส จำกัด, 2550

[2] โกบาตะ โมโมโซ. 5G เพื่อการพัฒนาคุณภาพ: 5 Gen Shugi Nyuumon. แปลโดย ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542

[3] คะทซึยะ โฮโซตานิ. การแก้ปัญหาแบบ QC. แปลโดย วีรพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2539

[4] ประจวบ กล่อมจิตร, การประเมินและปรับปรุง งานในสถานประกอบการโดยหลักการยศาสตร์, โรง พิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2554

[5] ประจวบ กล่อมจิตร, การประเมินงานยกของ ด้วยมือในโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้สมการ NIOSH 1991, วารสารงานวิจัยและพัฒนา มจธ., ปีที่ 28 ฉบับที่ 3 ก.ค.-ก.ย. 2548

[6] พร้อมเลิศ หล่อวิจิตร, คู่มือเรียน Visual Basic 2010, บริษัท โปรวิชั่น จำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2554.

[7] สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร, คู่มือและการใช้งาน Visual Basic 2010, บริษัท ไอดีซี พรีเมียร์ จำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2554

การลดของเสียของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจโดยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตอุปกรณ์การแพทย์

Defect Reduction In Endo Tracheal Tube Production Process By Design Experiment Solution: A Case Study of Medical Device Company

วิมลศรี สิทธิกูล ประจวบ กล่อมจิตร*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ. นครปฐม 73000 E-mail: prachuab@su.ac.th*

Wimolsree Sitthikool, Prachuab Klomjit*
Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Muang, Nakornpathom, 73000, E-mail: prachuab@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ปัญหาคุณภาพในกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจ บริษัทผลิตอุปกรณ์การแพทย์ โดยลักษณะของเสียที่พบในกระบวนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ประเภทที่เกิดรอยซีลส่วนเกิน ซึ่งปัจจุบันมีอัตราส่วนของเสียอยู่ที่ 8,807 DPPM เทคนิคทางการวิเคราะห์โดยการออกแบบการทดลองถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการ โดยตั้งเป้าหมายเพื่อทำให้ของเสียประเภทที่เกิดรอยซีลส่วนเกิน ลดลง 50% จากการวิเคราะห์ด้วยการใช้แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) จากนั้นมาทำการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ความเสียหายและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) พบว่ามี 3 ปัจจัยหลัก ที่อาจจะมีผลกระทบต่อการเกิดปัญหา คือ ความลึกของแม่แบบ (Die depth) อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน (Temperature) แรงดันเป่าร้อน (Pressure) จากนั้นใช้เทคนิคการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ในการหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการปัญหา และใช้สมการความสัมพันธ์ในการหาระดับของปัจจัยทำให้เกิดของเสียที่น้อยที่สุด เมื่อนำค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์เหล่านี้ มาดำเนินการผลิตจริงพบว่า สามารถลดปริมาณของเสียลดลงเหลือ 2,446 DPPM

คำหลัก การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล, อุปกรณ์การแพทย์, การปรับปรุงกระบวนการ

Abstract

This research proposes a quality improvement for Endo Tracheal Tube Production process a case study of Medical Device Company. The defect is sealing excess area that current defective rate about 8,807 DPPM. The design of experiment is employed to make a significant improvement of this process. The goal of this improvement is to reduce the sealing excess area 50% .The root cause analysis is performed by utilizing the cause and effect diagram and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). There are 3 key processes input variables or factors that potentially affect to sealing excess area are; Die depth, Temperature, Pressure. Then, 5 replicate of 2^k factorial designs is conducted to determine the significant factors that generate the defect. A regression model is used to find the optimal process parameters which yield us the lowest defective rate of defect.

The confirmation experiment is done and guarantees that new process setting can significantly reduce defect to 2,446 DPPM

Keywords: Factorial Design, Medical device, Process improvement

1. คำนำ

กลุ่มผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องมือแพทย์ ถือว่าเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีสภาวะการแข่งขันทางธุรกิจที่ค่อนข้างสูงมาก แม้ว่าการแข่งขันในตลาดของอุตสาหกรรมเครื่องมือแพทย์จะมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง แต่ด้วยสภาวะปัญหาทางเศรษฐกิจในปัจจุบันนี้ สิ่งที่ทำให้อุตสาหกรรมทางการแพทย์สามารถเติบโตและแข่งขันอยู่ในตลาดได้ นอกเหนือจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์แล้ว สิ่งสำคัญที่สุดที่ส่งผลให้ผู้ผลิตสามารถดำเนินอุตสาหกรรมด้านนี้ได้อย่างมั่นคงนั้น คือ การลดต้นทุนการผลิตที่มีมากเกินไป ส่วนหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนการผลิตมากเกินไป คือ การสูญเสียจากของเสียระหว่างกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอน

จากการเก็บประวัติจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบและกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ในระหว่างการผลิตตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึงเดือนกันยายน 2555 พบว่าที่จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 2,342,700 ชิ้น พบของเสียทั้งหมด 97,652 ชิ้น หรือ 4.168 % ซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์มากเป็นอันดับหนึ่ง และมีของเสียประเภทรอยซีลส่วนเกินมากที่สุด คือ 0.881 % คือ คิดเป็น 8,807 DPPM ซึ่งจากความสำคัญของกระบวนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น การวิจัยครั้งนี้จึงเลือกทำการศึกษาในส่วนของการลดของเสียในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ โดยเลือกวิธีการควบคุมคุณภาพ วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงโดยใช้การออกแบบการทดลอง เพื่อให้เกิดการศึกษาปัญหาและแก้ไขปัญหาอย่างมีระบบ

จากการค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกันการบริหารคุณภาพด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า พบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากที่นำแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า มาใช้ในการแก้ไขปัญหา ในกระบวนการผลิต และนำมาประยุกต์ใช้ใช้ในการแก้ไขปัญหาในอุตสาหกรรมดังเช่นอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ [6] [10] อุตสาหกรรมรถยนต์ [2] [3] [5] [9] [10] และอุตสาหกรรมพลาสติก [7] [8] ซึ่งเป็นงานวิจัยมีวิธีการดำเนินงานตามวิธีการทาง ซิกซ์ ซิกม่า 5 ขั้นตอน กล่าวคือ การเริ่มต้นด้วยการระบุปัญหาที่ต้องการแก้ไข ปรับปรุง จากนั้นจึงหาสาเหตุของปัญหา จากนั้นจึงทำการ ประเมินระบบวัด เพื่อตรวจสอบว่าตัวชี้วัดปัญหา สามารถเชื่อถือได้หรือไม่ และเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงด้วยวิธีการทางสถิติ เมื่อได้ต้นเหตุของปัญหาที่แท้จริง หรือปัจจัยที่ผลต่อค่าที่ต้องการศึกษาแล้ว จึงดำเนินการปรับปรุงกระบวนการ โดยเทคนิคที่ใช้มีหลากหลาย ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของปัญหา และทักษะของผู้วิจัยเอง เมื่อทราบว่าปัจจัยมีผลต่อค่าที่ต้องการศึกษาในรูปแบบใดแล้ว สุดท้ายจึงควบคุมค่าของปัจจัยนั้น ให้อยู่ในสภาวะที่ดีต่อผลตอบสนองมากที่สุด โดยเมื่อเริ่มต้นกระบวนการอาจพบว่า สาเหตุของปัญหามีมากมาย แต่เมื่อใช้การวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิพาเรโต ร่วมกับการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการ(FMEA) จะช่วยให้คัดกรองให้เหลือแต่ปัจจัยสำคัญ จักรวรรดิ ดียิ่ง[7] พบว่าปัญหาการเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ของแขนจับหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ มีมากถึง 30 สาเหตุ แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการ (FMEA) เพื่อช่วยเพิ่มความเที่ยงตรงของกระบวนการ ทำให้เหลือปัจจัยที่มีผลต่อของเสีย ลดลง 5 ปัจจัยหลัก ซึ่งในการทำการวิจัยนั้นมีบางครั้งที่ ปริมาณของเสียที่พบ ขึ้นอยู่กับวิธีการตัดสินใจของผู้ตรวจสอบ วิศณุ บุญจันทร์ [5] ต้องการลดปัญหาลอยถลอกในผลิตภัณฑ์รถกระบะ โดยดำเนินการแก้ปัญหา เริ่มจากการศึกษากระบวนการทำงาน และวิเคราะห์ระบบวัด ซึ่งในครั้งแรกนั้นพบว่า พนักงานทั้ง 2 กะมีความสามารถในด้าน การทำซ้ำ (Repeatability) ไม่เท่ากัน โดยสาเหตุของความแตกต่างนั้นเนื่องมาจากพนักงานทั้ง 2 กะ มีความเข้าใจในการตัดสินปัญหาขนาดแบบก้ำกึ่งที่ไม่ตรงกัน เนื่องจากได้รับการฝึกฝนจากหัวหน้างานที่มีความเข้าใจต่างกัน สำหรับกรณีนี้เมื่อมีการทบทวนระบบการวัดและทำให้การตัดสินใจการทำงานของทั้ง 2 กะเหมือนกันแล้ว ส่งผลให้ความผันแปรในการวัดลดลง ซึ่งมีผลดีต่อการวิเคราะห์ผลของปัจจัยได้ชัดเจนขึ้น โดยพบว่าสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดของเสียนั้น มาจากการขาดอุปกรณ์ป้องกันในการทำงาน อีกทั้งเกิดจากผงโลหะที่สะสมตัวใน Protector และความยาวของ Power Bit ซึ่งเมื่อแก้ไขจุดบกพร่องแล้ว สามารถลดปัญหาจากเดิมได้ 60% คือ 0.25 ต่อหน่วยลดลงเหลือ 0.12 ต่อหน่วย ส่งผลต้นทุนในการผลิตที่ลดลงได้มากถึง

3,259,370 บาทต่อปี สำหรับการปรับปรุงกระบวนการที่เกิดจากหลายตัวแปรนั้น เทคนิคที่นิยมใช้คือการออกแบบการทดลอง โสภิดา ทัวมมี[8] ได้ประยุกต์ออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k เพื่อทำการคัดกรองปัจจัยเบื้องต้น ที่มีผลต่อปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น จากนั้นจึงขยายผลสู่การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบ 3^k ซึ่งสามารถทำให้ของเสียประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลาย ลดลงได้ 73.08 % เช่นเดียวกันกับ นภัสนันท์ คุ้มกัน [7] ที่ศึกษาหาระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการประกอบชุดให้น้ำเกลือ โดยใช้การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบ 2^k ของ 3 ปัจจัย คือ แรงดันของหัวเชื่อม ระยะในการเชื่อม และช่วงเวลาในการกดทับชิ้นงาน ซึ่งเมื่อได้ค่าสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 3 แล้ว นำมาประยุกต์ใช้ในการทำงาน ทำให้ค่าแรงดึงของชุดให้น้ำเกลือ มีค่าสูงกว่าแบบเก่าอยู่ถึง 23.34% ซึ่งเมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่ต้องการแล้วเพื่อให้กระบวนการที่ได้ปรับปรุงอยู่ในสภาวะที่ต้องการอยู่เสมอ แผนภูมิทางสถิติเป็นเครื่องมือที่นิยมหรับสำหรับขั้นตอนควบคุม สุภวรรณ ศรีวรรณ[9] นำแผนควบคุมX bar-R Chart ของผลการสุ่มวัดค่าความนิ่มแข็งของที่พิง และค่าน้ำหนักของที่พิงศีรษะหลังการปรับปรุง เพื่อเป็นตัวชี้วัดผลของเป้าหมาย ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากความผิดพลาด (FMEA)ร่วมกับการออกแบบการทดลอง แล้วพบว่า การแก้ปัญหาเกิดโพรงอากาศที่พิงศีรษะ ต้องปรับปรุงเครื่องพ่นกาว ร่วมทั้งเพิ่มตำแหน่งการกดชิ้นงาน ซึ่งการปรับปรุงดังกล่าวได้ถูกกำหนดเป็นมาตรฐานการทำงานและติดตามผล 3 เดือน โดยใช้แผนควบคุม X bar-R Chart พบว่าสามารถลดปัญหาได้ 99.45%

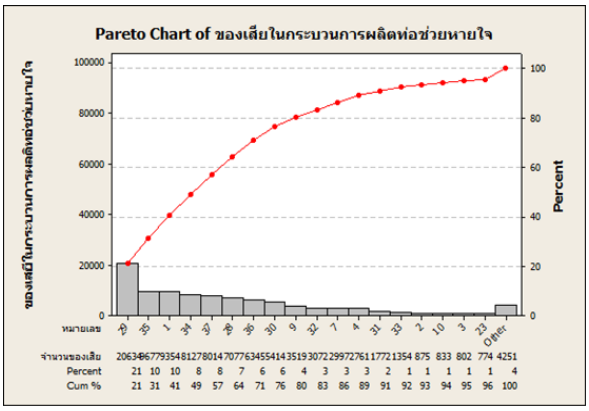
2. การดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

2.1 Define (กำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น)

จากปัญหาของเสียในกระบวนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ที่เป็นกระบวนการสำคัญในการคงสภาพความปลอดเชื้อ ซึ่งจากการรวบรวมปัญหา โดยใช้แผนภูมิพาเรโตวิเคราะห์ปัญหาที่พบในกระบวนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ จากภาพที่ 1 พบว่าปัญหาหมายเลข 29 คือเรื่องรอยซีลส่วนเกินมีปริมาณมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือก กำหนดเป้าหมายในการปรับปรุง คือ การลดลงของของเสียประเภทรอยซีลส่วนเกินเป็นรอยยาว (แสดงในภาพที่ 2) ในอัตรา ร้อยละ 50 หรือ ลดลงเหลือ 4,403 DPPM

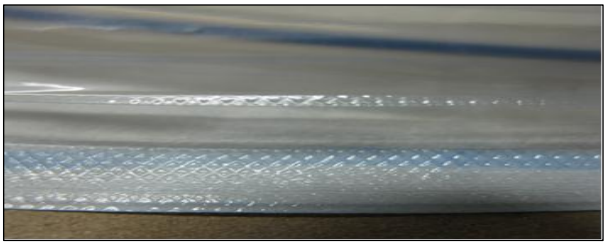
อัตราข้อบกพร่องต่อหน่วยเฉลี่ย ณ ปัจจุบัน = 8,807 DPPM

อัตราข้อบกพร่องต่อหน่วยตามเป้าหมาย =4,403 DPPM



ภาพที่ 1 แผนภูมิพาเรโตของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในส่วนของการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ ของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึง เดือนกันยายน 2555

ภาพที่ 2 ของเสียของการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ประเภทที่เกิดรอยซีล (ส่วนเกิน) เป็นรอยยาว



2.2 Measure (การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา)

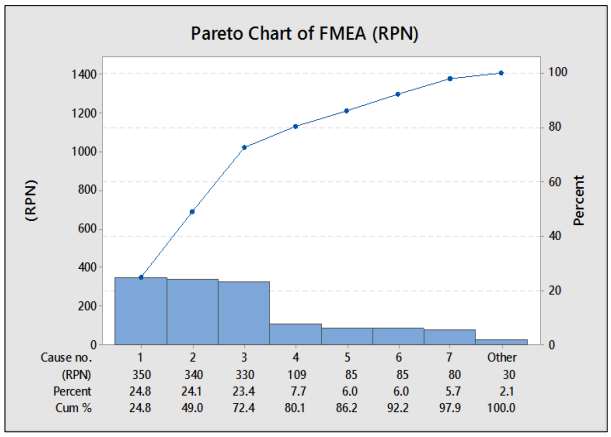
ในขั้นตอนนี้ ทำการวิเคราะห์ เพื่อหาปัจจัยที่ผลต่อค่าตอบสนองที่ต้องการและ ทำการประเมินระบบการวัด ซึ่งหมายถึง ตรวจสอบมาตรฐานของวิธีการตรวจสอบของเสียของพนักงาน

2.2.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

สำหรับการค้นหาสาเหตุที่สำคัญที่น่าจะส่งผลกระทบต่อระดับคุณภาพของ Output ของกระบวนการนั้น ทางผู้วิจัยใช้แผนภูมิก้างปลา เพื่อหาปัจจัย (Xs) ที่อาจเป็นสาเหตุของ รอยซีลส่วนเกินเป็นรอยยาว (Y) ซึ่งมีสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา 10 สาเหตุด้วยกัน (อ้างอิงตารางที่ 1) จากนั้นนำสาเหตุทั้งหมด นำมาวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการ (FMEA Process) ได้ผลระดับคะแนน (RPN) ตามภาพที่ 3 สูงสุด 3 อันดับแรกคือ X1

ความลึกของแม่แบบ(Die depth) X2 อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน (Temperature) และ X3 แรงดันเป่าร้อน (Pressure)

ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ พาเรโตสำหรับ ระดับ RPN จากผลการวิเคราะห์ความเสียหายและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA



ตารางที่ 1 สาเหตุของปัญหา 10 ปัญหาที่ได้จากการวิเคราะห์ผลด้วยแผนภูมิก้างปลาและ ระดับคะแนน (RPN) ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลกระทบกระบวนการด้วย FMEA

หมายเลข	สาเหตุของปัญหา	ระดับคะแนนของผลการวิเคราะห์ FMEA (RPN)
1	ระดับความลึกของแม่แบบ	350
2	อุณหภูมิในการเป่าลมร้อน	340
3	แรงดันในการเป่าลมร้อน	330
4	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์	109
5	เวลาในการเป่าลมร้อน	85
6	ความหนาของวัตถุดิบ	85
7	ความเร็วในการกดทับ	80
8	ความเร็วในการปล่อยแม่พิมพ์หลังจากกดทับ	10
9	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น	10
10	เวลาในการกดทับ	10

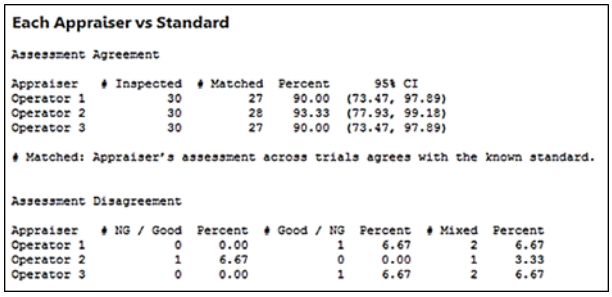
2.2.2 ตรวจสอบระบบวัด

เนื่องจากของเสียของผลตอบสนองเป็นลักษณะการตัดสินใจแบบดีเสีย ดังนั้นการตรวจสอบในครั้งนี้จึงเป็นการวิเคราะห์ระบบการวัดที่มีลักษณะเป็นข้อมูลนับ (Gage R&R หรือ Gage Repeatability & Reproducibility for Attribute Data) โดยในการประเมินความสามารถของระบบการวัดโดยใช้ โปรแกรม Minitab นั้นพบว่าพนักงานประสิทธิภาพในการตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อธิบายเป็นผลได้ดังต่อไปนี้

โดยผลการประมวลพบว่า ค่าที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุดคือ ความลึกของแม่พิมพ์ที่ระดับ 1 อุณหภูมิที่ 94 องศาเซลเซียส แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์มที่ระดับ11.75 PSI จากภาพที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบ ค่าความสามารถในการตรวจสอบซ้ำ ของพนักงาน แต่ละคน พบว่า ตรวจสอบคนที่ 1 มีค่าเท่ากับ 93.33 % คนที่ 2 มีค่าเท่ากับ 96.67 % และ และ คนที่ 3 มีค่าเท่ากับ 93.33 % ซึ่งแสดงว่าพนักงานทุกคนมีความสามารถในการตรวจสอบซ้ำ สูงมาก

ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์ Attribute Agreement Analysis within Appraisers

จากภาพที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบ ชิ้นงานเทียบกับชิ้นงานมาตรฐานของพนักงาน แต่ละคน พบว่า ตรวจสอบคนที่ 1 มีค่าเท่ากับ 90 % คนที่ 2 มีค่าเท่ากับ 93.33% และ และ คนที่ 3 มีค่าเท่ากับ 90 % ซึ่งแสดงว่าพนักงานทุกคนมีความสามารถในการแยกแยะชิ้นงานดีและชิ้นงานเสียอยู่ในระดับที่ดีมาก



Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Operator 1	30	27	90.00	(73.47, 97.89)
Operator 2	30	28	93.33	(77.93, 99.18)
Operator 3	30	27	90.00	(73.47, 97.89)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Assessment Disagreement

Appraiser	# NG / Good	Percent	# Good / NG	Percent	# Mixed	Percent
Operator 1	0	0.00	1	6.67	2	6.67
Operator 2	1	6.67	0	0.00	1	3.33
Operator 3	0	0.00	1	6.67	2	6.67

ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์ Attribute Agreement Analysis within each Appraiser vs. Standard

จากภาพที่ 6 ประสิทธิผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำเท่ากับ 86.67 % แสดงว่า ถ้าพนักงาน 3 คน ตรวจสอบงาน 100 ชิ้น จะมี 86 ชิ้นที่ตรวจสอบได้ถูกต้อง

เหมือนกัน และ การประมาณค่าความเชื่อมั่น 95 % สำหรับประสิทธิผลด้าน รีพีททะบีลิตี้จะอยู่ในช่วง 69.28 % - 96.24 %

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	26	86.67	(69.28, 96.24)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Good	0.877567	0.0745356	11.7738	0.0000
NG	0.877567	0.0745356	11.7738	0.0000

ภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์ Attribute Agreement Analysis All Appraiser vs. Standard

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	26	86.67	(69.28, 96.24)

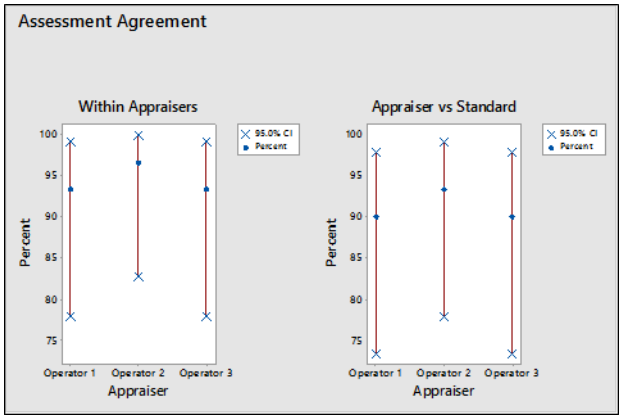
Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Good	0.853315	0.0471405	18.1015	0.0000
NG	0.853315	0.0471405	18.1015	0.0000

ภาพที่ 7 ผลการวิเคราะห์ Attribute Agreement Analysis Between Appraiser

จากภาพที่ 7 ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของพนักงานเท่ากับ 86.67 % แสดงว่า ถ้าพนักงาน 3 คน ตรวจสอบงาน 100 ชิ้นมี 86 ชิ้นที่ตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน และ การประมาณค่าความเชื่อมั่น 95 % สำหรับประสิทธิผลด้าน โปรดิวซิบลิตี้จะอยู่ในช่วง 69.28 % - 96.24 %



ภาพที่ 8 ผลการวิเคราะห์ Assessment Agreement Analysis สำหรับพนักงาน 3 คน

เมื่อเปรียบเทียบการทำงานของพนักงานทั้ง 3 พบว่า พนักงานคนที่ 2 มีความสามารถในการตรวจสอบมากที่สุด ซึ่งแสดงได้จากค่าความสามารถในการตรวจสอบซ้ำ (within Appraiser) และความสามารถในการตรวจสอบ ชิ้นงานเทียบกับชิ้นงานมาตรฐาน (Appraiser vs. Standard) ซึ่งโดยภาพรวมแล้ว ระบบการตรวจสอบของพนักงานทั้ง 3 คน อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อระบบวัดที่เชื่อถือได้ทำให้สามารถเข้าสู่ขั้นตอนถัดไปของการวิจัยได้

2.3 Analyze (วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา)

ดำเนินการวิเคราะห์ผ่านวิธีการทางสถิติเชิงอนุมาน เพื่อดูว่าปัจจัย X1 ความลึกของแม่แบบ X2 อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน และ X3 แรงดันเป่าร้อน มีผลกระทบต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Full factorial 2^k โดย k คือปัจจัยทั้งหมด ปัจจัย 3กำหนดการทำซ้ำเป็น 5 ครั้ง ทั้งหมด 40 การทดลอง ลำดับการทดลอง และระดับของปัจจัย (-1) และ (+1) อธิบายได้ตาม ตารางที่ 2

จากจำนวนของเสียที่ได้จากการทดลองการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Full factorial 40 การทดลอง นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตัวสมการต้นแบบที่ใช้ในการทดลองแสดงได้ตามสมการที่ (1) คือ

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (1)$$

โดยที่

μ หมายถึง ผลเฉลี่ยทั้งหมด (Overall Mean)

τ_i หมายถึง ผลที่เกิดจากระดับที่ *i* ของปัจจัย *A*

τ_i หมายถึง ผลที่เกิดจากระดับที่ *i* ของปัจจัย *A*

β_j หมายถึง ผลที่เกิดจากระดับที่ *j* ของปัจจัย *B*

γ_k หมายถึง ผลที่เกิดจากระดับที่ *k* ของปัจจัย *C*

$(\tau\beta)_{ij}$ หมายถึง ผลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง τ_i และ β_j

$(\tau\gamma)_{ik}$ หมายถึง ผลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง τ_i และ γ_k

$(\beta\gamma)_{jk}$ หมายถึง ผลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง β_j และ γ_k

$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$ หมายถึง ผลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง τ_i , β_j γ_k

ε_{ijkl} หมายถึง องค์ประกอบของความผิดพลาดแบบสุ่ม

โดยมีสมติฐานดังนี้ การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

H_0 : ปัจจัยหลักไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง

H_1 : ปัจจัยหลักมีผลต่อค่าตอบสนอง

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม

H_0: ปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง

H_1: ปัจจัยร่วมมีผลต่อค่าตอบสนอง

ตารางที่ 2 ลำดับการทดลอง และระดับปัจจัยที่ใช้ในแต่ละการทดลอง

ปัจจัยที่ทำการศึกษา	ระดับของปัจจัย	
	-1	1
ความลึกของแม่พิมพ์(ระดับ)	ระดับที่1	ระดับที่3
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	94	100
แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม(PSI)	4	12

เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการตอบสนองดังกล่าว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (α = 0.05) โดยใช้โปรแกรม Minitab พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียประเภทรอยซีลซ้ำอย่างมีนัยสำคัญ (P value < 0.05) นั้นประกอบด้วย 2 ปัจจัยคือ ความลึกของแม่พิมพ์ และอุณหภูมิ ส่วนแรงดันลมที่ใช้ในการเป่า ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถแสดงเป็นแผนภาพของ อิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดของเสียคือ แสดงอิทธิพลหลัก(Main effect) ดังภาพที่ 10 และความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วมของระหว่างปัจจัย (Interaction plot)

ดังภาพที่ 11 ซึ่งจากค่า R^2 Adjusted มีค่า 83.34% แสดงว่ามีความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลได้ [7] โดย R^2 และ R^2 (Adjust) อธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$R^2 = [SS_{model} / SS_{total}]$ (2)

R^2 adj= 1- $[[SS_{model} /n] / [SS_{total} /n]]$ (3)

Factorial Fit: Result versus Die dep, Heat temp, Blowing pressure

Estimated Effects and Coefficients for Result (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		51.93	2.438	21.30	0.000
Die dep	51.64	25.82	2.438	10.59	0.000
Heat temp	32.17	16.08	2.438	6.60	0.000
Blowing pressure	2.05	1.03	2.438	0.42	0.676
Die dep*Heat temp	-20.07	-10.03	2.438	-4.11	0.000
Die dep*Blowing pressure	8.26	4.13	2.438	1.69	0.100
Heat temp*Blowing pressure	14.38	7.19	2.438	2.95	0.006
Die dep*Heat temp*Blowing pressure	20.59	10.29	2.438	4.22	0.000

S = 15.4220 PRESS = 11891.9
R-Sq = 86.33% R-Sq(pred) = 78.64% R-Sq(adj) = 83.34%

Analysis of Variance for Result (coded units)

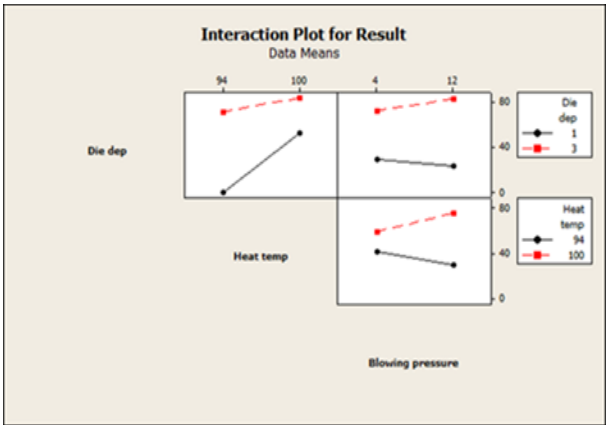
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Main Effects	3	37049.8	37049.8	12349.9	51.93
Die dep	1	26661.7	26661.7	26661.7	112.10
Heat temp	1	10345.9	10345.9	10345.9	43.50
Blowing pressure	1	42.2	42.2	42.2	0.18
2-Way Interactions	3	6775.6	6775.6	2258.5	9.50
Die dep*Heat temp	1	4026.0	4026.0	4026.0	16.93
Die dep*Blowing pressure	1	683.1	683.1	683.1	2.87
Heat temp*Blowing pressure	1	2066.4	2066.4	2066.4	8.69
3-Way Interactions	1	4237.4	4237.4	4237.4	17.82
Die dep*Heat temp*Blowing pressure	1	4237.4	4237.4	4237.4	17.82
Residual Error	32	7610.8	7610.8	237.8	
Pure Error	32	7610.8	7610.8	237.8	
Total	39	55673.6			

Source	P
Main Effects	0.000
Die dep	0.000
Heat temp	0.000
Blowing pressure	0.676
2-Way Interactions	0.000

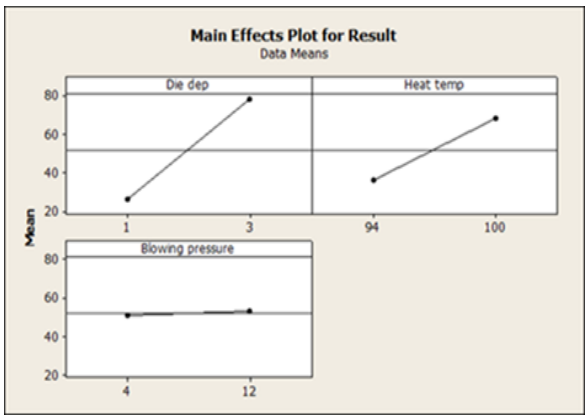
ภาพที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของจำนวนของเสียที่เกิดจากกระบวนการซีลถุงบรรจุภัณฑ์

จากผลการทดลองข้างต้น ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ โปรแกรมสำเร็จรูป เลือก ฟังชั่น Response optimization และกำหนดให้เป้าหมายเป็นศูนย์ แสดงผลได้ตามภาพที่ 12

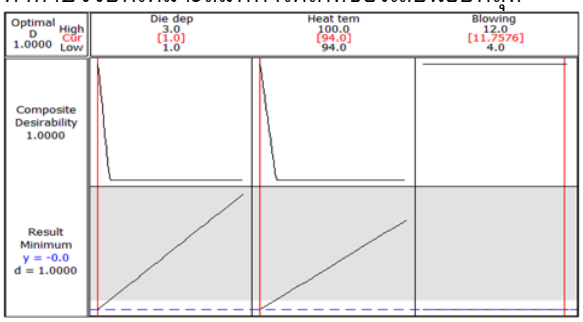
ภาพที่ 10 ผลการวิเคราะห์ด้วยกราฟอิทธิพลหลัก (Main effect)



ภาพที่ 11ผลการวิเคราะห์ด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วมของระหว่างปัจจัย



ภาพที่ 12 ผลการประมวล Response optimization เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด



โดยผลการประมวลพบว่า ค่าที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุดคือ ความลึกของแม่พิมพ์ที่ระดับ 1 อุณหภูมิที่ 94 องศาเซลเซียส แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์มที่ระดับ11.75 PSI

3. สรุปผลการวิจัย

เพื่อกำหนดแนวทางในการลดของเสียในขั้นตอนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ซึ่งปัจจัยต่างๆ ได้ถูกนำ มาวิเคราะห์โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผลซึ่งทำให้สามารถแยกแยะปัจจัยต่างๆที่น่าจะมีผลทำให้เกิดรอยซีลส่วนเกิน คือ ความลึกของแม่แบบ (Die depth) อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน (Temperature) และแรงดันเป่าร้อน (Pressure) จากนั้นทดสอบระดับของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสีย ได้ทำการทดลองเพื่อออกแบบการทดลองแบบ Full factorial 2^k ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าอยู่ 83.34 % จากค่าเครื่องจักรที่เหมาะสมนำไปใช้ทำงานจริง และเก็บข้อมูล 3 เดือนพบว่าปริมาณของเสียลดลงตามเป้าหมาย

เอกสารอ้างอิง

[1] วชิรพงษ์ สาลีสิงห์, 2548, **ปฏิวัติกระบวนการทำงานด้วยเทคนิค Six Sigma**, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัทศิริวัฒนา อินเตอร์ริ้น จำกัดมหาชน, หน้า 20-149.

[2] จรัสพงศ์ รักการ, 2543, **การประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงคุณภาพเคลือบสีสำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์**, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หน้า 1-90.

[3] นพณรงค์ ศิริเสถียร, 2543, **การปรับปรุงคุณภาพผิวของผลิตภัณฑ์ กระบะรถยนต์ โดยอาศัยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิตคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หน้า1-51.

[4] อุษณี ถิ่นเกาะแก้ว, 2545, **การลดของเสียในกระบวนการผลิตปลากระป๋อง โดยประยุกต์ ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หน้า 1-55.

[5] วิศณุ บุญจันทร์, 2548, **การปรับปรุงคุณภาพรอยถลอกรถกระบะในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยอาศัยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า**, ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หน้า 10-64.

[6] จักรวรรดิ ดียิ่ง, 2554, **การพัฒนาคุณภาพในกระบวนการเชื่อมโลหะด้วยแสงเลเซอร์ ในโรงงานประกอบแขนจับหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์**, สารนิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ หน้า 20 -76.

[7] นภัสนันท์ คุ้มกัน, 2552, **การวิเคราะห์หาระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการประกอบชุดให้น้ำเกลือโดยการออกแบบการทดลอง**, สารนิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุต

สาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ หน้า 24-45.

[8] โสภิดา ท้วมมี, 2550, **การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ หน้า 94-144.

[9] สุภวรรณ ศรีวรรณ, 2554, **การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตเบาะรถยนต์โดยประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญญบุรี หน้า 67-109.

[10] วสันต์ พุกผาสุข, 2549, **การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมี่ยม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ซิกม่า กรณีศึกษา : บริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมี่ยม**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ หน้า 1-124.

ประวัติผู้วิจัย
ชื่อ-สกุล: วิมลศรี สิทธิกูล

ประวัติการศึกษา: สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากรศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้วิจัย
ชื่อ-สกุล: ผศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร

ตำแหน่ง: หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

การออกแบบพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการผลิตโรเตอร์

Parameters Design for Rotor Production Process

วุฒิชัย ทรัพย์สันทัด[1*] ศิริรัตน์ ชุติชูเดช[2]
[1,2]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตศรีราชา อ.ศรีราชา จ. ชลบุรี 20130 E-mail: woottichai_s@hotmail.com[1*]

Woothichai Sapsantad[1*], Sirirat Juttijudata[2]
[1,2]Department of Engineering Mangement, Faculty of Engineering at Si Racha, Kasetsart University
Sriracha Campus, Sriracha, Cholburi, 20130, E-mail: woottichai_s@hotmail.com[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ออกแบบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโรเตอร์เพื่อให้ได้ความสูงของโรเตอร์ที่ต้องการ ปัจจัยหลักที่มีผลต่อ ความสูงของโรเตอร์ประกอบไปด้วย 4 ปัจจัยได้แก่ แรงดันในการรีเว็ท ความสูงของหัวรีเว็ท ระยะการกดและแรงดันเครื่องย้ำโรเตอร์คอร์ลามิเนต ในเบื้องต้นเทคนิคการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ 2^k ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความสูงของโรเตอร์ จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสูงของโรเตอร์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ แรงดันในการรีเว็ท ระยะการกด และแรงดันเครื่องย้ำโรเตอร์คอร์ลามิเนต ขั้นตอนต่อไปคือการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางและพื้นผิวสะท้อน พบว่าค่าพารามิเตอร์เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ความสูงโรเตอร์เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด คือ แรงดันในการรีเว็ทที่ 3.7 MPa ระยะการกดที่ 4.80 มิลลิเมตร และแรงดันเครื่องย้ำโรเตอร์คอร์ลามิเนตที่ 3.2 MPa นอกจากนั้นแล้วในขั้นตอนการยืนยันผลได้ทำการ ทดลองผลิตโรเตอร์โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังกล่าว พบว่าความสูงเฉลี่ยของโรเตอร์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีค่าเท่ากับ 74 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในเป้าหมายที่กำหนด

คำหลัก การออกแบบการทดลอง, การออกแบบพารามิเตอร์, กระบวนการผลิตโรเตอร์

Abstract

The objective of research is to perform parameter design for rotor production process in order to achieve the desirable rotor height. The rotor height is affected by four factors namely a riveting pressure, the height of riveting head, a distance inserter and a stamping pressure. The first step is to perform a screening design using 2^k factorial design. The result suggests that only the riveting pressure, the distance inserter and the stamping pressure affect the process with the significance level of 0.05. Next step is to perform a parameter design using central composite designs (CCD) and response surface method. The optimal parameters obtained for these factors are 3.7 MPa, 4.80 mm and 3.2 MPa, respectively. In order to confirm the result, a trial experiment is performed with obtained optimal parameters. The average rotor height is 74 mm with the confidence level of 95% which is well in the desirable target range.

Keywords: Design of Experiment, Parameter Design, Rotor Production Process

1. บทนำ

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล และมอเตอร์ของคอมเพรสเซอร์สำหรับเครื่องปรับอากาศเป็นมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ สเตเตอร์ และโรเตอร์ โดยสเตเตอร์มีหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการป้อนกระแสไฟฟ้าแล้วทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขั้วบวกขั้วลบ ส่วนโรเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่มีแม่เหล็กถาวรอยู่ในตัวที่ทำมาจากเฟอร์ไรต์โดยกระบวนการทำแม่เหล็ก เมื่อสเตเตอร์เป็นสนามแม่เหล็กจะเกิดการผลักขั้วบวกขั้วลบกันระหว่าง สเตเตอร์กับโรเตอร์ ส่งผลให้โรเตอร์เกิดการหมุน และทำให้ชุดขับเคลื่อนทำงาน [1]

ปัจจุบันกระบวนการผลิตโรเตอร์ของโรงงานผลิตคอมเพรสเซอร์มักพบปัญหาของเสียที่เกิดจากความสูงของโรเตอร์ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดถึง 10.72% (จากการสุ่มตรวจคุณภาพของชิ้นงานทั้งหมด 4,608 ชิ้น) ทั้งนี้ข้อกำหนดของความสูงของโรเตอร์สำหรับคอมเพรสเซอร์นี้คือ 74 ± 0.5 มิลลิเมตร แต่จากการตรวจสอบคุณภาพพบว่าความสูงของโรเตอร์ต่ำกว่าข้อกำหนด ส่งผลทำให้การทำงานของคอมเพรสเซอร์มีประสิทธิภาพด้อยลง ใช้เวลาในการทำความเย็นนานขึ้น ทำให้ใช้กระแสไฟมากขึ้นในการทำให้เครื่องปรับอากาศได้ตามอุณหภูมิที่ต้องการ ดังนั้นชิ้นงานที่ไม่ผ่านคุณภาพจำนวนหนึ่งอาจถูกส่งกลับไปทำการซ่อม และอีกส่วนหนึ่งต้องทำการผลิตชิ้นงานใหม่ทดแทน ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตและสูญเสียเวลาในการผลิต ส่งผลให้ไม่สามารถส่งงานให้กระบวนการผลิตคอมเพรสเซอร์ได้ทันเวลาที่กำหนด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตโรเตอร์เพื่อแก้ปัญหาค่าความสูงของโรเตอร์ไม่ได้ตามที่มาตรฐานด้านคุณภาพที่กำหนด โดยวิธีการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองผ่านการทดลองแบบส่วนประสมกลาง จากการศึกษาหลายงานวิจัยที่ผ่านมา [2-7] มีขั้นตอนและวิธีการทำที่คล้ายคลึงกัน โดยมี 2 ส่วนหลักๆ คือการใช้วิธีการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองเพื่อประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตที่หลากหลาย

2. การออกแบบการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัย

จากการศึกษากระบวนการผลิตโรเตอร์พบว่า ปัจจัยที่มีส่งผลต่อค่าความสูงโรเตอร์มากที่สุดมีทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ แรงดันในการรีเว็ท (A) ความสูงของหัวรีเว็ท (B) ระยะการกดของโรเตอร์ (C) และแรงดันเครื่องย้ำโรเตอร์คอร์ลามิเนต (D) เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบ $2^{k=4}$ แฟคทอเรียล (2^4 Factorial Design) ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสูงโรเตอร์ โดยแต่ละปัจจัยสามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 ระดับ ดังแสดงรายละเอียดการกำหนดระดับของปัจจัยต่างดังตารางที่ 1 จำนวนแบบการทดลองทั้งหมดคือ = 18 การทดลอง และในแต่ละการทดลองกำหนดการทำการทดลองซ้ำ 3 รอบ (48 การทดลอง) โดยที่ค่าตอบสนอง (Response) ของการทดลองคือ ความสูงโรเตอร์ (หน่วย: มิลลิเมตร) ทั้งนี้วิธีการวัดค่าตอบสนองโดยใช้ดิจิตอลคาลิเปอร์

ตารางที่ 1 ระดับปัจจัยสำหรับการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยแบบ 2^4 แฟคทอเรียล

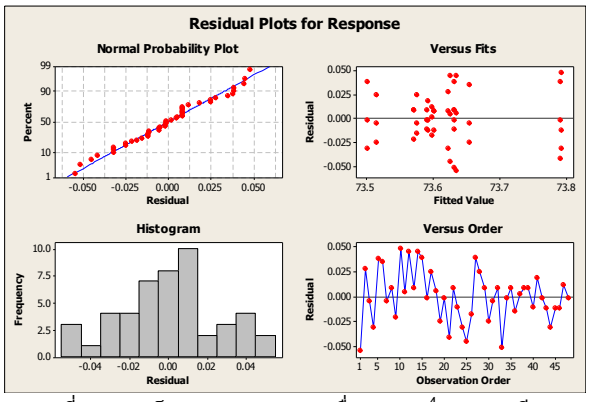
ปัจจัยที่ทำการทดลอง	สัญลักษณ์	ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)	หน่วย
แรงดันในการรีเว็ท	A	3.8	4.2	MPa
ความสูงของหัวรีเว็ท	B	15	16	mm.
ระยะการกดของโรเตอร์	C	4.4	4.7	mm.
แรงดันเครื่องย้ำโรเตอร์คอร์ลามิเนต	D	3.5	4.5	MPa

ผลการทดลองทั้ง 48 การทดลองถูกแสดงตามตารางที่ 2 และสามารถวิเคราะห์ผลที่ได้จากการพล็อตค่าความคลาดเคลื่อนของ 2^4 แฟคทอเรียล (Residual Plots) ดังนี้ ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าความแปรปรวนคงที่ และค่าความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแปรสุ่มและมีความเป็นอิสระต่อกัน ดังแสดงตามรูปที่ 1 นอกจากนั้นการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบหลัก (Main Effect) ต่อความสูงของโรเตอร์มีทั้งหมด 3 ปัจจัย คือแรงดันในการรีเว็ท ระยะการกดของโรเตอร์ และแรงดันเครื่องย้ำโร

เตอร์คอร์ลามิเนต ที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.05 (P-value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ) และค่าการทดสอบแบบจำลองการถดถอย (Lack of Fit Test) มีความเหมาะสม (P-value มีค่าเท่ากับ 0.746 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลอง 2^4 แฟคทอเรียล

แรงดันในการรีเว็ท (A)	ความสูงของหัวรีเว็ท (B)	ระยะการกดของโรเตอร์ (C)			
		4.4 mm (-1)		4.7 mm (1)	
		แรงดันเครื่องย้ำโรเตอร์คอร์ลามิเนต (D)		แรงดันเครื่องย้ำโรเตอร์คอร์ลามิเนต (D)	
		3.5 MPa (-1)	4.5 MPa (1)	3.5 MPa (-1)	4.5 MPa (1)
3.8 MPa (-1)	15 mm (-1)	73.64 73.62 73.63	73.61 73.61 73.59	73.76 73.84 73.78	73.58 73.68 73.64
	16 mm (1)	73.63 73.67 73.58	73.60 73.59 73.58	73.75 73.83 73.79	73.65 73.63 73.59
4.2 MPa (1)	15 mm (-1)	73.61 73.58 73.59	73.51 73.49 73.54	73.67 73.58 73.64	73.57 73.60 73.56
	16 mm (1)	73.55 73.58 73.58	73.54 73.50 73.47	73.69 73.63 73.65	73.58 73.60 73.61



รูปที่ 1 การพล็อตค่าความคลาดเคลื่อนของ 2^4 แฟคทอเรียล

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	0.242658	0.242658	0.0606646	65.35	0.000
A	1	0.079219	0.079219	0.0792188	85.33	0.000
B	1	0.000052	0.000052	0.0000521	0.06	0.814
C	1	0.084169	0.084169	0.0841688	90.67	0.000
D	1	0.079219	0.079219	0.0792188	85.33	0.000
2-Way Interactions	6	0.017029	0.017029	0.0028382	3.06	0.017
A*B	1	0.000352	0.000352	0.0003521	0.38	0.542
A*C	1	0.002269	0.002269	0.0022688	2.44	0.128
A*D	1	0.003169	0.003169	0.0031688	3.41	0.074
B*C	1	0.001302	0.001302	0.0013021	1.40	0.245
B*D	1	0.000019	0.000019	0.0000187	0.02	0.888
C*D	1	0.009919	0.009919	0.0099188	10.68	0.003
3-Way Interactions	4	0.017758	0.017758	0.0044396	4.78	0.004
A*B*C	1	0.001102	0.001102	0.0011021	1.19	0.284
A*B*D	1	0.000102	0.000102	0.0001021	0.11	0.742
A*C*D	1	0.016502	0.016502	0.0165021	17.78	0.000
B*C*D	1	0.000052	0.000052	0.0000521	0.06	0.814
Residual Error	33	0.030635	0.030635	0.0009283		
Lack of Fit	1	0.000102	0.000102	0.0001021	0.11	0.746
Pure Error	32	0.030533	0.030533	0.0009542		
Total	47	0.308081				

รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ 2^4 แฟคทอเรียล

3. การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการ

เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Designs: CCD) [7] ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์อย่างละเอียดเพื่อพิจารณาปัจจัยทั้ง 3 ที่มีผลกระทบต่อความสูงของโรเตอร์ คือแรงดันในการรีเว็ท ระยะการกดของโรเตอร์ และแรงดันเครื่องย้ำโรเตอร์คอร์ลามิเนต โดยออกแบบให้มีจำนวนจุดของแฟคทอเรียล (Factorial Points) 8 จุด จำนวนจุดที่แกน (Axial Points) 6 จุดและจำนวนจุดศูนย์กลาง (Center Points) 6 จุด รวมจำนวนจุดของการออกแบบ 20 จุด ใช้ระยะห่างที่แกน $\alpha = 2^{k/4}$ ซึ่ง k เท่ากับจำนวนปัจจัยคือ 3 ปัจจัย จึงได้ $\alpha = 2^{3/4} = 1.682$ จึงกำหนดการออกแบบแต่ละปัจจัยมี 5 ระดับคือ -1.682, -1, 0, 1 และ1.682 ดังแสดงรายละเอียดการกำหนดระดับปัจจัยดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับปัจจัยสำหรับการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

ปัจจัยที่ทำการทดลอง	ระดับของปัจจัย					หน่วย
	$-\alpha$	-1	0	1	α	
แรงดันในการรีเว็ท (A)	3.66	3.80	4.00	4.20	4.34	MPa
ระยะการกดของโรเตอร์ (C)	4.30	4.40	4.55	4.70	4.80	mm.
แรงดันเครื่องย้ำโรเตอร์คอร์ลามิเนต (D)	3.16	3.50	4.00	4.50	4.84	MPa

ทั้งนี้ค่าตอบสนองที่ได้จากการทดลองทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4 และ จากรูปที่ 3 จากการทดลองสามารถจำลองสมการถดถอยได้ดังนี้

$$Y = -0.1008A + 0.0551C - 0.0434D - 0.0152A^2 + 0.0060C^2 - 0.0294D^2 - 0.022AC + 0.0263AD + 0.0212CD + 73.7139 \quad (1)$$

นอกจากนั้นยังพบว่าสมการถดถอยที่เป็นแบบจำลองนี้มีการประมาณได้เหมาะสมกับข้อมูล เนื่องด้วยค่า R^2 มีค่าสูง (93.69%) และสอดคล้องกับค่า R^2-Adjust และ Pred-R^2 ที่มีค่า 88.01% และ 69.47% ตามลำดับ ในขณะที่ค่า Press ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองเหมาะสมกับจุดที่ออกแบบมีค่าต่ำ (0.076%) และค่า Lack-of-fit มีเท่ากับ 0.439 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการออกแบบการทดลองส่วนประสมกลาง

การทดลองที่	ปัจจัย A แรงดันในการรีเว็ท (MPa)	ปัจจัย C ระยะการกดของโรเตอร์ (mm.)	ปัจจัย D แรงดันเครื่องย้ำโรเตอร์คอร์ลามิเนต (MPa)	ความสูงของโรเตอร์ (mm.)
1	3.80	4.40	3.50	73.77
2	3.80	4.40	4.50	73.58
3	3.80	4.70	3.50	73.86
4	3.80	4.70	4.50	73.80
5	4.20	4.40	3.50	73.57
6	4.20	4.40	4.50	73.53
7	4.20	4.70	3.50	73.64
8	4.20	4.70	4.50	73.62
9	4.00	4.55	4.00	73.69
10	4.00	4.55	4.00	73.74
11	4.00	4.55	4.00	73.71
12	4.00	4.55	4.00	73.67
13	4.00	4.55	4.00	73.76
14	4.00	4.55	4.00	73.70
15	4.34	4.55	4.00	73.47
16	3.66	4.55	4.00	73.89
17	4.00	4.30	4.00	73.65
18	4.00	4.80	4.00	73.83
19	4.00	4.55	4.84	73.55
20	4.00	4.55	3.16	73.73

Response Surface Regression: Response versus A, C, D

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Response

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	73.7139	0.01622	4545.694	0.000
A	-0.1008	0.01076	-9.367	0.000
C	0.0551	0.01076	5.123	0.000
D	-0.0434	0.01076	-4.034	0.002
A*A	-0.0152	0.01047	-1.454	0.177
C*C	0.0060	0.01047	0.572	0.580
D*D	-0.0294	0.01047	-2.804	0.019
A*C	-0.0212	0.01406	-1.512	0.162
A*D	0.0263	0.01406	1.867	0.091
C*D	0.0212	0.01406	1.512	0.162

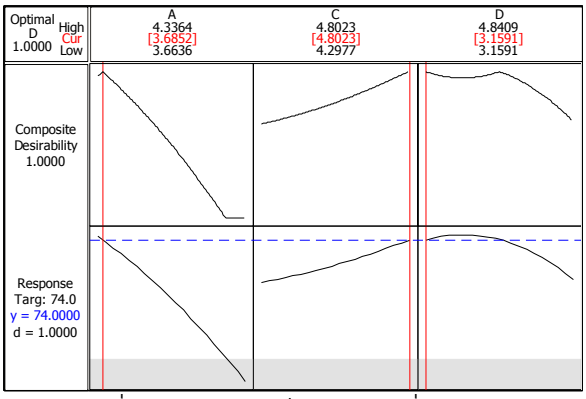
S = 0.0397604 PRESS = 0.0764893
R-Sq = 93.69% R-Sq(pred) = 69.47% R-Sq(adj) = 88.01%

Analysis of Variance for Response

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.234766	0.234766	0.026085	16.50	0.000
Linear	3	0.205923	0.205923	0.068641	43.42	0.000
A	1	0.138710	0.138710	0.138710	87.74	0.000
C	1	0.041488	0.041488	0.041488	26.24	0.000
D	1	0.025725	0.025725	0.025725	16.27	0.002
Square	3	0.016106	0.016106	0.005369	3.40	0.062
A*A	1	0.002523	0.003340	0.003340	2.11	0.177
C*C	1	0.001154	0.000517	0.000517	0.33	0.580
D*D	1	0.012428	0.012428	0.012428	7.86	0.019
Interaction	3	0.012737	0.012737	0.004246	2.69	0.103
A*C	1	0.003612	0.003612	0.003612	2.29	0.162
A*D	1	0.005513	0.005513	0.005513	3.49	0.091
C*D	1	0.003612	0.003612	0.003612	2.29	0.162
Residual Error	10	0.015809	0.015809	0.001581		
Lack-of-Fit	5	0.008476	0.008476	0.001695	1.16	0.439
Pure Error	5	0.007333	0.007333	0.001467		
Total	19	0.250575				

รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองส่วนประสมกลาง

จากผลการทดลองตามแผนการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง พบว่าค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่ส่งผลให้ค่า Y มีค่าตามเป้าหมายเท่ากับ 74 ± 0.5 มิลลิเมตร มีค่าดังนี้ แรงดันในการรีเว็ทมีค่าเท่ากับ 3.6852 MPa หรือ 3.7 MPa, ระยะการกดของโรเตอร์ มีค่าเท่ากับ 4.8023 มิลลิเมตร หรือ 4.80 มิลลิเมตรและแรงดันเครื่องย้ำโรเตอร์คอร์ลามิเนตมีค่าเท่ากับ 3.1591 MPa หรือ 3.2 MPa ทั้งนี้ค่าความพึงพอใจของค่าตอบสนอง (Composite Desirability: D) มีค่าเท่ากับ 1.000 แสดงว่าค่าตอบสนองของการทดลองได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าตอบสนองที่เหมาะสม

4. การทดลองเพื่อยืนยันความถูกต้อง

หลังจากทราบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จึงมีการนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาใช้ในการทดลองผลิตโรเตอร์เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลการทดลอง โดยทำการผลิตโรเตอร์จำนวน 100 ชิ้น และดำเนินการปรับค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ดังนี้ แรงดันในการรีเว็ทมีค่า 3.7 MPa ระยะการกดของโรเตอร์ มีค่า 4.80 มิลลิเมตร และแรงดันเครื่องย้ำโรเตอร์คอร์ลามิเนตมีค่า 3.2 MPa โดยพิจารณาปัจจัยดังกล่าวว่าส่งผลต่อค่าความสูงของโรเตอร์ สามารถทดสอบสมมติฐานของเงื่อนไขในการผลิตที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ได้ดังนี้

H_0: ค่าเฉลี่ยค่าความสูงของโรเตอร์เท่ากับ 74 มม.

H_1: ค่าเฉลี่ยค่าความสูงของโรเตอร์ไม่เท่ากับ 74 มม.

One-Sample T: C1

Test of mu = 74 vs not = 74

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean
C1	100	73.9894	0.0613	0.0061

Variable	95% CI	T	P
C1	(73.9773, 74.0016)	-1.72	0.088

รูปที่ 5 ผลการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยความสูงของโรเตอร์

จากรูปที่ 5 พบว่า P-value เท่ากับ 0.088 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าค่าเฉลี่ยของค่าความสูงของโรเตอร์ที่เหมาะสมเท่ากับ 73.99 มิลลิเมตรที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5. สรุป

การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตโรเตอร์โดยใช้เงื่อนไขในการผลิตคือ แรงดันในการรีเว็ทที่ 3.7 MPa ระยะการกดที่ 4.80 มิลลิเมตรและแรงดันเครื่องย้ำโรเตอร์คอร์ลามิเนตที่ 3.2 MPa เป็นค่าที่เหมาะสมต่อค่าความสูงของโรเตอร์ ซึ่งจากผลการทดลองในการปรับเงื่อนไขโดยทำการผลิตจำนวน 100 ชิ้น ไม่พบอัตราของเสียและค่าเฉลี่ยของความสูงของโรเตอร์อยู่ที่ 73.99 มิลลิเมตร

เอกสารอ้างอิง

[1] สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส. TEMCA Magazine. (20): น. 71-73, 2556.

[2] ชุติมา ราชพิทักษ์, การลดของเสียจากกระบวนการผลิตแบบแมชชินนิ่งโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองกรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.

[3] รณวิทย์ ผานคำ, การปรับปรุงความสามารถกระบวนการของงานตัดเหล็กแผ่นโดยการใช้การออกแบบการทดลอง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2553.

[4] วิทยา รุ่งเจริญวัฒนา, การใช้การออกแบบการทดลองในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียในขบวนการผลิตชิ้นส่วน CMC P-CAR, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.

[5] วรกิจ วัฒนวิกย์กรรม์. การลดจำนวนรอยตำหนิในการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.

[6] สมชาย ม้วนโคกสูง, การหาจุดเหมาะสมสำหรับการย้ำหมุดอลูมิเนียมโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553.

[7] อดุลย์ จิตรอารี, การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปในการจำลองกระบวนการฉีดชิ้นส่วนพลาสติกเอบีเอส, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2555.

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการบรรจุเม็ดมาสเตอร์แบทสีขาว

Factors Affecting for White Masterbatchs Packaging

ชลภูมิ เตชะทวีกุล นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร* สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร
ศูนย์นวัตกรรมสำหรับวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์และการยศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

Chonlaphum Techathaweekul, Nantakrit Yodpijit*, Somkiat Jongprasithpron
Center for Innovation in Human Factors Engineering and Ergonomics (CIHFE^2)
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), Bangsue, Bangkok 10800
E-mail: nantakrit@gmail.com*, ntk@kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การสูญเสียในปี 2554 - 2556 ของผู้ผลิตมาสเตอร์แบทพบว่ามีค่าสูงขึ้นในทุกๆปี จาก 0.90% เป็น 0.95% และ 1.20% ตามลำดับ การศึกษาเพื่อลดน้ำหนักค่าเผื่อถูกกระทำด้วยแนวคิดของการออกแบบการทดลอง มีการใช้การออกแบบการทดลอง 2 ปัจจัย เพื่อควบคุมกระบวนการบรรจุถุงเพื่อให้ได้น้ำหนักค่าเผื่อที่ 40 กรัมต่อการบรรจุถุงละ 25 กิโลกรัม และใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบเต็มรูป ประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลักที่ถูกควบคุม ได้แก่ การตั้งความดันลมที่ใช้ในการบังคับกระบอกสูบในการเปิดปิดแผ่นกั้นการเติมที่ 4.5 5.0 และ 5.5 บาร์ การตั้งค่าน้ำหนักในการเติมแบบละเอียดที่ 4 6 และ 8 กิโลกรัม โดยจะเป็นการเติมแบบหยาบที่ 21 19 และ 17 กิโลกรัม ตามลำดับ และการตั้งค่าน้ำหนักค่าเผื่อที่ 0.020 และ 0.030 กิโลกรัม ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าปัจจัย 2 ปัจจัย ได้แก่ การตั้งค่าน้ำหนักในการเติมแบบละเอียดและการตั้งค่าน้ำหนักค่าเผื่อมีผลต่อน้ำหนักค่าเผื่อ การตั้งค่าน้ำหนักในการเติมแบบละเอียดที่ 7 กิโลกรัม และการตั้งค่าน้ำหนักค่าเผื่อ 0.030 กิโลกรัมถูกเลือกใช้ทำการตรวจสอบเพื่อยืนยันที่ความดันลม 5.0 บาร์ น้ำหนักค่าเผื่อลดลงเหลือ 34.13 กรัม ทำให้สามารถลดความสูญเสียต่อปีได้โดยประมาณ 680,888 บาท ระยะเวลาคืนทุนสำหรับการปรับปรุงนี้ที่ 1.89 เดือน

คำหลัก มาสเตอร์แบท น้ำหนักค่าเผื่อ ค่าน้ำหนักในการเติมแบบละเอียด

Abstract

Loss in 2011-2013 of a masterbatchs manufacturer increases from 0.90% to 0.95% and 1.20% respectively. The study for product giveaway reduction is performed using design of experiments concept. Two factors are used for 40 g of giveaway weight controlling in 25 kg of bag. Full Factorial Design is performed, consisting of three main controlled factors following packing process condition, air pressure for pneumatic cylinder operating for damper positioning at 4.5, 5.0 and 5.5 bars, a slow filling setting weight at 4, 6 and 8 kg which is filled at 21, 19 and 17 kg by fast filling respectively, giveaway setting weight at 0.02 and 0.03 kg. The experimental result is shown that 2 main factors, slow filling setting weight and giveaway setting weight, are affected to giveaway weight. 7 kg of slow filling setting weight and 0.030 kg of giveaway setting weight are selected for validating with 5 bars of air pressure. The giveaway weight is decreases to 34.13 g which can save loss around 680,888 THB per year with 1.89 month of payback period from an investment for machine improvement.

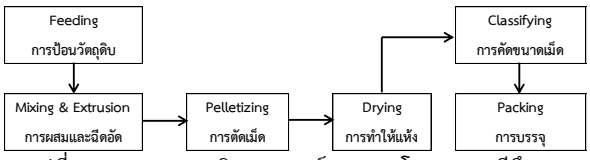
Keywords: Masterbatchs, Giveaway Weight, Slow Filling Setting Weight

1. บทนำ

จากข้อมูลการผลิตในปี พ.ศ. 2554 - 2556 พบว่าปริมาณวัตถุดิบสูญหายระหว่างการผลิตในโรงงานกรณีศึกษา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 0.90% เป็น 0.95% และ 1.20% ตามลำดับ โดยเฉพาะจากสายการผลิต 15 ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาซึ่งมีกำลังการผลิตสูงสุด พบว่าในปี พ.ศ. 2556 ปริมาณวัตถุดิบสูญหายเท่ากับ 1.39% หรือคิดเป็น 47.40% ของปริมาณวัตถุดิบสูญหายจากทุกสายการผลิต คิดเป็นวัตถุดิบสูญหาย 157,043 กิโลกรัม ราคาวัตถุดิบเฉลี่ย 66.38 บาทต่อกิโลกรัม รวมมูลค่าที่สูญเสียทั้งสิ้น 10,424,117 บาทต่อปี ซึ่งทางโรงงานกรณีศึกษาต้องการลดปริมาณวัตถุดิบสูญเสีย โดยการเพิ่มประสิทธิภาพ ในการบรรจุเม็ดผลิตภัณฑ์ไว้ท์มาสเตอร์แบทด้วยเครื่องบรรจุถุงแบบอัตโนมัติ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มาสเตอร์แบท คือ พลาสติกที่ใส่สารเติมแต่งที่ให้คุณสมบัติเฉพาะด้านหรือผสมผงสีเข้มข้น สารเติมแต่งอาจอยู่ในสถานะของแข็งหรือของเหลว นำไปใช้ในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้ความเข้มข้น ของสารเติมแต่งหรือความแตกต่างของสี (Delta E) [1] ในผลิตภัณฑ์ตามที่ลูกค้าต้องการ กระบวนการผลิตมาสเตอร์แบท แบ่งเป็น 6 ขั้นตอน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตมาสเตอร์แบทของโรงงานกรณีศึกษา

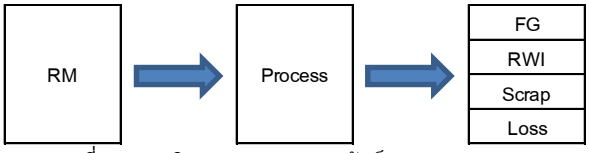
2.1 การทำสมดุลมวลสาร (Material Balance)

โดยปกติวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่ใช้วิธีนับชิ้นงานเป็นชิ้นในการผลิตใดนั้น ต้องได้เป็นผลิตภัณฑ์ทั้งหมด หรือบางส่วนอาจเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน โอกาสที่วัตถุดิบสูญหายระหว่างกระบวนการผลิตนั้น ไม่เกิดขึ้นเลย แต่ในกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีตัวอย่าง วัตถุดิบที่ใช้ถูกเปลี่ยนสภาพเป็นผลิตภัณฑ์ (finished goods), ผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐานแต่สามารถนำกลับมาเข้ากระบวนการผลิตใหม่ (rework) หรือ ของเสีย (scrap) และมีบางส่วนสูญหายไปในระหว่างกระบวนการผลิตด้วย โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Loss} = \text{RM} - \text{FG} - \text{Scrap} - \text{RWI} \quad (1)$$

$$\%\ \text{Loss} = \text{Loss} \times 100 / \text{RM} \quad (2)$$

โดยที่ Loss คือน้ำหนักของสูญหายในระหว่างการผลิต RM คือน้ำหนักของวัตถุดิบขาเข้า FG คือน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านมาตรฐาน Scrap คือน้ำหนักของของเสีย RWI คือน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานแต่สามารถนำกลับมาเข้ากระบวนการผลิตใหม่ได้ (rework inventory) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงอินพุต (input) และเอ้าท์พุต (output) ของกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

2.2 รูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล

การออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment, DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติชั้นสูง ใช้ในการปรับสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการ [2]

พิจารณาแบบจำลองการวิเคราะห์ความแปรปรวน 3 ปัจจัย A, B และ C โดยปัจจัย A มี a ระดับ, ปัจจัย B มี b ระดับ และปัจจัย C มี c ระดับ ซึ่งทั้งหมดนี้ถูกจัดให้อยู่ในรูปของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล นั่นคือ ในแต่ละเรพลิเคตของการทดลอง ประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมด abc การทดลอง โดยมีจำนวนเรพลิเคตทั้งหมด n ครั้ง กำหนดให้ y_{ijkl} คือ ผลตอบที่สังเกตได้เมื่อปัจจัย A อยู่ที่ระดับ i (เมื่อ i = 1, 2, ..., a), ปัจจัย B อยู่ที่ระดับ j (เมื่อ j = 1, 2, ..., b) และปัจจัย C อยู่ที่ระดับ k (เมื่อ k = 1, 2, ..., c) สำหรับเรพลิเคตที่ l (เมื่อ l = 1, 2, ..., n) ข้อมูลจากการทดลองเขียนในรูปของแบบจำลองสถิติเชิงเส้น (Linear Statistical Model) คือ

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \begin{cases} i = 1,2,\ldots,a \\ j = 1,2,\ldots,b \\ k = 1,2,\ldots,c \\ l = 1,2,\ldots,n \end{cases} \quad (3)$$

โดยที่ μ คือผลเฉลี่ยทั้งหมด (Overall Mean)

τ_i คือผลที่เกิดจากระดับที่ i ของปัจจัย A

β_j คือผลที่เกิดจากระดับที่ j ของปัจจัย B

γ_k คือผลที่เกิดจากระดับที่ k ของปัจจัย C
$(\tau\beta)_{ij}$ คือผลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมระหว่าง τ_i และ β_j
$(\tau\gamma)_{ik}$ คือผลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมระหว่าง τ_i และ γ_k
$(\beta\gamma)_{jk}$ คือผลที่เกิดจากอิทธิพลร่วม ระหว่าง β_j และ γ_k
$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$ คือผลที่เกิดจากอิทธิพลร่วมระหว่าง τ_i, β_j และ γ_k และ ε_{ijkl} คือ องค์ประกอบของความผิดพลาดแบบสุ่ม (Random Error)

2.3 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period Method) เป็นการหาระยะเวลาที่ทำให้ผลประโยชน์ที่ได้คุ้มกับ เงินลงทุนมีหน่วยเป็นเวลา เช่น เดือน หรือปี เป็นต้น โดยคิดอัตราผลตอบแทนเป็นศูนย์ [3]

$$\sum_{t=1}^{m} Rt \geq C_0 \qquad (4)$$

โดยที่ $\mathbf{C_0}$ แทนเงินลงทุนเริ่มแรก, **Rt** แทนรายรับสุทธิ ที่คาบระยะเวลา **t**, **t** แทนคาบระยะเวลา และ **m** แทนระยะเวลาคืนทุน

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงาน
2. สำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
3. การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เพื่อกำหนดปัจจัยที่จะนำมาพิจารณา
4. นำพารามิเตอร์ที่เลือกมาออกแบบการทดลอง โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design)
5. กำหนดสมมติฐานการทดลอง
6. ดำเนินการทดลอง และเก็บรวบรวมผลการทดลอง
7. ทำการวิเคราะห์ผล หาพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญต่อน้ำหนักค่าเผื่อในถุงบรรจุด้วยเครื่องบรรจุถุง แบบอัตโนมัติ
8. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

3.2 การศึกษาสภาพปัญหาของโรงงาน

งานวิจัยนี้เป็นการหาปัจจัยที่เหมาะสมในการบรรจุเม็ดมาสเตอร์แบทด้วยเครื่องบรรจุถุงแบบอัตโนมัติ จึงกล่าวถึงเฉพาะขั้นตอนการทำงานของเครื่องบรรจุถุงแบบอัตโนมัติ คือ ขั้นตอนการชั่งน้ำหนักและการตรวจวัดน้ำหนักจากการบรรจุถุงโดยละเอียดดังนี้

เม็ดมาสเตอร์แบทจากถังพักถูกปล่อยลงสู่เครื่องชั่งน้ำหนักด้วยการควบคุมของแผ่นกั้น (shutter) โดยมี การทำงานเป็น 2 ขั้นตอน คือ การเติมน้ำหนักแบบหยาบ (fast fill) และแบบละเอียด (slow fill) ด้วยการควบคุมกับชุดกระบอกสูบ 2 ชุด ซึ่งปลายของชุดกระบอกสูบทั้งสองจะเชื่อมต่อกับเพลาหมุนของแผ่นกั้น เพื่อควบคุมการไหลของเม็ดผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 3 ถึง 5

รูปที่ 3 ลักษณะการทำงานของชุดกระบอกสูบและตำแหน่ง ของแผ่นกั้นในตำแหน่งหยุดเติม

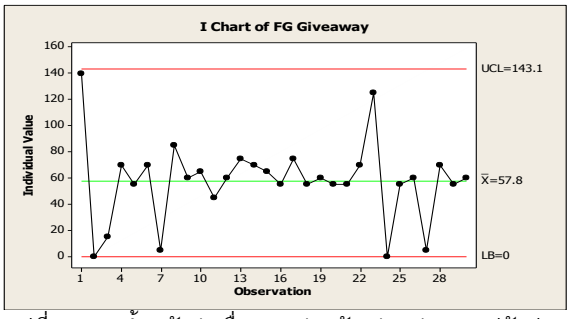
รูปที่ 4 ลักษณะการทำงานของชุดกระบอกสูบและตำแหน่ง ของแผ่นกั้นในตำแหน่งเติมแบบหยาบ

รูปที่ 5 ลักษณะการทำงานของชุดกระบอกสูบและตำแหน่ง ของแผ่นกั้น ในตำแหน่งเติมแบบละเอียด

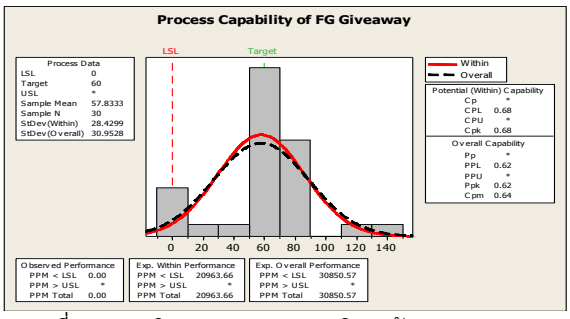
หลังจากชั่งน้ำหนักได้ตามค่าที่กำหนด ด้วยการควบคุมของเครื่องควบคุมเชิงตรรก เม็ดผลิตภัณฑ์จะถูกปล่อยลงสู่ถุงบรรจุภัณฑ์ ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 แสดงค่า PL1 และ PL2 ที่ตั้งไว้ใน
เครื่องควบคุมเชิงตรรกรุ่นเดิม

จากการวิเคราะห์เพื่อทำการแก้ไขปัญหาน้ำหนัก ค่าเผื่อในการบรรจุถุงที่มากเกินไป มีการทดลองเก็บตัวอย่างจากการทำงานด้วยสภาพเครื่องจักรปัจจุบัน พบว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักค่าเผื่อ สูงมากที่ 30.95 กรัม ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักค่าเผื่อเท่ากับ 57.83.กรัม.โดยเฉพาะบางถุงไม่มีน้ำหนักค่าเผื่อ ดังแสดงในรูปที่ 7 ถึง 8 ต้องมีการปรับปรุงเครื่องจักรให้ อยู่สภาพพร้อมใช้งาน ก่อนที่เริ่มการทดลอง



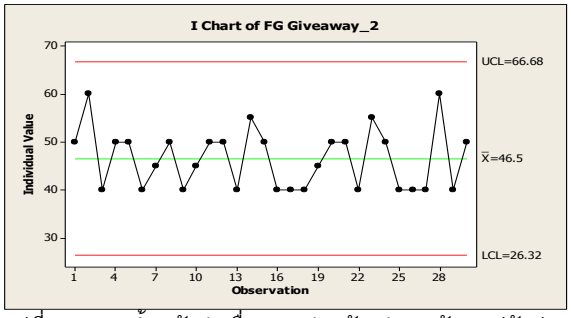
รูปที่ 7 แสดงน้ำหนักค่าเผื่อของแต่ละตัวอย่าง ก่อนการปรับปรุงเครื่องจักร



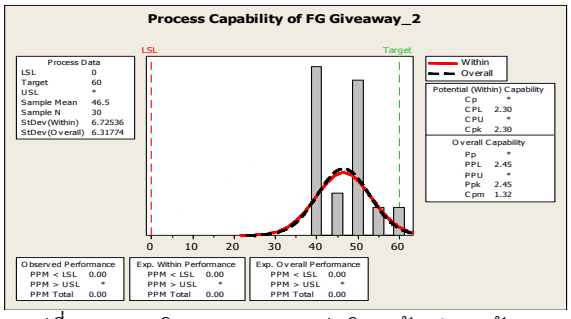
รูปที่ 8 แผนภูมิการกระจายแบบปกติของตัวอย่าง ก่อนการปรับปรุงเครื่องจักร

หลังจากได้มีการปรับปรุงเครื่องจักรให้กลับมาอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน และเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องควบคุม เชิงตรรกเป็นรุ่นใหม่ (รูปที่ 9) ที่มีความแม่นยำในการตรวจวัด เก็บข้อมูลเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงโดยใช้ค่าสภาวะควบคุมเครื่องจักรค่าเดิม ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักค่าเผื่อลดลงเหลือ.30.95.กรัม ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักค่าเผื่อเท่ากับ 46.5 กรัม ดังรูปที่ 10 ถึง 11

รูปที่ 9 ชุดอุปกรณ์เครื่องควบคุมเชิงตรรกเครื่องใหม่ที่นำมาใช้งาน



รูปที่ 10 แสดงน้ำหนักค่าเผื่อของแต่ละตัวอย่าง หลังการปรับปรุงเครื่องจักร



รูปที่ 11 แผนภูมิการกระจายแบบปกติของตัวอย่าง หลังการปรับปรุงเครื่องจักร

3.3 การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล เต็มรูปแบบ (Full Factorial Design)

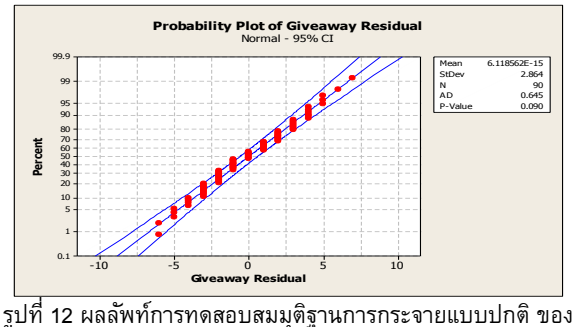
นำปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง 3 ปัจจัย คือแรงดันลมที่ใช้ในการบังคับกระบอกสูบสำหรับ แผ่นกั้นการเติมที่ 4.5, 5.0 และ 5.5 บาร์, ค่าน้ำหนัก การเติมแบบละเอียดที่ 4, 6 และ 8 กก. และค่าน้ำหนัก ค่าเผื่อที่.0.02.และ 0.03 กก. นำมาออกแบบการทดลอง แบบ

Full.Factorial ทำการทดลองทั้งหมด 18 การทดลอง และทดลองซ้ำ 5 ซ้ำ รวมเป็น 18 x 5 = 90 การทดลอง โดยได้กำหนดค่าระดับนัยสำคัญ α ที่ 0.05 เพื่อทดลองหาจุดที่เหมาะสมกับการบรรจุถุงที่ดีที่สุด

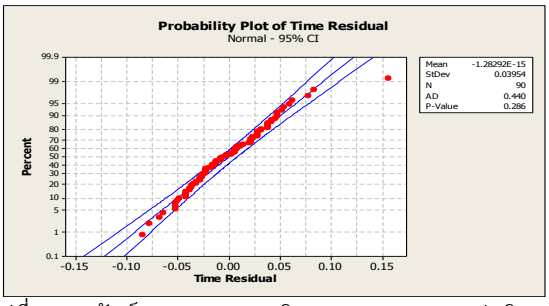
4. ผลของการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองทางสถิติ

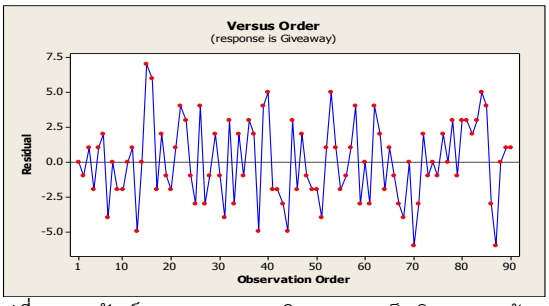
ตรวจสอบคุณสมบัติข้อมูล สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้มีคุณสมบัติครบทั้ง 3 ประการ คือ ความเป็นปกติของข้อมูล ความมีอิสระของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน ดังแสดงในรูปที่ 12 ถึง 17



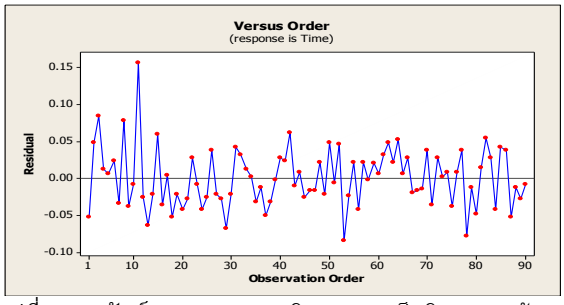
รูปที่ 12 ผลลัพท์การทดสอบสมมุติฐานการกระจายแบบปกติ ของน้ำหนักค่าเผื่อ



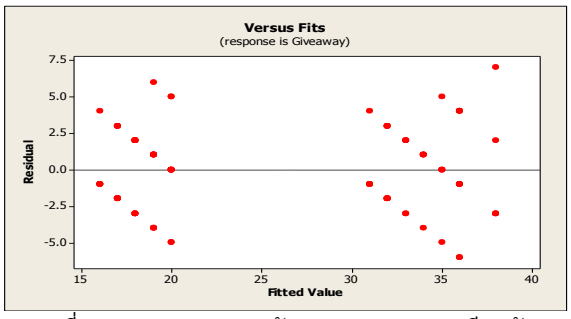
รูปที่ 13 ผลลัพท์การทดสอบสมมุติฐานการกระจายแบบปกติ ของเวลาที่ใช้ในการบรรจุถุง



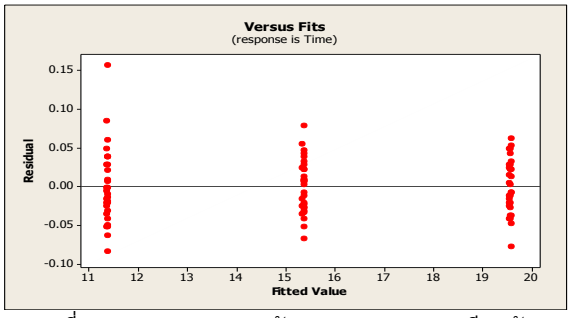
รูปที่ 14 ผลลัพท์การทดสอบสมมุติฐานความเป็นอิสระ ของข้อมูลน้ำหนักค่าเผื่อ



รูปที่ 15 ผลลัพท์การทดสอบสมมุติฐานความเป็นอิสระ ของข้อมูลเวลาที่ใช้ในการบรรจุถุง



รูปที่ 16 แสดงการกระจายตัวของค่า Residuals เทียบกับค่า Fitted Values ของน้ำหนักค่าเผื่อ



รูปที่ 17 แสดงการกระจายตัวของค่า Residuals เทียบกับค่า Fitted Values ของเวลาที่ใช้บรรจุถุง

นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) การมีอิทธิพลร่วม (Interaction) ที่มีผลต่อน้ำหนักค่าเผื่อ และเวลาที่ใช้ในการบรรจุถุง โดยใช้โปรมแกรม Minitab 16 กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% พบว่าค่าน้ำหนักที่ใช้วิธีการเติมแบบละเอียดและ ค่าน้ำหนักค่าเผื่อ เป็นปัจจัยหลัก 2 ปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 สรุปว่าค่าน้ำหนักในการเติมแบบละเอียด และค่าน้ำหนักค่าเผื่อ มีผลต่อน้ำหนักค่าเผื่อที่ได้จากการ บรรจุจริง ส่วนความดันลมของกระบอกสูบ มีค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าไม่มีผลต่อน้ำหนักค่าเผื่อ และค่า P-Value ของอิทธิพลร่วม

ระหว่างปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย มีค่ามากกว่า 0.05 สรุปได้ว่าปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย เป็น ปัยจัยที่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน ส่วนเวลาในการบรรจุ พบว่าค่าน้ำหนักในการเติมแบบละเอียด เป็นปัจจัยหลัก เพียงปัจจัยเดียวที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 สามารถ สรุปได้ว่าค่าน้ำหนักในการเติมแบบละเอียดมีผลต่อเวลา ที่ใช้ในการบรรจุถุง ทำการทดสอบความเพียงพอของจำนวนตัวอย่าง การทดลอง.พบว่าจำนวนตัวอย่างต้องการเพียง 36 ข้อมูล หรือทำการทดลองซ้ำเพียงแค่.2.ซ้ำ.ก็เพียงพอแล้ว ซึ่งในการทดลองจริงทำการทดลองซ้ำ.5.ซ้ำ.ได้จำนวนข้อมูลทั้งสิ้น 90 ข้อมูล

5. สรุป

ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักค่าเผื่อในการบรรจุถุงโดยตรง คือ ค่าน้ำหนักในการเติมแบบละเอียดและ ค่าน้ำหนักค่าเผื่อ ส่วนความดันลมไม่มีผลต่อน้ำหนัก ค่าเผื่อ และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเวลาที่ใช้ในการบรรจุ คือค่าน้ำหนักในการเติมแบบละเอียด แต่เมื่อคำนวณหา อัตราการบรรจุถุงต่ำสุด เทียบจากเวลาจากการทดลอง ที่ใช้มากสุด พบว่ามากกว่าประสิทธิภาพการผลิตจริง จึงไม่ต้องทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มอัตราการบรรจุอีก

เอกสารอ้างอิง

[1] Müller A, Coloring of Plastics, 1st ed. Germay : Solingen, c2003.

[2] วชิรพงษ์ สาลีสิงห์, ปฏิวัติกระบวนการทำงานด้วยเทคนิค Six Sigma, บริษัทศิริวัฒนา อินเตอร์พริ้น จำกัดมหาชน, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2548.

[3] ชาติชาย อัศดรศักดิ์ และพัชราภรณ์ เนียมมณี, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, พิมพ์ครั้งที่ 7, 2548.

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออายุการใช้งานเข็มเจาะรู ในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่อง

Factors Affecting Punch Life in Progressive Die

ธันวา เหล่าสินชัย นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร*
ศูนย์นวัตกรรมสำหรับวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์และการยศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

Tunva Laosinchai, Nantakrit Yodpijit*
Center for Innovation in Human Factors Engineering and Ergonomics (CIHFE^2)
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), Bangsue, Bangkok 10800
E-mail: nantakrit@gmail.com*, ntk@kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

เครื่องมือตัดมีความสำคัญในหลายอุตสหกรรมการผลิต เช่น เครื่องกลึง เครื่องตัด เครื่องปั๊ม และอุปกรณ์ตัดอื่นๆ ในการใช้งานเครื่องมือตัดที่เสื่อมสภาพจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพและมีความเสี่ยงสูงที่จะทำให้เครื่องมือตัดเกิดเสียหาย อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดจะแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมของการทำงาน วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อการยืดอายุการใช้งานเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่อง ที่ใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม และส่งผลต่ออายุการใช้งานของเข็มเจาะรู ซึ่งมีปัจจัยหลักทั้งหมด 3 ปัจจัย ที่ 3 ระดับ (3^3 Factorial Design) มีการกำหนดระดับปัจจัยเพื่อทดลองดังนี้ เข็มเจาะรูที่ทำจากวัสดุ HSS SKH51 และSKD11 ผ่านกรรมวิธีเคลือบผิวด้วย CVD, PVD และไม่ผ่านกรรมวิธีเคลือบผิว ที่ความเร็วรอบ 35 40 และ45 รอบต่อนาที โดยทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้งที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการทดลองสรุปได้ว่า อายุการใช้งานเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่องมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้วัสดุ SKD11 ซึ่งผ่านกรรมวิธีเคลือบผิวด้วย PVD และ ที่ระดับความเร็วรอบที่ 35 รอบต่อนาที ทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ 1,144,000 บาทต่อปี

คำหลัก เข็มเจาะรู แม่พิมพ์แบบต่อเนื่อง การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทรอเรียล ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

Abstract

Cutting tools are very important for many manufacturing industries. Examples of cutting tools include lathe, machine presses, and cutting devices. Machine operations using a deteriorated cutting tool often lead to poor product quality performance and high risk of tool damage. The life cycle of machine tool varies upon operating conditions. The purpose of the current study is to lengthen the life cycle of the punch in the progressive die using in an automotive parts manufacturer. A full factorial experimental design (3^3) is employed to investigate the optimal factors and levels in conditions of punch and die continuous usage. Three factors with three levels (1) punching materials with HSS, SKH51 and SKD11, (2) coating processes with uncoating, CVD coating, and PVD coating, and (3) punching speeds with 35, 40, and 45 strokes/minute at three replicates are tested at the 95% confidence level. Findings from the study reveal that the maximum punch life cycle is found when using SKD11 with PVD coating at 35 strokes/minute. As a result, the production cost can be saved 1,144,000 THB annually.

Keywords: Punch, progressive die, full factorial experimental design, automotive parts

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการแข่งขันทางธุรกิจในภาคอุตสาหกรรม มากมายดังนั้นธุรกิจต่างๆ จึงต้องมีกลยุทธ์รองรับกับปัญหาต่างๆ เพื่อในเกิดความมุ่งมั่นและพัฒนาสู่ความเป็นผู้นำในด้านการผลิต โดยตัวแปรสำคัญคือ ลูกค้า ดังนั้นการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้ดีนั้นยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยการควบคุมการผลิต และการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง เพื่อหาวิธีการลดต้นทุนการผลิต ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมที่เลือกทำการศึกษาคือ บริษัท ไทยออโตทูลส์ แอนด์ดาย จำกัด (Thai Auto Tools And Die, Co, Ltd) เป็นโรงงานที่ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ให้กับบริษัทประกอบรถยนต์รายใหญ่หลายราย ทั้งนี้การผลิตชิ้นส่วนรถยนต์นั้น จะใช้แม่พิมพ์โลหะในการผลิตในชิ้นส่วนต่างๆ ของรถยนต์ งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ งานแม่พิมพ์โลหะของปัญหาอายุการใช้งานของเข็มเจาะรู เพื่อที่จะเพิ่มอายุการใช้งานเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่อง โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กำหนดระดับปัจจัยที่ 3 ระดับ มีทั้งหมด 3 ปัจจัย (วัสดุของเข็มเจาะรู กระบวนการเคลือบผิว ความเร็วรอบ) และทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ชิ้นงานมีความหนา 5 มม. กำหนดช่องว่างคมตัดที่ 0.1 มม. ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการขึ้นรูปโลหะ

กระบวนการขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming Process) คือกระบวนการผลิต ประเภทหนึ่งที่เปลี่ยนรูปร่างของวัตถุดิบ ให้เป็นผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นงานที่มีรูปร่างตามต้องการโดยใช้แม่พิมพ์หรือเครื่องมือเฉพาะ (Die หรือ Forming) ในการขึ้นรูปในขณะที่วัตถุดิบอยู่ในสภาวะของแข็งโดยไม่มีการเสียเศษ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในของวัสดุนั้นๆ ทางวิชาการเรียกกระบวนการนี้ว่า งานขึ้นรูปโลหะ หรืองานเปลี่ยนรูปโลหะในช่วงการเปลี่ยนรูปถาวร เพื่อให้ได้ชิ้นงานตามต้องการ [1]

2.2 ชนิดของแม่พิมพ์ตัด

แม่พิมพ์ประเภทนี้ใช้ในการตัดแยกส่วนโลหะออกจากกัน จะเรียกแม่พิมพ์ประเภทนี้ เรียกตามลักษณะงาน ในงานวิจัยนี้เป็นการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้แม่พิมพ์ต่อเนื่อง (Progressive Die) จะเป็นแม่พิมพ์ที่มีมากกว่า 1 สถานี ชิ้นงานจะถูกป้อนต่อเนื่อง ผ่านครั้งละสถานีในระยะเท่าๆกันจะได้รูปร่างชิ้นงานตามที่ออกแบบไว้ [2]

2.3 เครื่องมือทางสถิติ

2.3.1 การออกแบบการทดลอง

การทดลองให้มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ดีที่สุด จะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์มาช่วยในการทดลอง คือ การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ เป็นกระบวนการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ จะทำให้สามารถหาข้อสรุปที่มีเหตุผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในทางสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่มี และถ้าปัญหาที่สนใจเกี่ยวกับความผิดพลาดในการทดลอง วิธีทางสถิติเป็นวิธีที่บ่งบอกได้ว่าการวิเคราะห์ผลการทดลองนั่นมีความผิดพลาดมากน้อยเท่าใด [3]

2.3.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

การทดลองส่วนใหญ่ในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาผลของปัจจัย ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีนี้ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลอง ในปี1997 Alauddin, BaradieTool ใช้หลักการการออกแบบการทดลองหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่ออายุการใช้งานของมีดกลึงมากที่สุดในมีดกลึงที่ผลิตด้วยเหล็ก high strength steel (290 BHN) และจะเห็นได้ว่า ความเร็วที่ใช้ในการผลิต มีผลต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือตัดในการผลิต [4] ในปี 1998 Yang , Tarng มีการใช้หลักการทางสถิติมาช่วยในการปรับตั้งพารามิเตอร์เพื่อหาจุดที่เหมาะสมในการกลึงชิ้นงานและสามารถเพิ่มอายุการใช้งานมีดกลึงและยังสามารถลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้ [5] ในปี1998

Choudhury, Baradie ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองในการหาระดับปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานดอกกัด (milling) และเพื่อหาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการใช้งานดอกกัด ที่ผลิตด้วยเหล็ก ชนิด(190 BHN) และจะเห็นได้ว่า ความเร็วรอบมีผลต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือตัดที่ใช้ในงานผลิตเช่นกัน [6]

2.4 กระบวนการเคลือบผิว

การเคลือบผิวเป็นกรรมวิธีหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของผิวชิ้นงานให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ซึ่งทำโดยการนำเอาวัสดุอื่นๆที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่า เหมาะสมกว่ามาเคลือบลงบนผิวของชิ้นงานเพื่อช่วยปรับปรุงสภาวะในการทำงานให้เหมาะสม อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มขีดจำกัดในการทำงานในด้านต่างๆมากขึ้น เช่น ลดค่าความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส เพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอ เพิ่มค่าความแข็งบริเวณผิวของชิ้นงาน ฯ ตัวอย่างของการเคลือบผิวในประเทศไทยที่นิยมใช้งานกัน ได้แก่ การเคลือบผิวด้วยกระบวนการไอเคมี (Chemical Vapour Deposition : CVD) และการเคลือบผิวด้วยกระบวนการไอกายภาพ (Physical Vapour Deposition : PVD) เป็นต้น [7]วัสดุทำแม่พิมพ์ ใช้สารเคลือบผิวแม่พิมพ์ทั้งกรรมวิธี CVD และ PVD ที่นำมาใช้กับงานตัดหรือเจาะรู สามารถให้คุณสมบัติที่ดีในเรื่องป้องกันการเกิดยึดติด ความต้านทานต่อรอยขีดข่วน ในปี 1987, Steinmann P.A. [8] ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติและความสัมพันธ์ระหว่างแรงในการเกาะยึด แรงเสียดทาน และการสึกหรอของสารเคลือบผิวหลาย ๆ ชนิดทั้งกรรมวิธี CVD และ PVD

3. การดำเนินงานวิจัย

3.1 การกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัย

ขั้นตอนนี้เป็นการระดมความคิดของทีมวิศวกรที่ควบคุมการผลิตและผู้วิจัย จากนั้นนำเครื่องมือที่ใช้ในทางสถิติ เรียกว่า แผนภาพเหตุและผล มาช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุในเบื้องต้น เพื่อหาระดับปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานเข็มเจาะรูจะนำมาวิเคราะห์ และจากที่ได้ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานเข็มเจาะรูจากการระดมความคิดของทีมวิศวกรและผู้วิจัยแล้ว ทางผู้วิจัยจะนำปัจจัยต่างๆที่ได้มาทำการ วิเคราะห์อีกครั้งด้วยเครื่องมือการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ เพื่อให้ได้ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานเข็มเจาะรูมากที่สุด หลังจากที่ได้ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานเข็มเจาะรูแล้วผู้วิจัยจะนำปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์มาทำการออกแบบการทดลองและทำการเก็บผลการทดลองในลำดับต่อไป

จากสาเหตุในสาเหตุของปัญหาปัญหาอายุการใช้งานเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่อง ในสาเหตุวัสดุและเครื่องจักรเห็นว่า มี 5 ปัจจัย คือ วัสดุที่ใช้ทำเข็มเจาะรู, กรรมวิธีเคลือบผิว, ตั้งความเร็ว Spm ไม่เหมาะสม, Clearance ไม่เหมาะสมและ ชิ้นงานมีความหนาเกินไป ที่ได้มาจากการระดมความคิดของทีมวิศวกร และหลังจากที่ได้สาเหตุมาแล้วเพื่อความแม่นยำในการเลือกปัจจัยผู้วิจัยจึงได้นำเครื่องมือทางการตรวจสอบคุณภาพมาใช้ คือ การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis) เพื่อให้คะแนนความเสี่ยง (RPN) ของสาเหตุ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางคะแนนจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ

ลำดับ	สาเหตุ	ระดับ RPN
1	วัสดุที่ใช้ทำเข็มเจาะรู	576
2	กรรมวิธีการเคือบผิว	576
3	ตั้งความเร็ว Spm ไม่เหมาะสม	504
4	Clearance ไม่เหมาะสม	392
5	การป้อนเข้าเครื่องไม่ขนาน	112
6	ไม่ได้ใช้ตามคู่มือปฏิบัติงาน	84
7	ไม่ทำความสะอาดก่อนการผลิต	80
8	ชิ้นงานมีความหนาเกินไป	54
9	ความเร็วในการป้อนไม่เหมาะสม	48
10	การติดตั้งแม่พิมพ์ไม่ถูกต้อง	48
11	น้ำหนักที่ใช้ไม่เหมาะสม	42
12	ความสูงที่ใช้ (Die High) ไม่เหมาะสม	28
13	ชิ้นงานมีขนาดที่ไม่เท่ากัน	14

จากดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่ามีการเรียงลำดับคะแนนที่มีผลกระทบต่ออายุการใช้งานเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่อง คะแนนที่ได้มาจากการให้คะแนนของทีมวิศวกร และช่างเทคนิคที่ปฏิบัติหน้างาน หลังจากนั้นผู้วิจัยจำนำคะแนนที่ได้มาทำการคัดกรอง จึง

ได้ปัจจัยที่มีคะแนนสูงที่สุดมาทำการออกแบบการทดลอง มีดังนี้

ปัจจัยที่ 1 คือวัสดุที่ใช้ทำเข็มเจาะรู ในปัจจุบันทางโรงงานที่ทำการศึกษาใช้เป็น HSS (High speed steel)

ปัจจัยที่ 2 คือกรรมวิธีการเคลือบผิว ในปัจจุบันทางโรงงานที่ทำการศึกษาได้ใช้เป็นวิธี CVD

ปัจจัยที่ 3 คือ ความเร็วที่ใช้ไม่เหมาะสม ในปัจจุบันใช้ 35 รอบต่อนาที (Storke) เครื่องจักรสามารถปรับตั้งได้ 35-70 รอบ ต่อนาที เครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง เป็นเครื่องจักรที่สามารถเพิ่มขึ้นได้ครั้งละ 5 รอบ ดั่งนั้น การออกแบบการทดลองจะทำการปรับเพิ่มขึ้นทีละ 5 รอบ

การกำหนดระดับปัจจัย จากการศึกษาการยืดอายุการใช้งานเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่อง ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลเดิมในปัจจุบัน ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และกำหนดระดับปัจจัยและออกแบบการทดลอง ในสภาวะปัจจุบันโรงงานที่ทำการศึกษาได้เลือกใช้ตามความเหมาะสมเดิม ในงานวิจัยนี้มีการใช้ Clearance ที่แตกต่างจากเดิม ดังนั้นอายุการใช้งานของเข็มเจาะรูจึงลดลง ผู้วิจึงได้เลือกระดับปัจจัยจากที่โรงงานใช้เดิมคือ วัสดุเข็มเจาะรู HSS (High speed steel) เคลือบผิวด้วยกระบวนการ CVD และใช้ความเร็วรอบที่ 35 รอบต่อนาที และทำการออกแบบทดลอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

ปัจจัย	ระดับปัจจัย			หน่วย
	(+1)	(0)	(-1)	
วัสดุเข็มเจาะรู	HSS	SKH51	SHD11	-
กระบวนการเคลือบผิว	Non-Coated	CVD	PVD	-
ความเร็วรอบ	35	40	45	Spm

จากตารางที่ 2 มีปัจจัยที่ 1 วัสดุที่ใช้ทำเข็มเจาะรู มีระดับปัจจัย 3 ระดับ คือ เหล็ก HSS (High speed steel) เหล็ก SKH51 และ เหล็ก SKD11 ในระดับปัจจัยทั้งสาม ได้เลือกมาจากการใช้งานในโรงงานที่ทำการศึกษามีการใช้งานเข็มเจาะรูในปัจจุบัน

ปัจจัยที่ 2 กระบวนการเคลือบผิว มีระดับปัจจัย 3 ระดับ คือ กระบวนการ CVD Coating กับ กระบวนการ PVD Coating และเพื่อให้เห็นความแตกต่างของการชุปจึงเลือกอีกระดับคือ ไม่ผ่านการชุบเคลือบผิว การเลือกระดับปัจจัยทั้งสองได้มาจากการศึกษาในโรงงานที่ทำการศึกษาและการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [6] มีการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการเคลือบ ทั้งสองแบบทั้ง CVD และ PVD

ปัจจัยที่ 3 ความเร็วรอบ (Storke) มีระดับปัจจัย 3 ระดับ คือ 35 40 และ 45 รอบต่อนาที ผลการตอบสนองจากการทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ อายุการใช้งานเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่อง จากการศึกษาข้อมูลของเครื่องจักร มีระดับที่ 35 -70 แต่มีการปรับตั้งได้ครั้งละ 5 ระดับ จึงทำการเลือกจาก การใช้งานปัจจุบันที่ 35 รอบต่อนาทีและเลือกอีกปรับขึ้น 2 ระดับ

3.2 การออกแบบการทดลอง

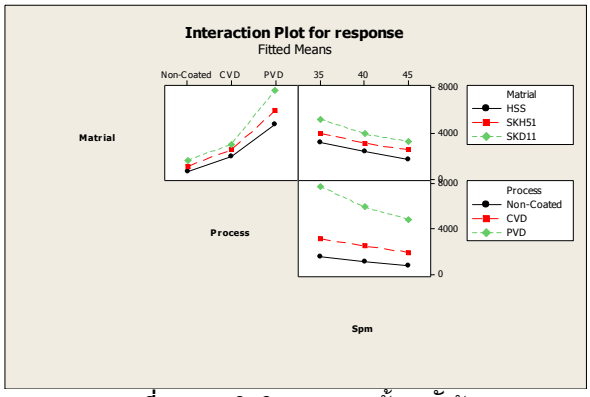
การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสสามระดับ (3^k Factorial Design) ประกอบไปด้วย 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ และเพื่อความแม่นยำในการทดลอง จะทำการทดลอง 3 การทำซ้ำ ดังนั้นการทดลองนี้ จะต้องมีผลการทดลอง 3x3x3x3=81 การทดลอง

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากที่ได้ทำการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลการผลิตตามปัจจัยที่ตั้งไว้ เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่องให้มีอายุการใช้งานมากที่สุด จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนในการทดลอง (ANOVA) การตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง (Model adequacy checking) และการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย (Response optimization) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูล

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลจะพบว่าทั้ง 3 ปัจจัย ประกอบไปด้วย วัสดุที่ใช้ทำเข็มเจาะรู กระบวนการเคลือบผิว และความเร็วรอบ โดยสามารถพิจาราณาประกอบกับแกราฟอิทธิพลร่วม ซึ่งยืนยันได้ว่าปัจจัยทั้งหมดมีแนวโน้มของเส้นกราฟที่จะตัดกันดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย

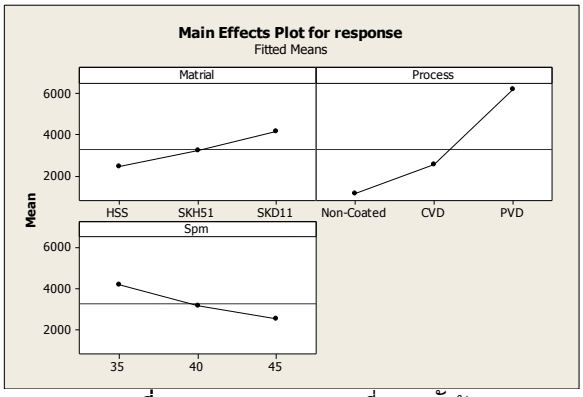
หลังจากที่ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลแล้ว ผู้วิจัยจะนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจะทำการตรวจสอบโดยใช้การวิเคราะห์ค่าส่วนตกค้าง (Residual) ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูล ซึ่งค่าส่วนตกค้างจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distributed) ค่าความแปรปรวนของค่าส่วนตกค้างของปัจจัยต่าง ๆ จะต้องมีค่าคงที่ (Constant) และค่าส่วนตกค้างต้องมีการกระจายตัวแบบสุ่ม (Randomization) โดยผลการตรวจสอบการทดลองทั้งหมดพิจารณาได้จากค่า P-value ซึ่งพบว่ามีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการกระจายตัวแบบปกติ ข้อมูลไม่มีแนวโน้มไปทางลบหรือทางบวก จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และความแปรปรวนของค่าส่วนตกค้างของข้อมูลมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความถูกต้องและเหมาะสม ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการหาระดับที่เหมาะสมที่สุดเพื่อทำให้เข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่องมีอายุการใช้งานสูงสุดสำหรับกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

4.3 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย

ผู้วิจัยได้ใช้ฟังก์ชั่นการหาค่าตอบสนองที่ดีที่สุดเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่องมีอายุการใช้งานสูงสุด โดยกำหนดช่วงของค่าตอบสนองตามที่ทางโรงงานต้องการซึ่งก็คือ ค่าต่ำสุดและ ค่ากลาง เท่ากับ 3,000 ชิ้น และ 9,000 ชิ้น ตามลำดับ เนื่องจากอายุการใช้งานเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่องในปัจจุบันสามารถผลิตได้สูงสุดประมาณ 3,000 ชิ้น แต่ทางโรงงานมีความต้องการปรับปรุงให้อายุการใช้งานเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่องสามารถผลิตได้สูงสุดถึง 9,000 ชิ้น หลังจากนี้จำนำกราฟแสดงผลกระทบค่าเฉลี่ยของปัจจัยเพื่อแสดงให้เห็นระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดเพื่อยืดอายุการใช้งานเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่องแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงผลกระทบค่าเฉลี่ยของปัจจัย

จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าระดับปัจจัยที่มีผลทำให้อายุการใช้งานเข็มเจาะรูแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่องนั้น คือ เมื่อใช้วัสดุ SKD11 ที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวด้วย PVD และใช้ความเร็วรอบที่ 35 รอบต่อนาที

5.สรุปผลการทดลอง

ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำให้อายุการใช้งานเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่องในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ คือ เข็มเจาะรูที่ทำจากวัสดุ SKD11 ที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิว PVD และที่ความเร็วรอบ 35 รอบต่อนาที ได้ผลการทดลองคือเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่องในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์มีอายุการใช้งานเฉลี่ยเท่ากับ 9,581 ชิ้น

หลังจากที่ได้ผลการทดลองในข้างต้นผู้วิจัยได้ทำการคำนวนค่าใช้จ่ายต่อการเปลี่ยนเข็มเจาะรู 1 ครั้ง จากเข็มเจาะรูก่อนปรับปรุงที่ทำจากวัสดุ HSS ผ่านกระบวนการเคลือบผิว CVD มีราคา 950 บาทต่อ ชิ้น มีอายุการใช้งานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ประมาณ 1,850 ถึง 1,950 ชิ้น และเข็มเจาะรูหลังปรับปรุงที่ทำจากวัสดุ SKD11 ผ่านกระบวนการเคลือบ

ผิว PVD มีราคา 750 บาท แต่มีอายุการใช้งานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ประมาณ 9,500 ถึง 9,600 ชิ้นและในการเปลี่ยนเข็มเจาะรูในแต่ละครั้งมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 1,500 บาทต่อชั่วโมง ดังแสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงอายุการใช้งานเข็มเจาะรูในแม่พิมพ์ตัดแบบต่อเนื่องในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในตารางที่ 3 เมื่อในหนึ่งสัปดาห์ต้องการผลิตชิ้นงานประมาณ 10,000 ชิ้น

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเข็มเจาะรู

เข็มเจาะรู	ราคา (บาท/ชิ้น)	จำนวน (ชิ้น)	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)	ราคารวม (บาท)
HSS – PVD	950	5	15	27,250
SKD11 - PVD	750	1	3	5,250
ผลต่าง				22,000

ดังนั้นหากต้องการผลิตชิ้นงาน 10,000 ชิ้น เข็มเจาะรูหลังปรับปรุงจะใช้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าเข็มเจาะรูก่อนปรับปรุง 22,000 บาท ดังนั้นหากโรงงานที่ทำการศึกษาทำการผลิตชิ้นงานดังกล่าวด้วยเข็มเจาะรูที่ทำจากวัสดุ SKD11 ที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิว PVD และที่ความเร็วรอบ 35 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 1 ปี (52 สัปดาห์) โรงงานที่ทำการศึกษาจะมีกำไรเพิ่มขึ้นประมาณ 1,144,000 บาทต่อปี

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ไทยออโต้ทูลส์ แอนด์ ดาย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล และวัสดุทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ทุนอุดหนุนบางส่วนสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] K. Lange, “Handbook of Metal Forming”, Society Manufacturing Engineer, 1985

[2] D.E. Eary, XE.A. Reed, “Techniques of pressworking Sheet Metal”, Prentice-Hall, New Jersey, 1947

[3] D.C., Montgomery, Design and Analysis of Experiments, 8th ed, International student version : John Wiley & Sons,Inc 2009

[4] M. Alauddin, M.A. El BaradieTool “life model for end milling steel (190 BHN)” Journal of Materials Processing Technology 68 (1997) 50 59

[5] W.H. Yang, Y.S. Tarng, “Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method” Journal of Materials Processing Technology 84 (1998) 122–129

[6] I.A. Choudhury, M.A. El-Baradie “Tool-life prediction model by design of experiments for turning high strength steel (290 BHN)” Journal of Materials Processing Technology 77 (1998) 319–326

[7] Mitterer, C., Holler, F., Reitberger, D. and R. Kullmer 2003,“Industrial Applications of PACVD Hard Coatings”, Journal of Surface and Coatings Technology, Vol. 163 – 164, pp. 716 – 722.

[8] Steinmann P.A., 1987, “Adhesion Testing By The Scratch Test Method: The Influence of Intrinsic and Extrinsic Parameters on The Critical Load”, Journal of Thin Solid Films, Vol. 154, Issues 1-2, pp. 333-349.

กลุ่มที่ 2

Logistics and Supply Chain Management

การวางแผนความต้องการพัสดุคงคลังสำหรับอุปกรณ์อากาศยานประเภทหมุนเวียน

Material Requirement Planning for Aircraft Rotable Components

ปภาดา สุวรรณมณี* ศุภรัชชัย วรรัตน์
ภาควิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ กรุงเทพมหานคร 10210 E-mail: wewe.precious@gmail.com*,vorarat@dpu.ac.th

Paphada Suwanmanee*, Suparatchai Vorarat
Department of Engineering Management, Faculty of Engineering
Dhurakij Pundit University, Bangkok, 10210, E-mail: wewe.precious@gmail.com*,vorarat@dpu.ac.th

บทคัดย่อ

เนื่องจากการบินไทยมีแบบของเครื่องบินที่หลากหลาย อีกทั้งอุปกรณ์อากาศยานสามารถถูกนำมาใช้ในการซ่อมบำรุงได้กับเครื่องบินมากกว่า 2 แบบ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดความซับซ้อนในการพยากรณ์ความต้องการอุปกรณ์อากาศยานในงานซ่อมบำรุงอากาศยานแบบ Unscheduled (เป็นงานที่เกิดขึ้นจากข้อชำรุดหรือข้อบกพร่องของเครื่องบินที่ต้องการแก้ไขอย่างทันทีทันใด) ซึ่งความต้องการอะไหล่ในการซ่อมสำหรับงานประเภทนี้มีความแปรปรวนค่อนข้างสูง และทำให้เกิดอัตรา Cannibalization (คือ การนำชิ้นส่วนของเครื่องบินลำหนึ่งมาซ่อมเครื่องบินอีกลำหนึ่ง) ที่สูงขึ้นในการซ่อมบำรุงอากาศยานในระดับปฏิบัติการลานจอด จากปัญหาการขาดแคลนอุปกรณ์อากาศยานจากการเบิกจ่ายจากคลังพัสดุ Cannibalization จึงเป็นวิธีการเดียวในการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าโดยการไปนำอุปกรณ์อากาศยานที่ติดตั้งอยู่บนอากาศยานที่ไม่ได้ทำการบิน ณ ขณะนั้น มาติดตั้งแทนอุปกรณ์ที่เสียของอากาศยานที่กำลังจะทำการบิน ซึ่งการปฏิบัติงานเช่นนี้ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในการบินและความสะดวกสบายของผู้โดยสารภายในห้องโดยสาร ขอบเขตการวิจัยครั้งนี้จึงนำเสนอวิธีการพยากรณ์ความต้องการอะไหล่พัสดุโดยใช้วิธี Croston แบบต่างๆ ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่าการพยากรณ์โดยใช้เทคนิคอนุกรมเวลาแบบดั้งเดิม (Traditional Time Series) อีกทั้งตัวแบบ Heuristic Solution Approach ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้แทนตัวแบบ EOQ และผลจากการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน MAPE จากการพยากรณ์แสดงให้เห็นว่าวิธี Croston มีค่า MAPE เกิดขึ้นน้อยกว่า 18% ส่วนต้นทุนรวมของพัสดุคงคลังที่คำนวณได้จากวิธี Heuristic solution Approach พิสูจน์ให้เห็นว่าอุปกรณ์อากาศยานชนิดใดที่มีความต้องการที่มีค่าเป็นศูนย์เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ไม่เหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้วิธี Silver Meal ดังนั้นการเลือกใช้วิธี Least Unit Cost เป็นทางเลือกที่ดีกว่า ซึ่งทำให้ต้นทุนรวมมีค่าลดลง 10% โดยเฉลี่ย

คำหลัก การวางแผนความต้องการ, การพยากรณ์, อุปกรณ์อากาศยาน, อุปกรณ์หมุนเวียน, ชิ้นส่วนที่ใช้แทนกันได้

Abstract

Due to the airline operating with many types of aircraft in each fleet (Airbus and Boeing) and components common use more than one aircraft type, these reasons make difficult in demand forecasting for unscheduled maintenance and result in cannibalization level increment at Line Maintenance. Because of component shortage from store, Cannibalization is a method to resolve problem promptly by removing

installed part from nonscheduled aircraft then reinstall to scheduled aircraft. The practices will not effect on aircraft safety for flight and passenger comfort. The scope for this study presents new forecasting method, Croston Series, which accuracy is higher than Traditional Time Series methods. Including to Heuristic solution Approach will be applied in place of EOQ model. Finally, Croston is the best way to implement with error (MAPE) less than 18%. For inventory policy, the difference of total cost between Silver Meal (SM) and Least Unit Cost (LUC) was proved that component with high frequency of zero demand is not suitable for applying SM method, LUC is better way with reducing error 10% on the average.

Keywords: requirement planning, forecasting, croston, aircraft components, rotable components, interchangeable parts, cannibalization

1. บทนำ

การบริหารองค์กรเพื่อเพิ่มศักยภาพความสามารถในการแข่งขัน ส่วนใหญ่แล้วมาจากการกำหนดกลยุทธ์ในด้านต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ด้านการเงิน, ด้านลูกค้า, ด้านกระบวนการภายใน หรือแม้กระทั่งด้านความสามารถในการเรียนรู้ และเมื่อพิจารณาโดยเฉพาะเจาะจงในส่วนของกระบวนการภายใน พัสดุคงคลังนับว่าเป็นประเด็นที่มีความสำคัญมากที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการทำกำไร ดังนั้นการกำหนดนโยบายแผนงาน และวิธีการในการควบคุมพัสดุคงคลัง จึงต้องร่วมมือกันวิเคราะห์ทั่วทั้งองค์กร [1]

จากการพิจารณา 20 ธุรกิจที่แตกต่างกันพบว่าพัสดุคงคลังส่วนเกินมีมูลค่าประมาณ 10 เปอร์เซนต์ ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด เกิดจากการวางแผนและควบคุมการสั่งซื้อที่ใช้ในการควบคุมพัสดุคงคลังที่ไม่เหมาะสม เช่น การกำหนดปริมาณสินค้าคงคลังสำรอง (Safety stock) ที่สามารถรองรับความต้องการที่ไม่แน่นอน (Uncertainty demand) การวางแผนการเติมเต็มพัสดุคงคลังคงเหลือเพื่อรักษาระดับพัสดุคงคลังหมุนเวียน (Cycle stock) และการควบคุมความน่าจะเป็นในการเกิดพัสดุคงคลังส่วนเกิน (Overage Inventory) ด้วยเหตุนี้ถ้าในแต่ละธุรกิจให้ความสำคัญกับเรื่องนี้มากขึ้น ย่อมจะนำธุรกิจนั้นๆไปสู่ประสบความสำเร็จอย่างเป็นที่น่าพอใจ [2]

การพยากรณ์ของคงคลังแนวใหม่ที่ประยุกต์ใช้กับอะไหล่พัสดุ มักจะถูกนำมาใช้กับธุรกิจการบิน ยานยนต์ทหาร และเทคโนโลยีสารสารเทศ จากรายงานพบว่ามูลค่าของของคงคลังหรือชิ้นส่วนอะไหล่เหล่านี้มีมูลค่ามากกว่าอุตสาหกรรมทั่วไปมากถึง 60% ที่ผ่านมาธุรกิจเหล่านี้พยายามบริหารจัดการกับความต้องการที่ไม่แน่นอนซึ่งมีอิทธิพลมาจากหลายเหตุปัจจัย การพยากรณ์ด้วยวิธีดั้งเดิมอย่างง่าย อย่างเช่น Simple Exponential Smoothing และ Moving Average จึงไม่เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้ ต่อมาจึงมีวิธีการพยากรณ์ความต้องการแบบ Croston ซึ่งมีการประยุกต์ใช้หลักการของ Exponential Smoothing กับความต้องการที่เกิดขึ้น และกับช่วงเวลาระหว่างความต้องการ และสัดส่วนของค่าประมาณ 2 ค่านี้ สามารถนำมาพยากรณ์ความต้องล่วงหน้าต่อคาบเวลาซึ่งมีความแม่นยำสูงกว่า [3]

ที่ผ่านมาบริษัทการบินไทยมีนโยบายด้านการจัดซื้ออากาศยานจากหลายบริษัทผู้ผลิต ซึ่งมีทั้ง Airbus และ Boeing ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้การพยากรณ์ปริมาณการเบิกใช้อุปกรณ์อากาศยานมีความยุ่งยาก อีกทั้งระบบการวางแผนความต้องการอะไหล่พัสดุและการติดตามอุปกรณ์อากาศยานหลังการซ่อมจากแหล่งซ่อมเพื่อเติมเต็มระดับพัสดุคงคลังที่มีอยู่ไม่เข้มงวดเหมาะสมเพียงพอทำให้ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของฝ่ายซ่อมในระดับปฏิบัติการลานจอดหรือ Line Maintenance ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาได้ทันที

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะของอุปสงค์ (Demand) [4]

ลักษณะของอุปสงค์ (Demand) มีอยู่หลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับแต่ละประเภทของสินค้า ดังนั้น การจะเลือกใช้เทคนิคการพยากรณ์อุปสงค์ให้ผลแม่นยำสูงสุด ผู้พยากรณ์จึงควรพิจารณาถึงลักษณะของอุปสงค์ด้วยว่ามี

ลักษณะเป็นเช่นไรแล้วจึงค่อยพิจารณาเลือกวิธีที่เหมาะสมต่อไป

Perpetual Demand คือ อุปสงค์ของสินค้าที่มีความต้องการอย่างต่อเนื่องไปยังอนาคต ไม่มีที่สิ้นสุด ตัวอย่างของสินค้าที่มีอุปสงค์แบบนี้ได้แก่ สินค้าอุปโภค บริโภค ที่มีความจำเป็นต้องใช้ในการดำรงชีวิต เช่น ข้าว น้ำตาล สบู่ น้ำมันเป็นต้น

Seasonal Demand คือ อุปสงค์ที่มีปริมาณมากเฉพาะบางช่วงเวลา ซึ่งส่วนใหญ่คือในช่วงฤดูกาล และจะมีปริมาณน้อยในช่วงนอกฤดูกาล เช่น เสื้อกันหนาว ร่ม ชุดนักเรียน เป็นต้น

Lumpy Demand คือ อุปสงค์ที่มีความแปรปรวนสูง กล่าวคือ เป็นอุปสงค์ที่มีช่วงกว้างมาก และไม่แน่นอนซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบน (Standard Deviation, σ) และค่าเฉลี่ย (Mean) ของอุปสงค์ในอดีตหาก 3 เท่าของค่าความเบี่ยงเบนของอุปสงค์มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยของอุปสงค์แล้ว ($3\sigma \geq$ Mean) จะถือได้ว่าสินค้าชนิดนั้นมีอุปสงค์แบบ Lumpy ซึ่งมีความแปรปรวนสูง และยากต่อการคาดการณ์นั่นเอง

Regular Demand คือ อุปสงค์ที่ไม่มีลักษณะเป็น Lumpy Demand หรือ 3 เท่าของค่าความเบี่ยงเบนของอุปสงค์มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของอุปสงค์ ($3\sigma <$ Mean) ซึ่งมักจะเป็นสินค้าที่มีความต้องการใช้ค่อนข้างแน่นอนสม่ำเสมอและคาดการณ์ได้ง่าย

Terminating Demand คือ อุปสงค์ที่ลักษณะตรงกันข้ามกับ Perpetual Demand ซึ่งเป็นอุปสงค์ที่จะมีขนาดลดลงเรื่อยๆ จนมีค่าเท่ากับศูนย์ในอนาคต และจะไม่มีความต้องการสินค้านั้นๆ อีกเลยตลอดไป เช่น สินค้าของที่ระลึกในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิก จะเห็นได้ว่าสินค้าประเภทนี้ เมื่อผลิตออกมาแล้วจะจำหน่ายได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น และจะไม่มีความต้องการอีกเลยหลังจากหมดการแข่งขันกีฬา นอกจากนี้ เมื่อมีเทศกาลกีฬาโอลิมปิกครั้งต่อไป สินค้าเหล่านี้ไม่สามารถนำมาจำหน่ายได้อีก เนื่องจากลูกค้าก็ต้องการของที่ระลึกรูปแบบใหม่ๆ

2.2 เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ

วิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative Forecasting Methods) จะใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์บนพื้นฐานของข้อมูล ปริมาณความต้องการที่เก็บรวบรวมไว้ในอดีต (Historical Data) รวมทั้งข้อมูลที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ เพื่อใช้ในการพยากรณ์ โดยจะจำแนกวิธีการพยากรณ์ออกเป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ (1) การพยากรณ์ด้วยเทคนิคอนุกรมเวลา(Time Series Forecasting) ซึ่งจะมีข้อสมมุติที่ว่า ค่าพยากรณ์ที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับข้อมูลที่ผ่านมาในอดีต ดังนั้นวิธีการนี้จึงจะใช้เฉพาะข้อมูลเชิงปริมาณที่เก็บรวบรวมไว้ในอดีตมาพยากรณ์ และ (2) การพยากรณ์เชิงสาเหตุ(Causal or Associating Forecasting) จะสมมุติว่าปัจจัยอื่น ๆ ตั้งแต่ 1 ตัวแปรขึ้นไป (ตัวแปรอิสระ) มีความสัมพันธ์กับปริมาณความต้องการ ซึ่งจะนำเข้ามาใช้ในตัวแทนที่จะพยากรณ์ความต้องการในอนาคตเนื่องจากการพยากรณ์เชิงปริมาณนั้นขึ้นกับข้อมูลในอดีต ดังนั้นค่าการพยากรณ์จะมีความเชื่อถือลดลงเมื่อระยะเวลาการพยากรณ์เพิ่มขึ้น [5]

2.3 เทคนิคการพยากรณ์โดยวิธี Croston แบบต่างๆ

หลักฐานแน่นอนที่แสดงว่า วิธี Croston (ซึ่งใช้กับ Erlang distribution) จะมีความแตกต่างจากวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปแนนเชียล (ใช้กับ Normal distribution) ที่ใช้ในการควบคุมพัสดุคงคลัง วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปแนนเชียลไม่เหมาะกับการนำไปใช้กับความต้องการที่ไม่สม่ำเสมอ ขณะที่การพยากรณ์ด้วยวิธี Croston มีความเหมาะสมมากกว่า โดยจะมีการปรับปรุงการพยากรณ์จะเกิดขึ้นเมื่อมีความต้องการเกิดขึ้นจริงหรือมีการตัดจ่าย และจะไม่ขึ้นกับช่วงเวลา Segerstedt (2004) ได้ปรับปรุงวิธี Croston ให้ใช้งานในเชิงปฏิบัติได้มากขึ้นกับพัสดุที่มีอัตราการใช้น้อยและอัตราการใช้ปกติ โดยลดตัวแปรที่ไม่จำเป็นแล้วเรียกรูปแบบใหม่นี้ว่า Modified Croston Precedure เนื่องจากทั้งการพยากรณ์และความแปรปรวนจะไม่ถูกปรับปรุงในช่วงไม่มีความต้องการ ในกระบวนการทำนายจะไม่มีการเตือนในการออกใบสั่งซื้อ แต่ถ้าความต้องการเกิดขึ้นทุกๆวัน Modified Croston Precedure จะมีลักษณะที่สอดคล้องกับวิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปแนนเชียล โดยการประยุกต์ใช้ Modified Croston Procedure จะสามารถทำนายอัตราความต้องการในวันถัดไปได้และสำหรับช่วงเวลานำที่ยาว ผลจากการรวมอัตราความต้องการที่มีการกระจายแบบ Erlang จะมีการกระจายที่มีลักษณะคล้ายกับการกระจายแบบปกติ [6]

กำหนดให้ [3]

z_t คือ ความต้องการที่เกิดขึ้นในแต่ละคาบเวลา t

$\hat{z}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ความต้องการในคาบเวลาถัดไป $t+1$

z^* คือ ค่าความต้องการเฉลี่ยต่อคาบเวลา

p_t คือ ระยะเวลาระหว่างความต้องการที่มีค่าเป็นบวก

$\hat{p}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ช่วงเวลาของความต้องการ

q คือ จำนวนคาบเวลาที่เกิดขึ้นตั้งแต่ค่าความต้องการสุดท้าย

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ปรับให้เรียบ

$If \;\; z_t = 0 \;\; then$

$\hat{z}_t = \hat{z}_{t-1}$

$\hat{p}_t = \hat{p}_{t-1}$

$else$

$\hat{z}_t = \hat{z}_{t-1} + \alpha(\hat{z}_t - \hat{z}_{t-1})$

$\hat{p}_t = \hat{p}_{t-1} + \alpha(q - \hat{p}_{t-1})$

$q = 1$

End

$$z^* = \hat{z}_t/\hat{p}_t \qquad (1)$$

นักวิจัยมากมายพิสูจน์ได้ว่าวิธี Croston(1972) ดังสมการที่(1) มีผลเป็นที่น่าพอใจดีกว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีอนุกรมเวลาแบบดั้งเดิม ในเวลาต่อมา Syntetos and Boylan(2001) เห็นว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยวิธี Crostonมีแนวโน้มเป็นบวก จึงได้มีการปรับปรุงดังสมการที่ (2) [3]

$$z^* = (1 - \alpha/2) \cdot \hat{z}_t/\hat{p}_t \qquad (2)$$

หลังจากนั้น Leven and Segerstedt(2004) ก็ได้พยายามปรับปรุงวิธี Croston ให้ใช้ได้กับทั้งรายการของคงคลังที่หมุนเวียนสูงและต่ำ ดังสมการที่ (3) [3]

$$z^* = \alpha \cdot \hat{z}_t/\hat{p}_t + (1 - \alpha) \cdot z^*{}_{t-1} \qquad (3)$$

2.4 การวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ [5]

เป้าหมายสูงสุดในการพยากรณ์ที่ผู้เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ทุก ๆ ฝ่ายต้องการ คือการได้ค่าพยากรณ์ที่มีความถูกต้องและไม่เอียงเฉ และค่าความถูกต้องของการพยากรณ์จะมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ (Forecast Error หรือ e_t) การวัดความถูกต้องของการพยากรณ์จะเป็นการตรวจสอบว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์แตกต่างจากค่าจริงมากน้อยเพียงใด ณ ช่วงเวลา t เดียวกันใด ๆ หากค่าจริงแตกต่างจากค่าพยากรณ์มาก ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ก็จะมีค่าสูง สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4)

$$e_t = Y_t - F_t \qquad (4)$$

เมื่อ e_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ณ ช่วงเวลา t

Y_t คือ ค่าปริมาณความต้องการจริง ณ ช่วงเวลา t

F_t คือ ค่าพยากรณ์ ณ ช่วงเวลา t

โดยปกติแล้วมักจะนิยมวัดค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ในระยะยาว ซึ่งวัดจากค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์สะสม โดยเปรียบเทียบค่าข้อมูลจริงในอดีตและค่าที่ได้จากตัวแบบการพยากรณ์ ในการเลือกใช้ตัวแบบการพยากรณ์จึงควรพิจารณาว่าการพยากรณ์ที่ได้นั้นมีความถูกต้องสูง หรืออีกนัยหนึ่งก็คือมีค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ต่ำนั่นเอง วิธีวัดค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่นิยมใช้มีดังนี้

2.4.1ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation: MAD) มีสูตรในการคำนวณดังสมการที่ (5)

$$MAD = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}|e_t| \qquad (5)$$

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย หรือ MAD เป็นตัวชี้วัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย นอกจากนั้นยังนิยมนำมาใช้วัดเพื่อเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ โดยผู้พยากรณ์ควรจะเลือกสมการพยากรณ์ที่มีค่า MAD ต่ำสุด

2.4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE) มีสูตรในการคำนวณดัง

สมการที่ (6)

$$MSE = \frac{\sum e_t^2}{n} \quad (6)$$

การวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายอีกวิธีหนึ่ง คือ การหาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย หรือ MSE ซึ่งค่านี้ใช้หลักการเดียวกันกับการหาค่าความแปรปรวนในทางสถิติ การวัดค่าความคลาดเคลื่อนด้วยวิธีนี้จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สูง เนื่องจากเป็นการนำความคลาดเคลื่อน ณ เวลาใด ๆมายกกำลังสองก่อนที่จะหาผลรวมแล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่ง

2.4.3 ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) มีสูตรในการคำนวณดังสมการที่ (7)

$$MAPE = \frac{\sum\left|\frac{e_t}{Y_t}\right| * 100}{n} \quad (7)$$

การวัดความถูกต้องของการพยากรณ์โดยใช้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย หรือ MAPE นั้นจะมีข้อได้เปรียบกว่าอีก 2 วิธีที่กล่าวมา เนื่องจากเป็นการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับค่าข้อมูลจริง จึงสามารถที่จะใช้ในการประเมินการพยากรณ์ได้เหมาะสมกว่า

2.5 การควบคุมสินค้าคงคลังกรณีมีความต้องการไม่คงที่

$$VC = \frac{Est.var\ D}{\bar{d}^2} \quad (8)$$

โดยที่ $Est.var\ D$ คือ ประมาณค่าความแปรปรวนของ D และ d คือ ความต้องการที่เกิดขึ้นตามช่วงเวลาต่าง ๆ

หลังจากทดสอบความเหมาะสมของรูปแบบความต้องการด้วย Peterson – Silver Rule ดังสมการที่ (8) แล้วปรากฏว่าผลลัพธ์ (ค่าVC) มีค่ามากกว่า 0.20 แสดงว่าความต้องการไม่คงที่ และไม่สามารถจะใช้สูตร EOQ ในการคำนวณได้ แต่จะสามารถที่จะใช้วิธีอื่นๆ ในการคำนวณ เช่น การใช้เทคนิคเชิงฮิวริสติกส์ (Heuristic Methods) เทคนิคเชิงฮิวริสติกส์จะใช้ก็ต่อเมื่อไม่สามารถที่จะคำนวณให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงได้ (Sipper และ Bulfin,1998) [7]

2.5.1 Silver-Meal method (SM)

เป็นวิธีการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อโดยพิจารณาการสั่งซื้อตามความต้องการในแต่ละช่วงเวลาล่วงหน้า เพื่อที่จะหาปริมาณการสั่งซื้อที่มีต้นทุนต่ำสุดในช่วงเวลารวมที่ทำการสั่งซื้อล่วงหน้า โดยต้นทุนที่ทำการพิจารณาจะเป็นต้นทุนแปรผัน (variable cost) อันประกอบด้วยต้นทุนการสั่งซื้อกับต้นทุนในการจัดเก็บสินค้า [8]

หลักการของวิธีนี้พิจารณาต้นทุนเฉลี่ยต่อช่วงเวลา จะทำการสั่งซื้อในช่วงเวลาที่ต้นทุนเฉลี่ยต่อช่วงเวลาเพิ่มขึ้น แต่มีข้อเสียคือไม่เหมาะสมในกรณีที่อุปสงค์มีค่าลดลงตลอด และกรณีที่มีหลายช่วงเวลาที่อุปสงค์มีค่าเป็นศูนย์ (Silver and Meal, 1973) [9]

2.5.2 Least Unit Costing (LUC)

เป็นวิธีการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่คล้ายคลึงกับ Silver-Meal method แต่จะทำการพิจารณาต้นทุนแปรผันเฉลี่ยต่อหน่วย แทนการพิจารณาต้นทุนแปรผันเฉลี่ยต่อช่วงเวลา (Sipper และ Bulfin, 1998) [8]

3. วิธีวิจัย

3.1 ประชากรที่ใช้ศึกษา

การแบ่งประเภทอะไหล่พัสดุโดยระบบ ABC เริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูล Cannibalization ของอุปกรณ์อากาศยานชนิด Serialized Rotable Component (คืออุปกรณ์ที่สำคัญมีราคาแพง การซ่อมบำรุงนั้นจะต้องทำการซ่อมบำรุงใน Workshop และต้องการเครื่องมืออุปกรณ์ในการซ่อมบำรุงเฉพาะแบบที่ต่างๆกัน อุปกรณ์เหล่านี้สามารถทำการซ่อมบำรุงเมื่อเกิดชำรุด โดยการเปลี่ยนหรือซ่อมแซมชิ้นส่วนที่ชำรุด โดยการเปลี่ยนหรือซ่อมแซมชิ้นส่วนที่ชำรุดและหมุนเวียนกลับมาใช้งานได้ใหม่ โดยมีคุณภาพและประสิทธิภาพการใช้งานคงเดิมและได้รับการกำหนดหมายเลขประจำตัว แต่ละชิ้นของอุปกรณ์) ในอดีตและมูลค่าพัสดุคงคลังในแต่ละเดือนที่ผ่านมาตั้งแต่ปี 2010- 2014 จากระบบ SAP เพื่อจัดลำดับความสำคัญของกลุ่มอะไหล่พัสดุ เป็นการแสดงให้เห็นถึงระดับปริมาณการขาดแคลนของอะไหล่พัสดุแต่ละรายการว่ามีมากน้อยเพียงใด แล้วนำรายการพัสดุที่อยู่ใน Class “A” มาทำการวิจัย

3.2 แผนการดำเนินการวิจัย

3.2.1 เก็บรวมรวมข้อมูลความต้องการอะไหล่พัสดุ Class “A” ที่เกิดขึ้นจริงตั้งแต่ปี 2011 จนถึงปี 2014 จากงาน Unscheduled Maintenance

3.2.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุปสงค์กับ สามเท่าของค่าความเบี่ยงเบนของอุปสงค์เพื่อระบุลักษณะของอุปสงค์ และหาการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลความต้องการของรายการพัสดุแต่ละรายการโดยใช้โปรแกรม Crystal Ball

3.2.3 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน MAPE จากการพยากรณ์โดยวิธี Croston กับ การพยากรณ์ด้วยเทคนิคอนุกรมเวลาแบบต่างๆ ที่คำนวณได้จากโปรแกรม Win QSB แล้วนำวิธีการพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดมาประยุกต์ใช้งาน

3.2.4 ประยุกต์ใช้ตัวแบบอะไหล่พัสดุคงคลังได้อย่างเหมาะสมกับรูปแบบของความต้องการ เพื่อบริหารจัดการต้นทุนพัสดุคงคลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ (จากการประมาณค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการอะไหล่พัสดุไตรมาสที่ 3 ปี 2014 ต้นทุนการสั่งซ่อมต่อครั้งมีค่าเท่ากับ 660.97 บาท และ ต้นทุนการจัดเก็บต่อหน่วยใน 1 ช่วงเวลา มีค่าเท่ากับ 6.60)

4. ผลการวิจัย

4.1 ข้อมูลความต้องการอะไหล่พัสดุ Class “A” ตั้งแต่ปี 2011 จนถึง ปี 2014

ตารางที่ 1 ข้อมูลความต้องการอะไหล่พัสดุปี 2011

รายการพัสดุ	ปริมาณความต้องการพัสดุปี 2011(ชิ้น)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
PT-LCD932U	12	18	13	14	19	21	16	24	14	21	7	12
RD-AA8234-01	5	5	14	13	13	11	4	12	2	4	7	15
465020-03030316	3	3	7	8	6	7	10	8	8	5	4	4
5908975-15	2	3	3	1	4	4	1	4	4	4	2	0
HG1050AD10	3	5	3	0	0	0	2	0	2	0	2	3
RD-AA8034-01	0	1	2	1	0	1	0	4	6	1	0	0
RAI2811M0106	1	1	0	0	2	0	1	1	0	0	2	1
066-50000-2220	0	0	4	0	0	1	0	1	0	0	1	1
978C0000-06	3	2	1	0	0	1	1	2	1	1	0	1
LA2T0G20503B050	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
C12858EA07	1	0	0	1	0	1	2	0	1	1	0	1
C19366AF05	0	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
RD-AA8046-01	4	0	1	3	2	1	1	1	0	0	2	0

ตารางที่ 2 ข้อมูลความต้องการอะไหล่พัสดุปี 2012

รายการพัสดุ	ปริมาณความต้องการพัสดุปี 2012(ชิ้น)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
PT-LCD932U	25	18	14	9	15	12	29	6	13	20	16	25
RD-AA8234-01	10	1	3	9	9	3	8	2	9	6	7	11
465020-03030316	8	6	1	1	1	4	2	9	2	3	5	3
5908975-15	0	1	1	0	0	0	3	0	3	1	3	3
HG1050AD10	1	0	3	1	2	1	0	4	2	0	6	0
RD-AA8034-01	7	3	1	2	0	0	0	1	1	2	0	3
RAI2811M0106	1	1	0	0	0	2	0	0	0	3	5	0
066-50000-2220	0	2	0	0	0	1	1	0	2	2	0	0
978C0000-06	0	0	1	0	1	3	4	1	3	0	0	0
LA2T0G20503B050	0	0	1	0	1	4	4	0	0	0	1	0
C12858EA07	1	1	0	2	0	2	2	0	2	0	0	1
C19366AF05	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2
RD-AA8046-01	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0

ตารางที่ 3 ข้อมูลความต้องการอะไหล่พัสดุปี 2013

รายการพัสดุ	ปริมาณความต้องการพัสดุปี 2013(ชิ้น)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
PT-LCD932U	19	13	16	7	10	12	4	11	8	14	8	8
RD-AA8234-01	7	8	6	7	6	14	8	7	7	7	11	22
465020-03030316	2	7	7	5	4	6	8	4	3	5	5	4
5908975-15	3	1	4	6	1	3	3	0	2	1	2	2
HG1050AD10	0	0	1	0	0	1	3	2	1	2	1	0
RD-AA8034-01	1	4	0	1	0	1	2	3	0	1	0	0
RAI2811M0106	0	1	0	4	0	2	6	1	0	1	6	1
066-50000-2220	3	5	3	2	0	0	2	0	0	2	0	0
978C0000-06	1	1	2	4	0	2	1	0	0	0	0	0
LA2T0G20503B050	2	0	1	0	0	0	0	1	6	2	1	4
C12858EA07	0	0	2	0	0	0	2	1	0	0	0	1
C19366AF05	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RD-AA8046-01	0	0	1	0	1	0	2	0	0	0	1	0

ตารางที่ 4 ข้อมูลความต้องการอะไหล่พัสดุปี 2014

รายการพัสดุ	ปริมาณความต้องการพัสดุปี 2014(ชิ้น)									
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
PT-LCD932U	3	4	6	7	9	10	9	12	11	4
RD-AA8234-01	6	5	19	6	17	16	13	10	10	15
465020-03030316	6	6	3	3	1	2	3	6	5	0
5908975-15	3	5	1	4	1	2	0	0	4	1
HG1050AD10	0	3	1	0	1	1	0	1	1	1
RD-AA8034-01	0	2	0	0	0	0	0	3	2	2
RAI2811M0106	0	0	3	2	1	4	1	4	2	1
066-50000-2220	0	0	6	0	0	1	1	0	0	0
978C0000-06	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0
LA2T0G20503B050	0	1	0	2	0	2	1	0	0	0
C12858EA07	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
C19366AF05	2	0	1	0	1	2	0	0	1	1
RD-AA8046-01	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0

4.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุปสงค์กับ สามเท่าของค่าความเบี่ยงเบนของอุปสงค์ และหาการแจกแจงความน่าจะเป็นของความต้องการรายการพัสดุแต่ละรายการได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลักษณะของอุปสงค์ และการแจกแจงความน่าจะเป็นของความต้องการของรายการพัสดุ

รายการพัสดุ	การแจกแจงความน่าจะเป็น	ค่าความเบี่ยงเบนของอุปสงค์	ค่าเฉลี่ยของอุปสงค์	3xค่าความเบี่ยงเบนของอุปสงค์
PT-LCD932U	Neg.Binomial	6.15	13.00	18.45
RD-AA8234-01	Neg.Binomial	4.68	8.91	14.03
465020-03030316	Poisson	2.43	4.63	7.28
5908975-15	Poisson	1.59	2.09	4.77
HG1050AD10	Poisson	1.44	1.30	4.33
RD-AA8034-01	Not Found	1.63	1.26	4.88
RAI2811M0106	Poisson	1.63	1.33	4.90
066-50000-2220	Poisson	1.42	0.89	4.25
978C0000-06	Poisson	1.20	0.93	3.60
LA2T0G20503B050	Poisson	1.39	0.83	4.16
C12858EA07	Poisson	0.75	0.57	2.25
C19366AF05	Poisson	0.72	0.46	2.16
RD-AA8046-01	Poisson	0.91	0.59	2.73

4.3 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน MAPE ระหว่างวิธีการพยากรณ์ด้วยเทคนิคอนุกรมเวลาแบบต่างๆ กับวิธี Croston ดังตารางที่ 6 และตารางที่ 7

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่า MAPE จากการพยากรณ์วิธีต่างๆ

รายการพัสดุ / วิธีพยากรณ์	PT-LCD932U	RD-AA8234-01	465020-03030316	5908975-15	HG1050AD10	RD-AA8034-01	RAI2811M0106	066-50000-2220	978C0000-06	LA2T0G20503B050	C12858EA07	C19366AF05	RD-AA8046-01
SA	66.2	68.1	81.6	62.2	41.1	51.1	45.3	52.2	37.8	56.4	48.6	69.5	45.7
3-MA	47.8	79.7	68.0	74.1	55.7	77.7	75.0	68.6	64.6	77.1	52.8	65.5	71.5
3-WMA	47.8	79.7	68.0	74.1	55.7	77.7	75.0	68.6	64.6	77.1	52.8	65.5	71.5
3-MAT	63.8	117.3	92.9	134.7	123.6	148.3	189.3	131.7	117.7	104.1	106.5	95.2	125.7
SES	45.1	53.7	53.8	54.4	34.1	53.0	33.5	53.1	49.1	38.7	19.4	66.6	74.2
SEST	45.1	51.9	53.8	54.4	32.5	52.9	33.5	38.3	49.1	38.7	19.4	58.3	72.7
DES	45.3	52.2	53.8	54.4	32.9	57.0	33.5	51.3	47.0	40.2	19.4	64.7	74.5
DEST	45.7	53.5	53.8	54.4	34.7	54.0	33.5	48.7	51.6	41.6	19.4	63.3	75.6
AES	50.6	56.0	53.8	54.4	109.5	100.0	33.5	100.0	133.7	125.0	19.4	100.0	237.3
LR	40.8	68.3	69.1	54.3	34.6	46.9	53.2	42.8	37.1	41.7	46.4	61.9	49.0
HWA	45.1	51.9	53.8	54.4	32.5	52.8	33.5	38.3	49.1	38.6	19.4	58.3	72.7
HWM	45.1	51.9	53.8	54.4	31.6	100.0	33.5	100.0	49.1	38.6	19.4	100.0	58.9
HWA(12)	64.8	76.2	98.8	72.2	84.8	89.5	53.8	55.7	58.5	56.1	37.5	74.6	57.5
HWM(12)	45.1	77.6	103.7	74.3	77.2	81.8	55.1	63.0	58.5	76.8	37.5	76.0	57.5
CROSTON(1972)	5.3	8.4	5.6	13.1	16.6	17.2	18.6	18.2	12.7	15.3	17.2	16.1	17.1
CROSTON(2001)	28.3	38.3	30.1	32.7	19.3	26.1	27.7	20.6	12.7	19.5	18.8	21.5	17.2
CROSTON(2004)	10.0	15.9	11.0	17.9	17.5	18.2	21.2	17.8	13.5	14.2	16.8	15.9	12.5
MIN MAPE	5.3	8.4	5.6	13.1	16.6	17.2	18.6	17.8	12.7	14.2	16.8	15.9	12.5

ตารางที่ 7 สรุปวิธีการพยากรณ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

รายการพัสดุ	วิธีพยากรณ์	ค่า MAPE	ค่า Alpha
PT-LCD932U	Croston(1972)	5.3	0.9
RD-AA8234-01	Croston(1972)	8.4	0.9
465020-03030316	Croston(1972)	5.6	0.9
5908975-15	Croston(1972)	13.1	0.9
HG1050AD10	Croston(1972)	16.6	0.9
RD-AA8034-01	Croston(1972)	17.2	0.9
RAI2811M0106	Croston(1972)	18.6	0.9
066-50000-2220	Croston(1972)	17.8	0.5
978C0000-06	Croston(1972)	12.7	0.9
978C0000-06	Croston(2001)	12.7	0.1
LA2T0G20503B050	Croston(2004)	14.2	0.9
C12858EA07	Croston(2004)	16.8	0.9
C19366AF05	Croston(2004)	15.9	0.9
RD-AA8046-01	Croston(2004)	12.5	0.1

4.4 หาค่าทดสอบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Variability Coefficient: VC) จากข้อมูลปริมาณการเบิกใช้อุปกรณ์อากาศยานเพื่อตรวจสอบว่า ตัวแบบคงคลัง EOQ จะเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้กับแต่ละรายการพัสดุหรือไม่ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 สรุปค่าทดสอบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของความต้องการอะไหล่พัสดุแต่ละรายการ

รายการพัสดุ	ค่า VC
PT-LCD932U	0.22
RD-AA8234-01	0.27
465020-03030316	0.27
5908975-15	0.57
HG1050AD10	1.20
RD-AA8034-01	1.63
RAI2811M0106	1.48
066-50000-2220	2.48
978C0000-06	1.61
LA2T0G20503B050	2.76
C12858EA07	1.72
C19366AF05	2.44
RD-AA8046-01	2.34

4.5 จากค่า VC ที่คำนวณได้ดังตารางที่ 8 ของอะไหล่พัสดุทั้ง 13 รายการ ปรากฏว่ามีค่ามากกว่า 0.2 ทุกรายการ แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบคงคลังแบบ EOQ ไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ เนื่องจากข้อมูลปริมาณการเบิกใช้มีความไม่แน่นอนสูงมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ตัวแบบ Heuristic Solution Approaches

ในที่นี้ตัวแบบ Silver-Meal และ Least Unit Cost จะถูกนำมาประยุกต์ใช้กับรายการพัสดุทั้ง 13 รายการดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบต้นทุนรวมระหว่างตัวแบบ Silver-Meal กับ ตัวแบบ Least Unit Cost

รายการพัสดุ	ต้นทุนรวม (บาท)		% ความแตกต่าง
	LUC	SM	(SM-LUC)
PT-LCD932U	13,172.04	13,079.64	-1%
RD-AA8234-01	11,447.50	10,926.10	-5%
465020-03030316	8,362.39	8,237.96	-2%
5908975-15	6,123.05	6,097.62	0%
RD-AA8034-01	5,297.08	4,936.02	-7%
978C0000-06	3,917.68	3,798.88	-3%
LA2T0G20503B050	4,708.71	4,248.65	-11%
HG1050AD10	4,472.08	4,545.65	2%
RAI2811M0106	4,881.28	4,922.82	1%
066-50000-2220	4,121.31	4,486.25	8%
C12858EA07	3,230.31	3,614.08	11%
C19366AF05	3,329.31	3,864.88	14%
RD-AA8046-01	3,098.31	4,024.25	23%

5. สรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากข้อมูลความต้องการการใช้อุปกรณ์อากาศยานมีการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มชนิดไม่ต่อเนื่อง และอุปสงค์มีลักษณะแปรปรวนสูง (Lumpy demand) ทำให้การพยากรณ์โดยใช้เทคนิคอนุกรมเวลาแบบดั้งเดิมมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าวิธี Croston ค่อนข้างมาก รวมทั้งตัวแบบพัสดุคงคลัง EOQ อย่างง่ายไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ เพื่อประสิทธิภาพในการบริหารจัดการต้นทุนพัสดุคงคลัง ตัวแบบเชิงฮิวริสติกส์จึงเป็นวิธีการที่ดีที่สุด จากการเปรียบเทียบต้นทุนโดยใช้ตัวแบบ Silver-Meal และ Least Unit Cost กับรายการพัสดุแสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์อากาศยานชนิดใดที่มีความต้องการที่มีค่าเป็นศูนย์เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ไม่เหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้วิธี Silver-Meal ดังนั้นการเลือกใช้วิธี Least Unit Cost เป็นทางเลือกที่ทำให้เกิดต้นทุนรวมที่ต่ำกว่า

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ระบบการควบคุมอะไหล่พัสดุคงคลังโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์และนโยบายพัสดุคงคลังที่เหมาะสม เป็นการลดระดับ Cannibalization และปริมาณการจัดเก็บอะไหล่คงคลังที่ไม่จำเป็นที่มีมากเกินไป รวมถึงระบบการแบ่งประเภทอะไหล่พัสดุได้อย่างถูกต้องเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และสามารถแก้ปัญหาได้รวดเร็วอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Zomerdijk, L.G. and Vries, J.D. 2003. An Organizational Perspective on Inventory Control: Theory and a Case Study. International Journal of Production Economic. 81-82: 173-183

[2] Relph, B.G., R.G. and Barrar, P. 2003. Overage Inventory- How does it Occur and Why is it Important?. International Journal of Production Economic. 81-82: 163-171

[3] J, Dyntar. I, Gros. Spare parts distribution system management. The International Journal of Transport & Logistics.

[4] ดร.สถาพร โอภาสานนท์, วารสารบริหารธุรกิจ,ข้อมูลจาก http://www.jba.tbs.tu.ac.th/files/Jba127/Column/JBA127SathapornC.pdf (วันที่สืบค้น 25 ตุลาคม 2557)

[5] เทคนิคการพยากรณ์, โครงการพัฒนาหลักสูตรและการฝึกอบรมโลจิสติกส์และซัพพลายเชน, ข้อมูลจาก http://logisticscorner.com/Docfiles/inventory/Forecasting.pdf (วันที่สืบค้น 15 กันยายน 2557)

[6] Leven,E and Segerstedt, A. 2004. Inventory Control with a Modified Croston Procedure and Erlang Distribution. International Journal of Production Economic. 90: 361-367

[7] พิภพ ลลิตาภรณ์. การบริหารของคงคลังระบบ MRP และ ROP, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2549

[8] ประเภทของการควบคุมสินค้าคงคลัง, ข้อมูลจาก http://logisticscorner.com/Docfiles/inventory/inventmangetype.pdf (วันที่สืบค้น 15 กันยายน 2557)

[9] พรสรวง เฉตรไธสง (2547). ศึกษาเรื่องการกำหนดช่วงเวลาการสั่งซื้อวัตถุดิบ เมื่ออุปสงค์มีค่าไม่คงที่และต้นทุนการสั่งซื้อต่อหน่วยมีค่าไม่แน่นอน วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Transportation Forecasting and Effects on Thailand-Laos Border Crossing Points after Opening of The ASEAN Economic Community

Juangjan Chankrachang and Taweesak Samanchuen
Department of Technology of Information System Management, Faculty of Engineering, Mahidol University, Phutthamonthon, Nakornpathom, 73170,
E-mail: juangjan.cha@student.mahidol.ac.th, taweesak.sam@mahidol.ac.th

Abstract
There are several factors affecting vehicle volumes. When the demand for vehicle increases, transport infrastructure development, such as number of lanes, and highway connection, needs to be prepared in advance. It is necessary to plan and predict traffic flow in the future using existing information. In addition, the opening of the Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) Economic Community (AEC) is another major factor that will cause free movement of population among the AEC countries which will result in an increased demand of vehicles. In this work, the amount of vehicles in Thailand and Laos, traffic flow on the border of Thailand-Laos, effects that may occur after the launch of the AEC, and the ability to handle the volume of Thailand-Laos cross-border vehicles are studied. In order to predict traffic flow, a nonlinear auto regressive with exogenous input (NARX) is utilized. The NARX model can forecast the traffic flow on the border with the lowest mean square error (MSE) of Mukdahan's checkpoint at 1.0724 and the lowest MSE of Chiang Khong's checkpoint at 0.2351. This study can be applied to other Thailand's cross border by adjusting the relative factors depending on each border situation.
Keywords: Forecasting, Traffic, Nonlinear auto regressive with exogenous input

1. Introduction

Thailand is regarded as the center of ASEAN with respect to business, tourism, and so forth. The location of the country provides easy access to various countries in the ASEAN region. The most popular and convenient means of transportation is ground transportation.

Due to an increase in population and other contributing factors, current volume of vehicles has increased steadily every year. In addition, the opening of AEC in 2015 will result in more travels among member countries. Therefore, traffic flow prediction is one of methods that would assist in planning and developing of ground transports as well as traffic routes along the border in the future. The border of Thailand can be classified into three cross border categories, including permanent cross border, temporary cross border and informal cross border. There is inadequate availability of crossing's infrastructure causing congestion and inflexibilities in logistics, freights, and neighborhood tourism, such as Laos, Myanmar, Cambodia, and Malaysia. This work will be focused on Thailand-Laos border, which is also a pathway to Vietnam and China.

NARX is utilized in predicting the traffic flows. Mukdahan and Chiang Khong crossing point are chosen as examples in the study as shown in Figure 1. The information and references used in this work have been compiling from the Office of Transport and Traffic Policy and Planning, Customs Department and other trustworthy websites [1] to acquire the most accurate predictions. It issued as a guide in developing the Thailand borders and also to accommodate the number of vehicles that will be changing after the AEC in the future.

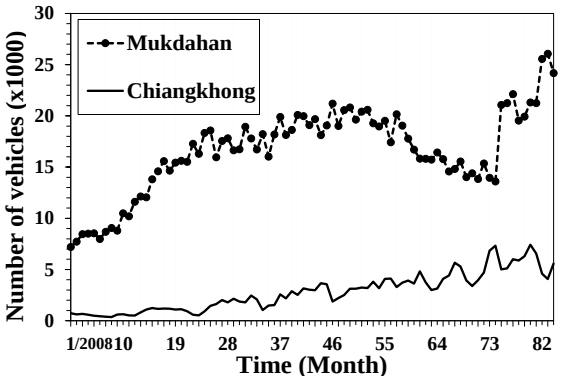


Figure 1 Number of vehicles accessing cross-borders from the year 2008 to 2014

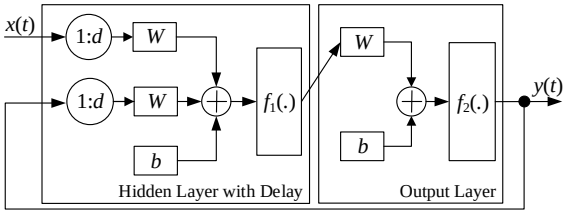


Figure 2 Simple block diagram of NARX

2. Literature Review

2.1 Theory of Time Series Forecasting

Time series refers to information that shows the movement which changes over time as part of an ongoing basis, may be collected monthly, quarterly or annually depending on benefits that will be used. Four components of time series are as follows:

1. Long term trend (*T*) represents movement or change of information in long-term period for example Thailand's electricity consumption, imports of crude oil, etc.

2. Seasonal variation (*S*) refers to seasonal changes which occurred repeatedly in the past one year and have become a pattern, such as rice yield is higher in the first quarter of the year, sales of shopping mall tend to increase at the end of the year. Seasonal variation is measured in the form of seasonal index.

3. Cyclical variation (*C*) refers to movement that follows the cycle. This movement cycles are said to be similar to seasonal variation, but have a longer period of life.

4. Irregular variation (*I*) is a variation of uncertainty which cannot be predicted in advance, such as natural disasters, wars, strikes [2-3].

From the aforementioned components, if Y represents a set of time series data, the simulation model can be divided into 2 types:

1. Additive model is a sum of the four components

$$Y = T + S + C + I. \quad (1)$$

2. Multiplicative model is a product of the four components

$$Y = T \times S \times C \times I. \quad (2)$$

From equations (1) and (2), separation of components can be done in several methods such as autoregressive (AR) models, integrated (I) models, and moving average (MA) models. Moreover, there are also other techniques that do not require a separate component of the signal which are nonlinear autoregressive models (NAR) and NARX. These techniques demand the use of computer to facilitate in solving. In this work, NARX is selected as forecasting methods because external factors are utilized.

2.2 Nonlinear Autoregressive with Exogenous Input

Nonlinear Autoregressive with exogenous input (NARX) is one of the time series forecasting model. NARX model utilizes artificial neural network containing neurons, which model from the work of human brain. The simple block diagram of nonlinear autoregressive models with exogenous input is illustrated in Figure 2 in order to model time series up. From Figure 2, we can see that NARX consists of two layers, i.e., hidden and output layers. In both layers contain transfer functions $f_1(\cdot)$, $f_2(\cdot)$, weight W, bias value b, and tapped delay line with d buffers. These parameters can be any value depending on training process [4].

In the hidden layer with delay, input data $x(t)$ feeds into the tapped delay line and the output of the tapped delay line is weighted with W and becomes an input data of the transfer function $f_1(\cdot)$. The output of transfer function is sent to next layer. In the output layer, the same process with hidden layer is performed except using the different value of $f_2(\cdot)$, W, and b.

2.3 Related Work

There are a few works that focus on the transportation forecasting and NARX. Those works can be summarized as follows.

Wen D. and Siji H. [5] used the grey Verhulst model to describe the development tendency of vehicle population and to forecast the vehicle population in the next 20 years in China. A nonlinear combination forecasting model is backpropagation (BP) neural network. Result of the vehicle population of China is growing up in the next 20 years.

Chuanjin J. and Fugen S. [6] used nonlinear autoregressive with exogenous input and chaotic time series analysis to forecast sunspot. It is compared with BP neural network and ARIMA. This work takes the sunspot number in 310 years from 1700 to 2009 as time series sample. The result shows that forecasting with NARX network is more accurate than BP neural network and ARIMA model.

Teerachai L. [7] used the nonlinear model applies the NARX and polynomial equation for forecasting the latex volume. The model uses correlation of meteorological parameter data such as mean air temperature, mean dew point temperature, and etc. The results are found that the errors are not over ± 5% compared with the real volume of latex.

3. Implementation

3.1 Data Collection

The data used in this work have been compiled from the Office of Transport and Traffic Policy and Planning, Customs Department, Transport Statistics Sub-Division, Planning Division, The World bank, and ASEAN-Japan Transport Partnership. These agencies have collected statistical information on number of vehicles accumulated within the country, values of Gross Domestic Product (GDP) of each country in ASEAN region, number of

vehicles access cross-borders as well as infrastructure and transport of Thailand.

This work is primarily focused on Thailand and Laos, where the variables used in the forecast are 4 input variables, including cumulative number of vehicles in Thailand and Laos, Thailand's GDP per Capita, and Laos' GDP per Capita. The output variable is the number of vehicles access Thailand-Laos border which Mukdahan's checkpoint and Chiang Khong's checkpoint are selected as samples for forecasting. Monthly data from January 2008 to December 2014 are used.

3.2 Transportation Forecasting

This work has applied the NARX for forecasting traffic flow in Thailand-Laos border crossing points. The neural networks which is used in the work will adjust W in accordance to the nodes. The adjustment is based on differences of the output $y(t)$ that was calculated from four input variables and one desired variable by predicting one border at a time.

Data as described in Subsection 3.1 are applied to neural training process of NARX model. In this work, there are four input data sets called "input" and one output data set called "target". These data sets are randomly separated into 3 parts, i.e., training set, validation set, and test set. The training set indicates the neural network to recognize a relationship between the input and output produced by the open-loop model. The validation set is data set for verifying accuracy of the data. The test set is a data set used in neural network testing that have been predicted by neural network. There are various conditions that need to be set beforehand, including number of neurons in the hidden layer, delays, model variations of NARX, number of input, number of target, numbers of training set, validation set, and also test set. The training condition is shown in Table 1. Bayesian regularization is an algorithm approach used in this paper. It is suitable for limited amount of data set, noisy data, and free validation data. This method may be time-consuming than other algorithms [8].

Table 1 Training Conditions

Conditions	Mukdahan	Chiang Khong
Hidden Neurons	10	10
Delay	2	2
NARX Model	Open-loop	Open-loop
Input	84 × 4	84 × 4
Target	84 × 1	84 × 1
Training Set	80%	80%
Validation Set	0%	0%
Test Set	20%	20%

4. Results

After training the NARX model with the condition provided in Table 1, the output of the NARX model is obtained as presented in this section.

4.1 Time-Series Response

Graphs respond to the output and target of the training data and test data by the x-axis represents the number of months of data and the y-axis represents the traffic flow by target and output. These values are similar as seen in Figures 3 and 4.

4.2 Regression

Correlation coefficient (R) is a measure of linear relationship of two variables in this case refers to Target and Output. The value of Mukdahan and Chiang Khong correlation coefficient are 0.96428 and 0.96432, respectively, as shown in Figures 5 and 6.

4.3 Error Autocorrelation

Figures 7 and 8 illustrate error autocorrelation where the y-axis represents the lag and the x-axis represents the correlation. We can see that most of the error autocorrelation values are smaller than the confidence limit value.

4.4 Mean Square Error

The error occurred in the mean square error (MSE) is calculated by the equation 3

$$\text{MSE} = \frac{\Sigma_{i=1}^{N} (T_i - Y_i)^2}{N}, \qquad (3)$$

where

T_i is volume of traffic flow from the target,

Y_i is amount of vehicles calculated by the model,

N is number of data.

The lowest mean square error of Mukdahan's checkpoint is 1.0724 while the lowest mean square error of Chiang Khong's checkpoint is 0.2351.

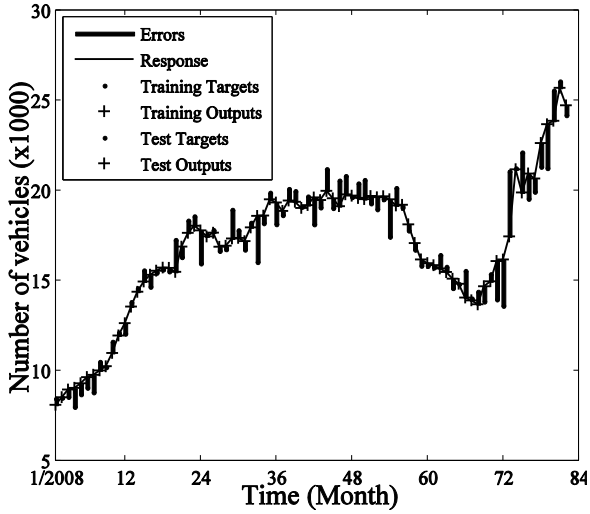


Figure 3 Time-Series response graph of Mukdahan border crossing point

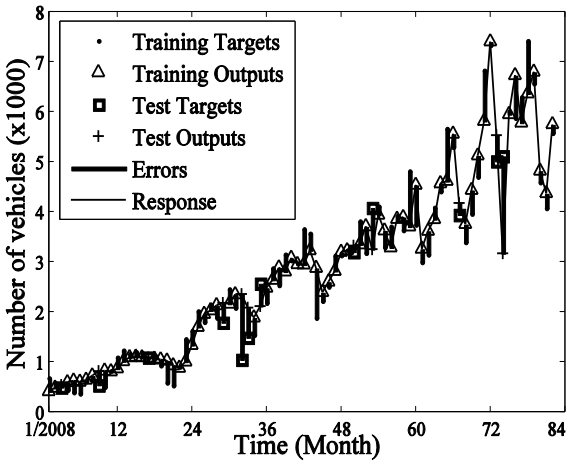


Figure 4 Time-Series response graph of Chiang Khong border crossing point

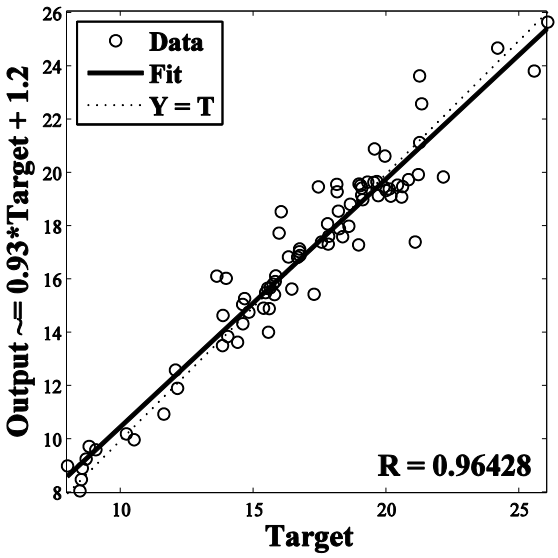


Figure 5 Regression graph of Mukdahan border crossing point

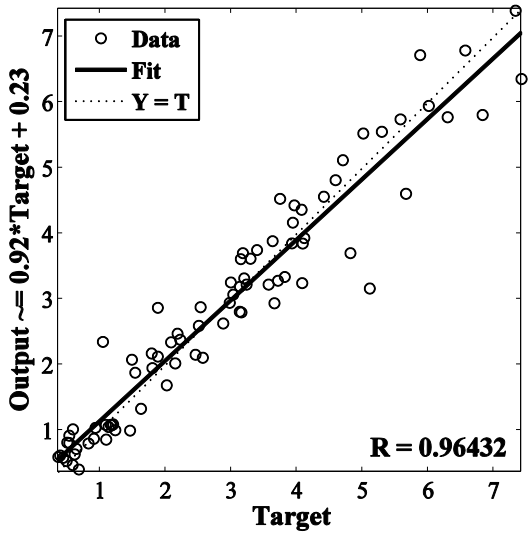


Figure 6 Regression graph of Chiang Khong border crossing point

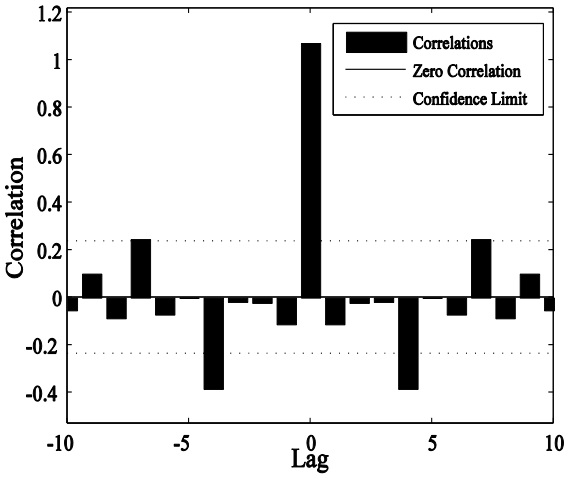


Figure 7 Error autocorrelation function of Mukdahan border crossing point

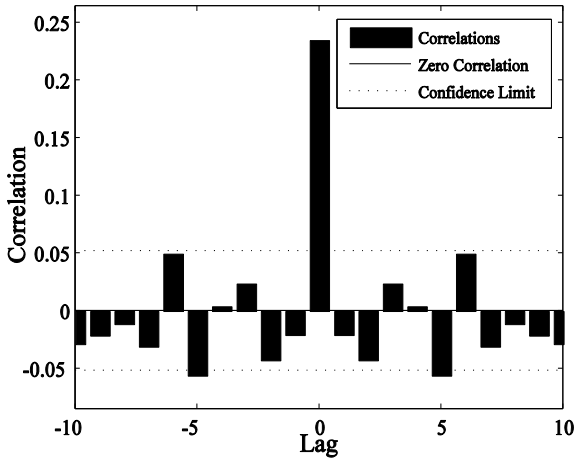


Figure 8 Error autocorrelation function of Chiang Khong border crossing point

5. Effects of AEC to Border Crossing Points

Thailand is a member of AEC. The objective is to establish a single market by having the same rules and regulations. Compared with other members of the AEC, Thailand has advantages in many ways, for example, the location where we are becoming the center of transportation; bordering the most countries in the region as well as becoming a production base of industrial and agricultural products. These strengths make Thailand have a high potential for the AEC economic, i.e., trade and investment. Thus, it is significant to be prepared in opening of the AEC in December 31, 2015.

This section presents examples of impact place on Thailand-Laos borders after opening of the AEC. Based on the information collected from Nong Khai checkpoint, which is a permanent checkpoint with the first Thai-Lao Friendship Bridge connecting to Vientiane, passport holders can pass the immigration. However, those who do not have passport or border pass must be obtained at another office away from the border checkpoint. Nong Khai checkpoint is divided into immigration section and customs vehicles check section. The vehicles check point has three channels for personal vehicle, one channel for bus and coach, and one channel for diplomatic. The immigration procedure takes about 5 minutes per person. The customs vehicles check will take about 15 minutes to inspect one vehicle. Upon completion of these procedures, travelers are now able to cross to the Laos side.

From the foregoing, it is observed that Nong Khai checkpoint is experiencing the following issues:

1. People without passport will be required to obtain border pass at another place; border pass cannot be issued right away at the checkpoint.
2. Customs vehicles check channels are not enough. It may cause delays process if there is a large number of vehicles crossing.
3. People without vehicles will have to queue to buy bus tickets.

The opening of AEC will increase a number of vehicles crossing the borders according to the forecast in Mukdahan's and Chiang Khong's checkpoints which will affect the traffic flow at border crossing points and may be further delay in procedures. Potential of the border today may not be sufficient to accommodate more vehicles that are rising. Therefore, it is necessary to study and improve the border of Thailand to be ready for the near future.

6. Conclusion

This work uses NARX to forecast the traffic flow of Mukdahan and Chiang Khong checkpoints. For Mukdahan's checkpoint results, we can see that graph pattern is consisted only of trend signal. While result of Chiang Khong's checkpoint consisted of trend and seasonal signals.

The correlation coefficient R is equal to 0.96428 and 0.96432. This implies that the target and output has a positive relationship. In addition, the MSE is as low as 1.0724 and 0.2351, holding that the forecast is accurate and correct.

Forecasting of the traffic flow could be the prophet to give benefits to the country to prepare for the improvement and development of the border of Thailand to better devoted in the AEC to come. The forecast using NARX is a new and interesting methodology which can be used to forecasting other constraints.

References

[1] The Office of Transport and Traffic Policy and Planning, Customs Department, Transport Statistics Sub-Division, Planning Division, The World Bank and ASEAN-Japan Transport Partnership, www.otp.go.th, www. customs.go.th, http://apps.dlt.go.th/ statistics_web/statistics.html, http://www. ajtpweb.org (Date Accessed 9 February 2015).

[2] Daoping C., Chinese Automobile Demand Prediction Based on ARIMA

Model, 2011 4th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI), pp. 2197-2201, 2011.

[3] George E. P. B., Gwilym M. J., and Gregory C. R., Time Series Analysis: Forecasting and Control, June 30, 2008.

[4] Ryad Z., Rafael G., and Noureddine Z., Defining and applying prediction performance metrics on a recurrent NARX time series model, Journal Neurocomputing, Vol.73, pp. 2506-2521, 2010.

[5] Wen D., and Siji H., Non-Linear Combined Prediction Model of Medium and Long-Term Civil Vehicle Population of China, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, Vol.10.6, pp. 103-108, December, 2010.

[6] Chuanjin J., and Fugen S., Sunspot Forecasting by Using Chaotic Time-series Analysis and NARX Network, Journal of Computers, Vol.6, pp. 1424-1429, July, 2011.

[7] Teerachai L., Prediction of the Latex Volume by a Nonlinear Auto-Regressive with Exogenous Input Model, 2005.

[8] Yuanchang X., Dominique L., and Yunlong Z., Predicting motor vehicle collisions using Bayesian neural network models: An empirical analysis, Journal of Accident Analysis and Prevention, Vol 39, pp. 922-933, September, 2007.

การวิเคราะห์และออกแบบระบบการวางแผนทรัพยากรองค์กร เพื่อเพิ่มศักยภาพการบริหารจัดการอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดย่อม

: กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด ABC

The Analysis and Design Development using Enterprise Resource Planning (ERP) for Empowerment the Textile SMEs Industrial Management

Case study in ABC Socks, Co, Ltd.

วริษฐา สังข์ทอง, สุวรรณี อัศวกุลชัย*
สาขาวิชาวิศวกรรมธุรกิจ บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400 E-mail: vsungthong@gmail.com*

Varittha Sungthong, Suwannee Adsaakulcha *
Department of Business Engineering, Graduate School,
University of the Thai Chamber of Commerce, Din Daeng, Bangkok 10400, E-mail: vsungthong@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเพิ่มศักยภาพการบริหารจัดการอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดย่อม กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด ABC ซึ่งผู้ผลิตและจำหน่ายถุงเท้า วิธีดำเนินการโดยใช้ทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับโซ่อุปทานแบบลีน (Lean Supply Chain) ในการวิเคราะห์และออกแบบเพื่อการวางแผนทรัพยากรองค์กร (ERP) เพื่อปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจ รวมถึงการวางแผนโซ่อุปทาน และกระบวนการดำเนินงานเพิ่มคุณค่า เช่น การปรับปรุงกระบวนการผลิต การลดรอบเวลา การลดความสูญเปล่า และการลดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า ผลจากการปรับปรุงกระบวนการ ควบคู่กับการวิเคราะห์และออกแบบการวางแผนทรัพยากรองค์กร (ERP) สามารถลดความสูญเสียที่เกิดในกระบวนการทำงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารทรัพยากรองค์กรโดยรวม คิดเป็นร้อยละ 40 นอกจากนั้นการพัฒนาระบบวางแผนทรัพยากรองค์กร ยืดหยุ่นสามารถรองรับกระบวนในเชิงธุรกิจที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว นำไปสู่กระบวนการทางธุรกิจที่มีประสิทธิภาพ กล่าวโดยสรุป ผู้บริหารยอมรับระบบการวางแผนทรัพยากรองค์กร (ERP) ที่พัฒนาขึ้นเอง เนื่องจากสามารถรองรับการบริหารจัดการธุรกิจที่มีการเปลี่ยนแปลงกับการแข่งขันที่รวดเร็วและยั่งยืน

คำหลัก การวางแผนทรัพยากรองค์กร ผู้ผลิตและจำหน่ายถุงเท้า โซ่อุปทานแบบลีน

Abstract

This article aims to enhance the management efficiency of small textile industry case studies in ABC Socks, Co, Ltd. which manufactures and sells socks. The methodology in this study: the analysis and design using enterprise resource planning (ERP) as a tool of based on the theory and principles of supply chain lean. To improve business processes include planning, supply chain and operational processes for value-added such as the production process improvement, reduce cycle time, reduce waste and reducing non value-added activities. The results from this study can demonstrate that the process improvement together with the analysis and design using ERP can reduce the loss in the process. It can be concluded that the overall process can enhance the management efficiency by optimizing the resource management about 40 percent. In addition, the enterprise resource planning development is flexible to support the change in business processes rapidly. Finally, the Executive Management supports the ERP by their own. Moreover, the system supports the competition in business management that change rapidly and sustainability.

Keywords: Enterprise resource planning (ERP), Manufacturer & stocking distributor, Lean Supply Chain

1. บทนำ

บทความนี้แสดงถึงการวิเคราะห์และออกแบบระบบการวางแผนทรัพยากรองค์กร [1] เพื่อเพิ่มศักยภาพการบริหารจัดการอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดย่อม ลดปัญหาและเพิ่มโอกาสให้สามารถรองรับความต้องการสั่งซื้อของลูกค้าได้ทันเวลา และลดของเสียในกระบวนการ โดยปรับกระบวนการต่างๆ ให้ดีขึ้น สร้างระบบงานและกระบวนการทำงานให้ถูกต้อง และมีความยืดหยุ่นเมื่อมีการปรับเปลี่ยนหรือขยายระบบงานให้สามารถทำงานได้ตรงตามกระบวนการทางธุรกิจที่ต้องการ และลดต้นทุนได้ในระยะยาว โดยกรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด ABC ซึ่งเป็นผู้ผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าสิ่งทอถุงเท้า ธุรกิจอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดย่อม ผู้บริหารมีความต้องการพัฒนาองค์กรให้มีประสิทธิภาพมาก

การวางแผนการขาย การผลิต การจัดการสต๊อกสินค้า เป็นเรื่องสำคัญในการบริหารจัดการอย่างยิ่ง โครงสร้างพื้นฐานทางเทคโนโลยีสารสนเทศ (IT Infrastructure) ของบริษัทในประเทศไทยถือเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความสำเร็จในการอิมพลีเม้นต์ ERP จากผลการสำรวจการนำ ERP ไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดกลางขนาดย่อมในประเทศไทย [2] และนอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยความพร้อมต่อการเปลี่ยนแปลงและฝึกอบรม ส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยี ERP Software ของผู้ใช้งานมากที่สุด [3] จึงควรมีการเตรียมความพร้อมให้กับผู้ใช้งานทั้งในด้านการฝึกอบรม การให้ความรู้ ความเข้าใจ และพัฒนาความสามารถของพนักงานในเทคโนโลยีนั้นๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้พนักงานรับรู้ถึงความง่ายต่อการใช้งาน และรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับจาก ERP Software ส่งผลต่อความสำเร็จในการใช้โปรแกรมในการปฏิบัติงานให้องค์กร และการประยุกต์ใช้ระบบผลิตแบบลีนร่วมกับการจัดการแบบโซ่อุปทาน [4] สามารถกำจัดกิจกรรมที่ไร้ประโยชน์ออกไปจากกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุน เพิ่มความยืดหยุ่นในการผลิตตลอดสายโซ่อุปทาน โดยเน้นที่การเพิ่มความรวดเร็วในการสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างต่อเนื่อง

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

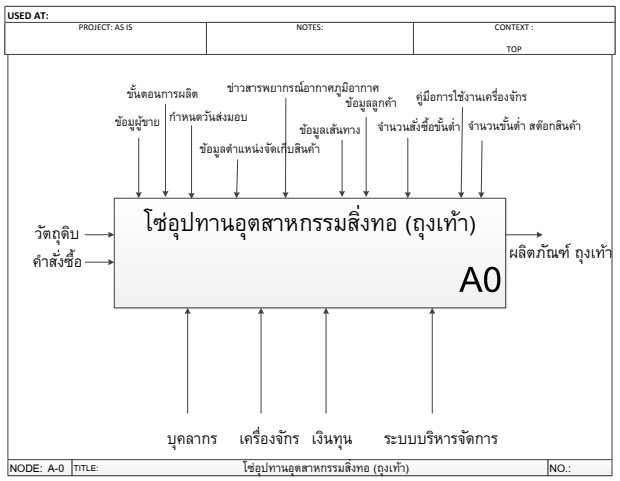
1. เพื่อประยุกต์ใช้โซ่อุปทานแบบลีน (Lean Supply Chain) ในการปรับปรุง เพิ่ม หรือลดกระบวนการต่างๆ ที่ทำให้เกิดผลเสียต่อองค์กร ทำให้องค์กรมีประสิทธิภาพในการบริหารทรัพยากรองค์กร

2. เพื่อวิเคราะห์และออกแบบระบบ ERP (Enterprise Resource Planning) ในการเพิ่มศักยภาพการบริหารจัดการอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดย่อม

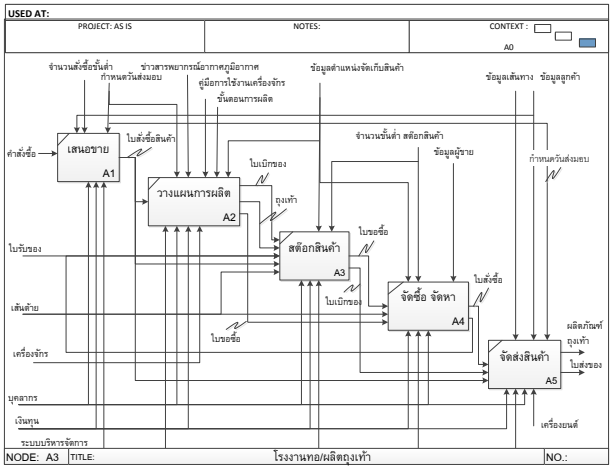
3. วิธีการดำเนินการ

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการสำรวจเก็บรวบรวมข้อมูลปัญหา และขั้นตอนกระบวนการต่างๆของ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ABC โซ่อุปทานอุตสาหกรรมสิ่งทอ แสดงในภาพที่ 1 และขั้นตอนกระบวนการต่างๆของ หจก. ABC ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 โซ่อุปทานอุตสาหกรรมสิ่งทอ



ภาพที่ 2 ตัวอย่างขั้นตอนต่างๆ ของโรงงาน

จากภาพที่ 1 แสดงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมสิ่งทอ ประกอบด้วยปัจจัยนำเข้า (Input) ได้แก่ วัตถุดิบ และคำสั่งซื้อ ตัวขับเคลื่อน (Mechanism) ได้แก่ แรงงาน เครื่องมือ เงินทุน บุคลากร ระบบบริหารจัดการ ตัวควบคุม(Control) ได้แก่ กำหนดวันส่งมอบ ข่าวสารฯลฯ ข้อมูลลูกค้า ข้อมูลผู้ขาย ข้อมูลเส้นทาง ขั้นตอนการผลิต จำนวนการสั่งซื้อขั้นต่ำ จำนวนขั้นต่ำสต๊อกสินค้า ข้อมูลตำแหน่งจัดเก็บสินค้า และคู่มือการใช้งานเครื่องจักร ผลลัพธ์ (Output) เป็นผลิตภัณฑ์ถุงเท้า

ผลการสำรวจพบว่า ปัญหาที่สำคัญในโซ่อุปทานคือการขาดมาตรฐานในการควบคุม ระบบบริหารจัดการที่เป็นระบบ แต่ขาดเครื่องมือระบบสารสนเทศในการรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ เกิดความล่าช้า เสียโอกาสทางการแข่งขัน การผลิตขาดการวางแผนถึงความต้องการของตลาด และการผลิตขึ้นอยู่กับฤดูกาล ภูมิอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อยอดขายสินค้า ขาดการประสานงานโดยรวมขององค์กร

จากภาพที่ 2 แสดงการเชื่อมโยงข้อมูลของโรงงานประกอบด้วยองค์ประกอบตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ซึ่งกระบวนการย่อยในขั้นตอนโรงงานทอ/ผลิตถุงเท้า (ระดับ A3) จะมีกิจกรรมต่างๆ ได้แก่ การขาย การวางแผนผลิต การสต๊อกสินค้า การจัดซื้อจัดหา และการส่งมอบสินค้าไปยังลูกค้า

ทั้งนี้การขาดการเชื่อมโยงข้อมูลของโรงงาน ทำให้เกิดข้อเสียเปรียบทางการค้า ไม่สามารถเข้าถึงผู้ซื้อได้โดยตรง ขาดการแลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อวางแผนการผลิต

ร่วมกันระหว่างคู่ค้า รวมทั้งไม่มีอำนาจต่อรองในด้านราคา เนื่องจากปริมาณที่ผลิตมีไม่มากพอ

4.2 ผลการวิเคราะห์ปัญหาและความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้โซ่อุปทานแบบลีน เพื่อปรับปรุง เพิ่มหรือลดกระบวนการต่างๆ จากการศึกษาทำความเข้าใจ ปัญหาและขั้นตอนกระบวนการพบว่า มีความเป็นไปได้ในการปรับปรุงกระบวนการ ได้ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการปัญหาวิเคราะห์และขั้นตอนในการปรับปรุงกระบวนการ

ฝ่าย/แผนก	กระบวนการหลัก	กิจกรรมย่อย
ฝ่ายบัญชีและการเงิน (Accounting and Finance)	การชำระหนี้ค่าวัตถุดิบ/สินค้าให้กับบริษัทคู่ค้า/ผู้ขาย	-ตรวจสอบข้อมูลรับเข้าวัตถุดิบ -ตรวจสอบข้อมูลสั่งซื้อวัตถุดิบ -จัดทำใบลดหนี้/ ใบเพิ่มหนี้ -ชำระหนี้ให้กับผู้ขาย โดยสามารถเลือกสั่งจ่ายแบบแบ่งจ่ายชำระบางส่วน สินค้าที่รับแล้วได้ในขั้นตอนชำระหนี้
	การจัดทำรายการ ใบลดหนี้ใบเพิ่มหนี้	รวมกิจกรรมย่อยไว้เป็นขั้นตอนเดียวกับกระบวนการชำระหนี้
แผนกวางแผนผลิต (Planning)	วางแผนการผลิต	-ระบบแจ้งเตือนกำลังการผลิตโดยรวมทั้งหมด -ตัดสินใจสั่งผลิตสินค้า -จัดทำใบสั่งผลิต
แผนกผลิต (Production)	ผลิตสินค้า	-รับงานรายการใบสั่งผลิตระบบแสดงข้อมูลหน้างาน -ตรวจสอบจำนวน และสุ่มตรวจคุณภาพในการผลิต -บันทึกการปฏิบัติงาน ลักษณะชิ้นงานที่พนักงานรับเหมารายวันทำ
ฝ่ายขายและการตลาด (Marketing Sales)	เสนอขาย	-รับออร์เดอร์การสั่งซื้อจากลูกค้า -ตรวจสอบสินค้าจากข้อมูลคลังสินค้าคงเหลือ -แจ้งรายการสินค้าที่ไม่มีให้ลูกค้าทราบ -จัดทำเอกสารใบเสนอราคาและคำนวนราคา -แปลงใบเสนอราคาเป็นใบสั่งซื้อเมื่อลูกค้ายืนยันการสั่งซื้อ -บันทึกและจัดเก็บเอกสารเป็นประวัติการซื้อของลูกค้า

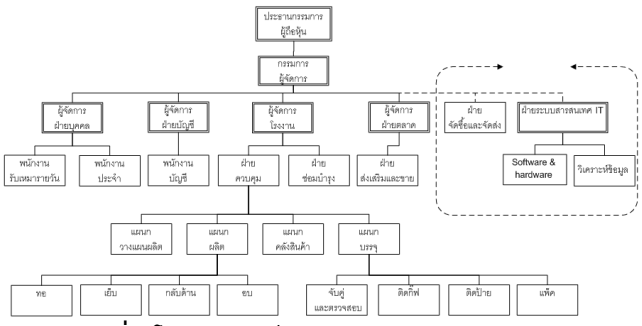
4.3 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ

สิ่งที่ผู้บริหารของห้างหุ้นส่วน ABC จำกัด มีความกังวลต่อระบบ ERP ดังนี้

- ราคาความคุ้มค่า
- ต้องปรับตัวเข้าหาโปรแกรม
- พนักงานอาจต่อต้านการใช้โปรแกรม ERP ได้
- ความใส่ใจของพนักงานในการป้อนข้อมูล
- ความเหมาะสมของระบบ ERP
- Implement ระบบ ERP ไม่ประสบความสำเร็จ ไม่ตอบโจทย์ความต้องการ

4.4 ปรับปรุงโครงสร้างองค์กร

จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ พบว่าสิ่งที่สำคัญและเป็นตัวขับเคลื่อนองค์กรได้อย่างต่อเนื่อง ให้สอดคล้องกับการนำระบบ ERP มาใช้ โดยการเพิ่มฝ่ายระบบสารสนเทศ IT ในองค์กร ดังนี้



ภาพที่ 3 โครงสร้างองค์กร ห้างหุ้นส่วนจำกัด ABC หลังการปรังปรุง (To BE)

4.5 ผลการพิจารณารูปแบบของระบบ ERP ที่เหมาะสมกับองค์กรขนาดย่อม

4.5.1 งบประมาณของการทำ ERP ทั้งระบบ

- ค่า hardware และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง (ราคาประมาณการ) รวม 220,000 บาท
- ค่า software และค่าติดตั้งต่างๆ (ราคาประมาณการ) รวม 130,000 บาท

4.5.2 เครื่องมือที่ใช้ ในการศึกษาในครั้งนี้

- โปรแกรมระบบการจัดการฐานข้อมูล (Microsoft SQL Server 2008 R2)
- โปรแกรม Mendix Application [5] เป็น Application plateform ที่ใช้พัฒนาโปรแกรม ERP ในการศึกษาในครั้งนี้

4.5.3 ระยะเวลาในการพัฒนาโปรแกรม

- ประมาณ 3-6 เดือน (ขึ้นอยู่กับความต้องการลูกค้า)

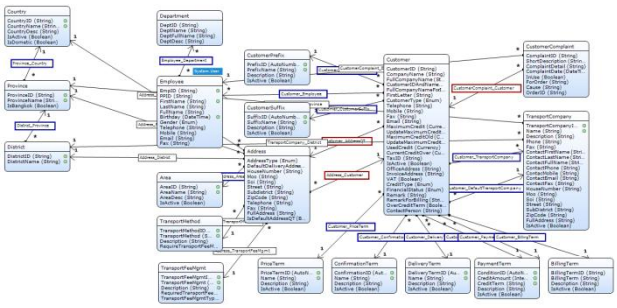
4.6 ผลการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ERP เพื่อตัดสินใจเลือกใช้ระบบ ERP

การออกแบบระบบ ABC Socks ERP Module ประกอบด้วย Module หลักๆ ดังนี้

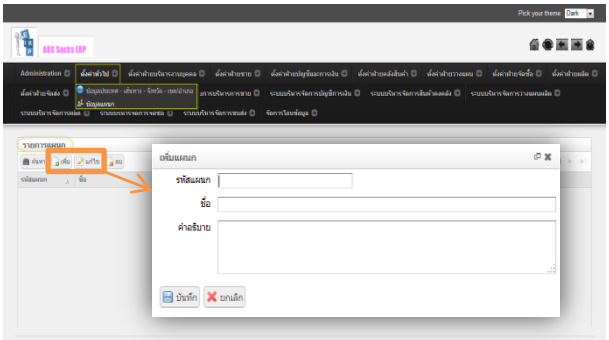
MODULE	FUNCION
1. MASTER DATA	เป็นข้อมูลตั้งค่าพื้นฐานต่างๆ
2. HR MANAGEMENT	ระบบบริหารจัดการทรัพยากรมนุษย์
3. SALES MANAGEMENT	ระบบการบริหารการขาย
4. ACCOUNT FINANCIAL	ระบบบริหารจัดการบัญชีการเงิน
5. INVENTORY	ระบบบริหารจัดการสินค้าคงคลัง
6. MANUFACURING	ระบบวางแผนผลิต และผลิต
7. PURCHASING	ระบบบริหารจัดการจัดซื้อ
8. DELIVERY	ระบบบริหารจัดการขนส่ง
9. ADMINISTRATOR	Administration
10. SYSTEM MODULE	System

ตัวอย่าง Module : MASTER DATA เป็นข้อมูลตั้งค่าพื้นฐานต่างๆที่ใช้ร่วมกันในระบบที่ออกแบบเพื่อพัฒนาระบบ ERP ให้สอดคล้องกับความต้องการลูกค้า และมีความยืดหยุ่นสามารถปรับเปลี่ยนพัฒนาระบบให้สามารถแข่งขันทางธุรกิจได้ โดยใช้เครื่องมือ Mendix Application Tool

MASTER MODULE



ภาพที่ 4 ตัวอย่างหน้าจอ Login เข้าใช้งานระบบ ERP



ภาพที่ 5 ตัวอย่างหน้าจอ เมนูตั้งค่าทั่วไป ข้อมูลแผนก

ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบการประเมินศักยภาพการใช้งานระบบ ERP ของห้างหุ้นส่วนจำกัด ABC (เนื่องจากองค์กรยังไม่เคยมีการใช้งานระบบ ERP มาก่อน)

	ตัวชี้วัด	น.น.	คะแนนที่ได้	
			ก่อน	หลัง
1	การตระหนักถึงความสำคัญและประโยชน์ระบบ ERP ของบุคลากร	10%	3	3
2	ระดับความรู้ความเข้าใจของบุคลากรเกี่ยวกับ ERP	10%	1.5	3
3	แผนการปรับปรุงระบบ ERP	10%	2	3
4	ความเข้าใจปัญหาและสาเหตุของปัญหาในการใช้งานระบบ ERP	15%	2	2.5
5	ความสามารถในการปรับปรุงกระบวนการทำงานและแก้ไขปัญหาระบบ ERP	15%	2	3
6	ผลการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการทำงาน (จำนวนปัญหาที่แก้ไขได้)	15%	1.5	2.5
7	ประมาณการ ประสิทธิภาพ ของการแก้ไขปัญหาการใช้งานระบบ ERP (% ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น)	15%	2	3
8	การวางแผนในการพัฒนาบุคลากร เพื่อรองรับการใช้ระบบ และการให้รางวัล	10%	1	1
	รวม	**100%**	**15**	**21**
	สรุปคะแนนเฉลี่ย		**1.875**	**2.625**

คะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น = 2.625 - 1.875 = 0.75

คะแนน หรือเพิ่มขึ้น = 40%

จากตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบการประเมินศักยภาพการใช้งานระบบ ERP ของห้างหุ้นส่วนจำกัด ABC

น.น. ค่า % ที่กำหนดมาจากการ weight จากปัญหาการใช้งาน ERP ทั่วไป โดยให้ความสำคัญมากอยู่ที่ 15 % และรองลงมาอยู่ที่ 10 %

คะแนนที่ได้ มาจากการรวบรวมผลค่าเฉลี่ยจากการทำแบบสอบถามพนักงานของบริษัททุกแผนกที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็นแผนกละ 5 คน โดยผลค่าตารางคะแนนที่ได้มาจากการเฉลี่ยรวมของพนักงานบริษัท

พบว่าการประเมินศักยภาพการใช้งานระบบ ERP มีแนวโน้มและมีความเป็นไปได้ในการรับรู้และความใจเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 40

จากตารางที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการปรับปรุง ลด เพิ่มขั้นตอน และเวลาในการปฏิบัติงาน ของปรับปรุงกระบวนการหลักของฝ่าย 4 ฝ่าย ได้แก่ ฝ่ายบัญชีและการเงิน แผนกวางแผนผลิต แผนกผลิต และฝ่ายขายและการตลาด และลดเวลารวมหลังปรับปรุงโดยเฉลี่ยเป็น 58.62 % และนำระบบ ERP มาใช้นอกจากส่งผลให้สามารถลดขั้นตอน และลดเวลารวมของกระบวนการแล้ว ยังเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และความถูกต้องของการดำเนินงาน ดังแสดงตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลที่ได้จากการปรับปรุง ลด เพิ่มขั้นตอน และเวลาในการปฏิบัติงาน

ฝ่าย/แผนก	กระบวนการหลัก	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
		จำนวนขั้นตอน	รวม (คะแนน)	จำนวนขั้นตอน	รวม (คะแนน)
ฝ่ายบัญชีและการเงิน	การชำระหนี้ค่าวัตถุดิบให้กับผู้ขาย	3	15	4	10
	การจัดทำรายการใบลดหนี้ใบเพิ่มหนี้	3	10	0	0
แผนกวางแผนผลิต	วางแผนการผลิต	7	60	3	15
แผนกผลิต	ผลิตสินค้า	4	30	3	20
ฝ่ายขายและการตลาด	เสนอขาย	7	30	6	15
	รวม		145		60

ตารางที่ 4 ผลการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และความถูกต้องของการดำเนินงาน

กระบวนการหลัก	กิจกรรมย่อย	% ผลปรับปรุง
การชำระหนี้ค่าวัตถุดิบ/สินค้าให้กับผู้ขาย	-ตรวจสอบข้อมูลรับเข้าวัตถุดิบ -ตรวจสอบข้อมูลสั่งซื้อวัตถุดิบ -จัดทำใบลดหนี้/ ใบเพิ่มหนี้ -ชำระหนี้ให้กับบริษัทคู่ค้า/ผู้ขาย โดยสามารถเลือกสั่งจ่ายแบบแบ่งจ่ายชำระบางส่วน สินค้าที่รับแล้วได้ในขั้นตอนการชำระหนี้	50%
วางแผนการผลิต	-สรุปการแจ้งเตือนกำลังการผลิตโดยรวม -ตัดสินใจสั่งผลิตสินค้า -จัดทำใบสั่งผลิต	38%
ผลิตสินค้า	-รับงานใบสั่งผลิตระบบแสดงข้อมูลหน้างาน -ตรวจสอบจำนวน และสุ่มตรวจคุณภาพผลิต -บันทึกการปฏิบัติงาน ลักษณะชิ้นงานที่พนักงานรับเหมารายวันทำ	11%
เสนอขาย	-รับออร์เดอร์สั่งซื้อจากลูกค้า -ตรวจสอบสินค้าจากข้อมูลคลังสินค้าคงเหลือ -แจ้งรายการสินค้าที่ไม่มีให้ลูกค้าทราบ -จัดทำเอกสารใบเสนอราคา และคำนวนราคา -แปลงใบเสนอราคาเป็นใบสั่งซื้อเมื่อลูกค้ายืนยันการสั่งซื้อ -บันทึกและจัดเก็บเอกสารเป็นประวัติการซื้อ	42%

5. สรุป

จากการศึกษาปัญหาและทำความเข้าใจกระบวนการทางธุรกิจของโซ่อุปทานอุตสาหกรรมสิ่งทอ (ถุงเท้า) ทำให้ทราบถึงปัญหาที่สำคัญในโซ่อุปทาน คือ การขาดมาตรฐานในการควบคุม และขาดเครื่องมือระบบสารสนเทศในการรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ เกิดความล่าช้า เสียโอกาสทางการแข่งขัน การผลิตขาดการวางแผนถึงความต้องการของตลาด

การศึกษากระบวนการทางธุรกิจ การปรับปรุง เพิ่มหรือลดกระบวนการต่างๆ ที่ทำให้เกิดผลเสียต่อองค์กร โดยการนำประยุกต์ใช้โซ่อุปทานแบบลีน (Lean Supply Chain) และจากการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ERP ในการเพิ่มศักยภาพการบริหารจัดการอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดย่อม ด้วยเครื่องมือ Software: Mendix Application [5] พบว่าสามารถรองรับความต้องการของผู้ใช้งานระบบได้ ทำให้ผู้ใช้งานหรือองค์กรที่ยังไม่เคยมีความรู้ความเข้าใจถึงประโยชน์ของระบบ ERP ให้เห็นภาพชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการตัดสินใจเลือกใช้ระบบ ERP ในองค์กรได้ดี และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป เพื่อรองรับกระบวนในเชิงธุรกิจที่เปลี่ยนแปลง

อย่างรวดเร็ว นำไปสู่กระบวนการทางธุรกิจที่มีประสิทธิภาพ

ระบบ ERP เป็นสิ่งที่จะต้องดำเนินไปควบคู่กับวิสัยทัศน์ขององค์กรและกลยุทธ์ทางธุรกิจ มีความจำเป็นที่ต้องได้รับความสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง และเมื่อทำได้สำเร็จระบบ ERP จะกลายเป็นหัวใจสำคัญหลักที่จะแปลงวัตถุประสงค์เชิงกลยุทธ์ขององค์กรให้เป็นเป้าหมายที่มองเห็นและวัดได้ และสามารถบริหารจัดการบนพื้นฐานที่ต่อเนื่องได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระ ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณี อัศวกุลชัย อาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงคณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมธุรกิจทุกท่าน ที่ให้ความกรุณาแนะนำ ตรวจตราแก้ไขเนื้อหา ตลอดจนให้กำลังใจในการทำการศึกษาค้นคว้าอิสระ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

[1] ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับระบบ ERP : ข้อมูลจาก http://www.baanjomyut.com (วันที่สืบค้น 13 มกราคม 2558)

[2] ปราณี ชะวรรณ์. การศึกษาการนำ ERP ไปใช้อุตสาหกรรมขนาดกลางขนาดย่อมในประเทศไทย, 2540

[3] ศศิพร เหมือนศรีชัย. ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับ ERP Software ของผู้ใช้งานด้านบัญชี, 2554

[4] ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง, ลลิดา ยิ่งสูง และทศพล เกียรติเจริญผล การประยุกต์ใช้ระบบผลิตแบบลีนร่วมกับการจัดการแบบโซ่อุปทาน, 2551

[5] ข้อมูลเกี่ยวกับ Mendix เครื่องมือสารสนเทศที่ใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ : www.mendix.com

[6] การเขียนผังงาน (Flow chart) System Analysis and Design for Business 2012 : http://www.msit.mut.ac.th

[7] Philip,K. & Keller,L.K. Marketing Management 12e. New Jersey: USA.Pearson Education International. 2008.

[8] Michael J. Hernandez Database Design for Mere Mortals: A Hands-On Guide to Relational Database Design Third Edition

การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคเพื่อให้เวลาทำงานต่ำที่สุดในปัญหาท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้าแบบหลายประตูรับส่งสินค้า

Application of Particle Swarm Optimization for Minimizing Makespan in Multi-Door Cross Docking Problem

ปิยะ เฮงมีชัย วริษา วิสิทธิพานิช*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
Email: piyahengmeechai@gmail.com, warisa@eng.cmu.ac.th*

Piya Hengmeechai and Warisa Wisittipanich*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
239 Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai, Thailand 50200
Email: piyahengmeechai@gmail.com, warisa@eng.cmu.ac.th*

บทคัดย่อ

การแข่งขันในตลาดปัจจุบันเน้นการแข่งขันบนการส่งสินค้าอย่างรวดเร็วจากมือของผู้ผลิตไปสู่ลูกค้า ทำให้มีการคิดค้นท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้าขึ้นเพื่อทำให้โครงข่ายกระจายสินค้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น ในบทความนี้มีการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค มาเพื่อช่วยแก้ปัญหาการกำหนดประตูและจัดลำดับท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้าแบบหลายประตูรับส่งสินค้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาทำงานในระบบให้น้อยที่สุด ผลจากการทดลองพบว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคมีประสิทธิภาพสูงในการหาคำตอบที่มีคุณภาพ และในเวลาที่รวดเร็ว

คำหลัก ท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้า, วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค, วิธีการเมต้าฮิวริสติก, เวลาทำงานเสร็จสิ้น

Abstract

The competitive market environment has aimed to rapidly supply products to customers. As a result, cross docking was developed to enhance of distribution network. In this article, Particle Swarm Optimization (PSO) is applied for solving door assigning and sequencing in multi-door cross docking problem. The objective of the problem is to minimize makespan. The experimental results demonstrate that PSO algorithm is capable of finding high quality solutions with fast computing time.

Keywords: Cross Docking, Particle Swarm Optimization, Metaheuristic, Makespan

1. บทนำ

การแข่งขันในตลาดปัจจุบันเน้นการแข่งขันบนการผลิตสินค้าและการกระจายสินค้าอย่างรวดเร็วจากผู้ผลิตไปสู่มือของลูกค้า ซึ่งทำให้การออกแบบเครือข่ายศูนย์กระจายสินค้านั้นเป็นสิ่งที่จำเป็น เครือข่ายศูนย์กระจายสินค้ามีส่วนประกอบสำคัญคือ คลังสินค้า หรือศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งศูนย์กระจายสินค้ามีกิจกรรมหลักๆ อยู่ 5 กิจกรรมคือ การรับสินค้า (Receiving) การจัดเรียง

สินค้า (Sorting) การจัดเก็บสินค้า (Storing) การดูแลรักษาสินค้า (Retrieving) และ การส่งสินค้า (Shipping) กิจกรรมที่มีค่าใช้จ่ายสูงในการดำเนินงานคือ การจัดเก็บสินค้า (Storing) และการดูแลรักษาสินค้า (Retrieving) จึงมีการพยายามลดค่าใช้จ่ายจากกิจกรรมดังกล่าวโดยการใช้ ท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้า (Cross docking) ให้เป็นศูนย์กระจายสินค้าที่ไม่มีกิจกรรมการจัดเก็บสินค้าและการดูแลรักษาสินค้า

ปัญหาเกี่ยวกับการจัดลำดับรถบรรทุกในท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้าเป็นปัญหาแบบ NP-Hard จึงต้องใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกหรือวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ เช่น วิธีการหาคำตอบโดยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) มาช่วยในการหาคำตอบ วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) เป็นหนึ่งในหลายวิธีของเมตาฮิวริสติกส์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการหาคำตอบ วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ถูกพัฒนาโดย Kennedy and Eberhart ในปี 1995 ซึ่งได้เลียนแบบพฤติกรรมการบินหาอาหารของฝูงนกหรือฝูงปลา

ส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับในท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้า มีตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Boysen และ Fliedner [1] และ Belle et al. [2] ได้กล่าวว่า ท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้าสอดคล้องกับเป้าหมายที่จะทำให้ห่วงโซ่อุปทานสามารถลดกิจกรรมที่เกิดความสูญเปล่าจากการทำให้สินค้าคงคลังลดลง ส่งมอบได้เร็วขึ้นและถี่ขึ้น ท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้ามีข้อได้เปรียบศูนย์กระจายสินค้าและการส่งแบบจุดต่อจุด การกำหนดแนวคิดของท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้าเริ่มขึ้นประมาณปี 1980 แต่ได้รับการสนใจทำงานวิจัยเริ่มจากปี 2004 ถึงปัจจุบันจากการที่ได้รับความสนใจจากภาคอุตสาหกรรม ลักษณะของท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้าสามารถมีได้หลากหลายทั้งขนาดและรูปร่าง รูปร่างของท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้ามีได้หลายหลายรูปร่าง ตัวอย่างเช่น I, L, U, T, H และ E เป็นต้น สำหรับจำนวนประตูอาจมีมากถึง 500 ประตู ลักษณะการไหลของสินค้าจะเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยต่อไปนี้ คือ รูปแบบของการมาถึงของรถบรรทุกขาเข้า เวลารถออก การสับเปลี่ยนสินค้า และ การจัดเก็บชั่วคราว

งานวิจัยของ Yu and Egbelu [3] มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาลดเวลาทำงานเสร็จสิ้น (Makespan) ให้น้อยที่สุด และมีการใช้ฮิวริสติกส์อัลกอริทึมในการทำให้สินค้าผ่านที่พักสินค้าให้น้อยที่สุดโดยการเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึม 2 ตัวคือ RS1-3 และ SS1-3 ซึ่ง RS เป็นตัวแทนของอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับรถบรรทุกขาเข้า SS ใช้สำหรับรถบรรทุกขาออก ซึ่งจะมีการจับคู่ระหว่างอัลกอริทึมขาเข้าและขาออกทั้งหมด ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า RS1 และ SS1 เหมาะสมสำหรับแก้ปัญหานี้ที่สุด มีงานวิจัยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ได้แก่ งานวิจัยของ Chen and Lee [4], Chen and Song [5], Boysen et al. [6], Arabani et al. [7], และ Liao et al. [8] ซึ่งงานทั้งหมดทำเพื่อเปรียบเทียบอัลกอริทึมว่าอัลกอริทึมไหนเหมาะสมกับปัญหาที่ตั้งขึ้นมากกว่ากัน

งานวิจัยของ Belle et al. [9] มีการใช้วิธีทาบู (Tabu Search, TS) เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางรถบรรทุกในท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้าแบบหลายท่าและมีการคิดช่วงเวลาเข้าออกของรถบรรทุกร่วมด้วย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ หาเวลาเดินทางทั้งหมดที่ต่ำที่สุดและหาเวลาล่าช้าทั้งหมดที่ต่ำที่สุด โดยมีการใช้การให้น้ำหนักในแต่ละวัตถุประสงค์ สำหรับการแก้ปัญหามีการใช้ Mixed Integer Programming (MIP) และ TS ในการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรม CPLEX พบว่า TS สามารถหาคำตอบที่ดีได้โดยใช้เวลาที่สั้น ถึงแม้ว่าคำตอบจาก MIP จะดีกว่าแต่ใช้เวลานานมากในการแก้ปัญหาสำหรับกรณีที่ปัญหาค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งหากเป็นปัญหาในสถานการณ์จริงที่มีความซับซ้อนกว่าการทดลอง วิธีการนี้จะไม่เหมาะสมในการแก้ปัญหา

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ศึกษาปัญหาของการกำหนดประตูและการจัดลำดับรถบรรทุกที่มีกำหนดเวลารถบรรทุกขาเข้าและออกเพื่อให้การทำงานเสร็จสิ้นอย่างรวดเร็วที่สุดโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคในการหาคำตอบ

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Yu and Egbelu [3] และ Van Belle et al. [9] ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เป็นกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mix Integer Programing: MIP)

สมมติฐานในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ มีดังนี้

1. พื้นที่การจัดเก็บสินค้าชั่วคราวมีไม่จำกัด
2. มีการพิจารณาแค่การขนย้ายสินค้าและการโหลดสินค้าขึ้น การโหลดสินค้าลง ไม่มีการพิจารณาการดำเนินงานอื่นๆ เช่น การจัดเรียงสินค้า การติดป้ายสินค้า การแกะห่อสินค้า เป็นต้น
3. รถบรรทุกขาเข้าและออกต้องโหลดสินค้าขึ้นและโหลดสินค้าลงให้เสร็จก่อนออกจากท่ารับส่งสินค้า
4. บรรจุภัณฑ์มีขนาดมาตรฐานเท่ากัน เวลาในการโหลดสินค้าขึ้น โหลดสินค้าลง ต่อหน่วยสินค้าเป็นค่าที่กำหนดค่าไว้แน่นอนและคงที่
5. เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนรถบรรทุกได้ถูกกำหนดค่าไว้แน่นอนและคงที่
6. จำนวนสินค้าขาเข้าจะถูกส่งไปยังรถบรรทุกขาออกโดยไม่มีการกำหนดว่าจะต้องไปยังรถบรรทุกคันใด แต่ขึ้นอยู่กับความต้องการสินค้าของแต่ละรถบรรทุกขาออกแต่ละคัน
7. ไม่มีการพิจารณาลำดับของสินค้าในการโหลดสินค้าขึ้นและโหลดสินค้าลง

สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีดังนี้

พารามิเตอร์ (Parameter)

I จำนวนรถบรรทุกขาเข้า (i=1…I)

O จำนวนรถบรรทุกขาออก (j=1…O)

P จำนวนชนิดสินค้า (k=1…P)

R จำนวนประตูรับสินค้า (m=1…R)

S จำนวนประตูส่งสินค้า (n=1…S)

r_{ik} จำนวนหน่วยของสินค้าชนิด k ที่ถูกโหลดในรถบรรทุกขาเข้า i

s_{jk} จำนวนหน่วยของสินค้าชนิด k ที่ต้องการในรถบรรทุกขาออก j

T_{mn} เวลาในเคลื่อนย้ายสินค้าต่อหน่วยจากท่าส่งสินค้า m ไปยังจากประตูรับสินค้า n

di_i เวลาที่รถบรรทุกขาเข้า i ต้องออกจากประตูส่งสินค้า

do_j เวลาที่รถบรรทุกขาออก j ต้องออกจากประตูรับสินค้า

L เวลาโหลดสินค้าขึ้นหรือโหลดสินค้าลง ต่อหน่วยของสินค้า

D เวลาในการเปลี่ยนรถบรรทุก

M จำนวนเต็มที่มีค่ามาก

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

e_i เวลาที่รถบรรทุกขาเข้า i เข้าสู่ประตูส่งสินค้า

F_i เวลาที่รถบรรทุกขาเข้า i ออกจากประตูส่งสินค้า

d_j เวลาที่รถบรรทุกขาออก j เข้าสู่ประตูรับสินค้า

L_j เวลาที่รถบรรทุกขาออก j ออกจากประตูรับสินค้า

b_{ijk} จำนวนหน่วยของสินค้าชนิด k ที่ถ่ายโอนจากรถบรรทุกขาเข้า i ไปรถบรรทุกขาออก j

$$v_{ij} \begin{cases} 1, & \text{ถ้าสินค้าใดๆมีการถ่ายโอนจากรถบรรทุกขาเข้า } i \text{ ไปรถบรรทุกขาออก } j \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$p_{ij} \begin{cases} 1, & \text{ถ้ารถบรรทุกขาเข้า } i \text{ และ } j \text{ ถูกมอบหมายเข้าประตูเดียวกัน และ รถบรรทุก } i \text{ มาก่อนรถบรรทุก } j \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$q_{ij} \begin{cases} 1, & \text{ถ้ารถบรรทุกขาออก } i \text{ และ } j \text{ ถูกมอบหมายเข้าประตูเดียวกัน และ รถบรรทุก } i \text{ มาก่อนรถบรรทุก } j \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$x_{im} \begin{cases} 1, & \text{ถ้ารถบรรทุกขาเข้า } i \text{ ถูกมอบหมายให้เข้าประตูรับสินค้า } m \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$y_{jn} \begin{cases} 1, & \text{ถ้ารถบรรทุกขาออก } j \text{ ถูกมอบหมายให้เข้าประตูส่งสินค้า } n \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$z_{ijmn} \begin{cases} 1, & \text{ถ้ารถบรรทุกขาเข้า } i \text{ ถูกมอบหมายให้เข้าประตูรับสินค้า } m \text{ และรถบรรทุกขาออก } j \text{ ถูกมอบหมายให้เข้าประตูส่งสินค้า } n \text{ และ } v_{ij} = 1 \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function)

Minimize the Makespan = $Max\{L_j\}$ (1)

Subjected to:

$$\sum_{j=1}^{O} b_{ijk} = r_{ik} \; (\forall i = 1 \dots I, \forall k = 1 \dots P) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{I} b_{ijk} = s_{jk} \; (\forall j = 1 \dots O, \forall k = 1 \dots P) \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{P} b_{ijk} \leq M v_{ij} \; (\forall i = 1 \dots I, \forall j = 1 \dots O) \quad (4)$$

$$\sum_{m=1}^{R} x_{im} = 1 \; (\forall i = 1 \dots I) \quad (5)$$

$$\sum_{n=1}^{S} y_{jn} = 1 \; (\forall j = 1 \dots O) \quad (6)$$

$$\sum_{m=1}^{R} \sum_{n=1}^{S} z_{ijmn} = v_{ij} \; (\forall i = 1 \dots I, \forall j = 1 \dots O) \quad (7)$$

$$z_{ijmn} \leq x_{im} \; (\forall i = 1 \dots I, \forall j = 1 \dots O, \forall m = 1 \dots R, \forall n = 1 \dots S) \quad (8)$$

$$z_{ijmn} \leq y_{jn} \; (\forall i = 1 \dots I, \forall j = 1 \dots O \; \forall m = 1 \dots R, \forall n = 1 \dots S) \quad (9)$$

$$x_{im} + x_{jm} - 1 \leq p_{ij} + p_{ji} \; (\forall i, j = 1 \dots I, i \neq j, \forall m = 1 \dots R) \quad (10)$$

$$p_{ij} + p_{ji} \leq 1 \; (\forall i, j = 1 \dots I) \quad (11)$$

$$y_{in} + y_{jn} - 1 \leq q_{ij} + q_{ji} \; (\forall i, j = 1 \dots O, i \neq j, \forall n = 1 \dots S) \quad (12)$$

$$q_{ij} + q_{ji} \leq 1 \; (\forall i, j = 1 \dots O) \quad (13)$$

$$e_j \geq F_i + D - M(1 - p_{ij}) \; (\forall i, j = 1 \dots I) \quad (14)$$

$$F_i \geq e_i + L \sum_{k=1}^{P} r_{ik} \; (\forall i = 1 \dots I) \quad (15)$$

$$d_j \geq L_i + D - M(1 - q_{ij}) (\forall i, j = 1 \dots O) \quad (16)$$

$$L_j \geq d_j + L \sum_{k}^{P} s_{jk} \; (\forall j = 1 \dots O) \quad (17)$$

$$L_j \geq F_i + \sum_{m=1}^{R} \sum_{n=1}^{S} T_{mn} z_{ijmn} + L \sum_{k}^{P} s_{jk} - M(1 - v_{ij}) \; (\forall i = 1 \dots I, \forall j = 1 \dots O) \quad (18)$$

$$All\ variable \; \geq 0$$

สมการวัตถุประสงค์เพื่อให้ Makespan น้อยที่สุดแสดงดังสมการที่ (1) สมการข้อจำกัด (2) เพื่อให้แน่ใจว่าจำนวนหน่วยของสินค้าชนิด k ที่ถ่ายโอนจากรถบรรทุกขาเข้า i ไปรถบรรทุกขาออกทั้งหมด ตรงกับจำนวนหน่วยของสินค้าชนิด k ที่ถูกโหลดสินค้าขึ้นจากรถบรรทุกขาเข้า i ซึ่งเหมือนกับ สมการข้อจำกัด (3) เพื่อให้แน่ใจว่าจำนวนหน่วยของสินค้าชนิด k ที่ถ่ายโอนจากรถบรรทุกขาเข้าทั้งหมด ไปรถบรรทุกขาออก j ตรงกับจำนวนหน่วยของสินค้าชนิด k ที่ต้องการสำหรับรถบรรทุกขาออก j สมการข้อจำกัด (4) เป็นการบังคับให้ตัวแปร b_{ijk} และตัวแปร v_{ij} สอดคล้องกัน สมการข้อจำกัด (5) ให้แน่ใจว่ารถบรรทุกขาเข้าทุกคันถูกมอบหมายให้เข้าประตูรับสินค้าเพียงประตูเดียว สมการข้อจำกัด (6) ให้แน่ใจว่ารถบรรทุกขาออกทุกคันถูกมอบหมายให้เข้าประตูส่งสินค้าเพียงประตูเดียว สมการข้อจำกัด (7) – (9) ให้แน่ใจว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร x_{im}, y_{jn} และ z_{ijmn} สมการข้อจำกัด (10) – (11) ให้แน่ใจว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร x_{im} และ p_{ij} สมการข้อจำกัด (12) – (13) ให้แน่ใจว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร y_{jn} และ q_{ij} สมการข้อจำกัด (14) กำหนดเวลาที่รถบรรทุกขาเข้าแต่ละคันต้องมากกว่าเวลาที่รถคันก่อนหน้าออกรวมด้วยกับเวลาเปลี่ยนรถบรรทุก สมการข้อจำกัด (15) เวลาออกจากท่าของรถบรรทุกขาเข้าจะมากกว่าเท่ากับเวลาที่รถบรรทุกขาเข้ารวมกับเวลาโหลดสินค้าลง สมการข้อจำกัด (16) กำหนดเวลาที่รถบรรทุกขาออกแต่ละคันต้องมากกว่าเวลาที่รถออกรวมด้วยกับเวลาเปลี่ยนรถบรรทุก สมการข้อจำกัด (17) เวลาออกจากท่าของรถบรรทุกขาออกจะมากกว่าเท่ากับเวลาที่รถบรรทุกขาออกรวมกับเวลาโหลดสินค้าขึ้น สมการข้อจำกัด (18) เวลาออกจากท่าของรถบรรทุกขาออกจะมากกว่าเวลาที่รถบรรทุกขาเข้าออกจากท่าส่งสินค้ารวมกับเวลาในการเคลื่อนย้ายสินค้า และเวลาโหลดสินค้าขึ้น

3. วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

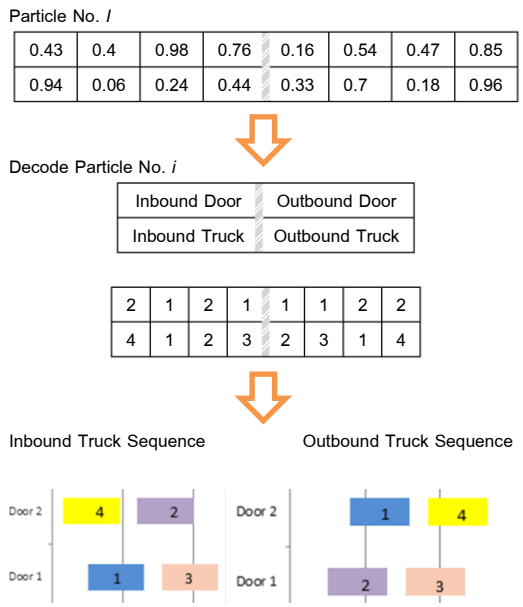
วิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) ได้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Kennedy และ Eberhart [10] ในปี 1995 เป็นวิธีที่เลียนแบบพฤติกรรมการบินหาอาหารของฝูงนกหรือฝูงปลา ซึ่งได้ทำการจำเส้นทางการบินหาอาหารจากประสบการณ์ที่ตัวเองได้บินผ่านมาของตัวเองและสมาชิกตัวที่ดีที่สุดในฝูง งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้งานวิจัยของ Pongchairerks และ Kachitvichyanukul [11] ในปี 2009 ซึ่งได้ทำการปรับแต่ง PSO ดั้งเดิมให้เป็น GLNPSO โดยใน GLNPSO ใช้ตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว, ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล, ตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะบริเวณ และตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มที่ตำแหน่งใกล้ในการหาคำตอบ โดยมีเป้าหมายหลักที่จะให้ตัวอนุภาคกระจายกันหาจุดที่ดีที่สุดในบริเวณต่างๆ ออกเป็นกลุ่มย่อยพร้อมๆ กันก่อน แล้วจึงค่อยรวมตัวกันค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในภายหลัง ขั้นตอนการหาคำตอบของ GLNPSO แสดงใน A1

A1: GLNPSO Algorithm

I. *Initialize L particles as a swarm*
II. *Decode particles into solutions*
III. *Evaluate the particles*
IV. *Update pbest*
V. *Update gbest*
VI. *Update lbest*
VII. *Generate nbest*
VIII. *Update the velocity and the position of each l particle*
IX. *If the stopping criterion is met, i.e.* $\tau = T$*, stop. Otherwise,* $\tau = \tau + 1$ *and return to step 2.*

3.1 วิธีการที่ใช้ในการแปลงคำตอบ

วิธีการที่ใช้ในการแปลงคำตอบเพื่อค้นหา Feasible Solutions โดยมีขั้นตอนในการดัดแปลงคำตอบ สามารถอธิบายได้ในตัวอย่างปัญหาที่มีขนาด I = O = 4 และ R = S = 2 ดังนี้ เริ่มต้นจากการสร้าง String คู่ที่มีความยาวเท่ากับจำนวนรถบรรทุกขาเข้าและ รถบรรทุกขาออกรวมกัน จากนั้นทำการแบ่ง String ที่สร้างขึ้นเป็น 4 ส่วน



รูปที่ 1 ตัวอย่างของการ Encoding/Decoding คำตอบของปัญหาที่มีขนาด I = O = 4 และ R = S = 2

ซึ่งส่วนที่ 1แทนรถบรรทุกขาเข้า ส่วนที่ 2 แทนรถบรรทุกขาออก ส่วนที่ 3 แทนประตูของรถบรรทุกขาเข้า และส่วนที่ 4 แทนประตูของรถบรรทุกขาออก จากนั้นจับคู่ระหว่างรถบรรทุกและประตูที่ต้องเข้าเพื่อจัดลำดับรถบรรทุกดังแสดงในรูปที่ 1

4. ผลการทดลอง

ประสิทธิภาพของ GLNPSO ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการหาคำตอบเท่านั้น พารามิเตอร์แต่ละตัวก็มีความสำคัญเนื่องจากส่งผลต่อการลู่เข้าของคำตอบที่ดีที่สุดเช่นกัน จากการทดลองเบื้องต้นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

Number of Iteration	500
Number of Particle	100
Inertia Weight	Linearly increase from 0.4 to 0.9
Acceleration Constant	
Personal Best Position, C_p	1
Global Best Position, C_g	1
Local Best Position, C_l	1
Near Neighbors Best Position, C_n	1

งานวิจัยนี้ได้มีการสร้างปัญหาตัวอย่างโดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Van Belle et al. (2013) ซึ่งในปัญหาขนาดเล็กมีจำนวนรถบรรทุกขาเข้า 4-5 คัน และรถบรรทุกขาออก 4-5 คัน ปัญหาขนาดกลางมีจำนวนรถบรรทุกขาเข้า 6-7 คัน และรถบรรทุกขาออก 6-7 คัน ปัญหาขนาดใหญ่มีจำนวนรถบรรทุกขาเข้า 8-9 คัน และรถบรรทุกขาออก 8-9 คัน และ ปัญหาขนาดใหญ่มากมีจำนวนรถบรรทุกขาเข้า 25-30 คัน และรถบรรทุกขาออก 25-30 คัน ทุกปัญหาตัวอย่างใช้ท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้ารูปร่างตัว I และมีการวัดระยะห่างระหว่างประตู แต่ละประตูโดยใช้วิธี Rectilinear ในการคำนวณเวลาในการเคลื่อนย้ายสินค้าระหว่างประตู โดยขนาดของปัญหาถูกการระบุด้วยจำนวนรถบรรทุกขาเข้า (I) รถบรรทุกขาออก (O) จำนวนสินค้า (P) จำนวนประตูรับสินค้า (R) และจำนวนประตูส่งสินค้า (S)

การหาคำตอบโดย GLNPSO ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ภาษา C# โดยโปรแกรม Visual Studio 2013 และ จากผลการทดสอบการแก้ปัญหาการกำหนดประตูและจัดลำดับรถบรรทุกในท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้าแบบหลาย

ประตูรับส่งสินค้าในตารางที่ 2 พบว่าโปรแกรม LINGO สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดเล็กได้เพียง 4 ปัญหาตัวอย่าง

ตารางที่ 2 ผลการแก้ปัญหาด้วย GLNPSO และ LINGO

Instant	Test Problem					Makespan			Computational Time (sec)	
	I	O	P	R	S	LINGO	GLNPSO	Relative dev. (%)	LINGO	GLNPSO
1	3	3	5	1	1	97	97	0	1	4
2	3	4	5	1	2	49.5	49.8	1	10	5
3	4	4	5	1	1	97.5	97.5	0	63	5
4	4	4	2	2	2	55.2	55.2	0	802	5
5	4	4	3	1	2	N/A	123	N/A	> 6 h	5
6	5	5	6	2	1	N/A	129	N/A	> 6 h	7
7	6	7	5	2	3	N/A	110	N/A	> 6 h	10
8	8	8	6	3	3	N/A	116	N/A	> 6 h	15
9	10	11	6	3	4	N/A	105	N/A	> 6 h	25
10	12	13	8	3	3	N/A	215	N/A	> 6 h	33
11	15	10	10	6	4	N/A	121.5	N/A	> 6 h	47

เท่านั้น และหากปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น LINGO จะไม่สามารถหาคำตอบได้ในเวลา 6 ชั่วโมงในขณะเดียวกันเมื่อทำการแก้ปัญหาโดยวิธี GLNPSOผลการทดลองในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงค่าดีที่สุดจากทดลองซ้ำ 10 ครั้งในแต่ละปัญหาตัวอย่าง พบว่า GLNPSO แสดงประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาโดยสามารถหาคำตอบได้ตรงกับคำตอบที่ได้จาก LINGO ในปัญหาขนาดเล็ก และสามารถหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ในเวลาที่รวดเร็วมากเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการคำนวณจากโปรแกรม LINGO

5. สรุป

ปัญหาการกำหนดประตูและจัดลำดับท่าเปลี่ยนถ่ายสินค้าแบบหลายประตูรับส่งสินค้าเป็นปัญหาแบบ NP-Hard ซึ่งการแก้ปัญหาโดยตรงไม่สามารถทำได้ในเวลาที่เหมาะสม ซึ่งแสดงให้เห็นด้วยการใช้โปรแกรม LINGO ที่มีข้อจำกัดในการแก้ปัญหาได้เพียง 4 ปัญหาตัวอย่างที่มีขนาดเล็กเท่านั้น งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้วิธีหาคำตอบแบบ GLNPSO ในการแก้ปัญหาดังกล่าว ผลจากการทดลองพบว่า GLNPSO สามารถแก้ปัญหาได้โดยให้คำตอบที่ได้มีคุณภาพดีและสามารถแก้ปัญหาได้ในเวลาที่รวดเร็ว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นผลงานระหว่างที่ศึกษาอยู่ ณ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และได้รับการสนับสนุนค่าใช้จ่ายจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

[1] Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2010). Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals. OR Spectrum, 32(1), 135-161.

[2] Van Belle, J., Valckenaers, P., & Cattrysse, D. (2012). Cross-docking: State of the art. Omega, 40(6), 827-846.

[3] Yu, W., & Egbelu, P. J. (2008). Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage. European Journal of Operational Research, 184(1), 377-396.

[4] Chen, F., & Lee, C.-Y. (2009). Minimizing the makespan in a two-machine cross-docking flow shop problem. European Journal of Operational Research, 193(1), 59-72.

[5] Chen, F., & Song, K. (2009). Minimizing makespan in two-stage hybrid cross docking scheduling problem. Computers & Operations Research, 36(6), 2066-2073.

[6] Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2010). Scheduling inbound and outbound trucks at cross

docking terminals. OR Spectrum, 32(1), 135-161.

[7] Boloori Arabani, A., Zandieh, M., & Ghomi, S. M. T. F. (2011). Multi-objective genetic-based algorithms for a cross-docking scheduling problem. Applied Soft Computing, 11(8), 4954-4970.

[8] Liao, T. W., Chang, P. C., Kuo, R. J., & Liao, C. J. (2014a). A comparison of five hybrid metaheuristic algorithms for unrelated parallel-machine scheduling and inbound trucks sequencing in multi-door cross docking systems. Applied Soft Computing, 21(0), 180-193.

[9] Van Belle, J., Valckenaers, P., Vanden Berghe, G., & Cattrysse, D. (2013). A tabu search approach to the truck scheduling problem with multiple docks and time windows. Computers & Industrial Engineering, 66(4), 818-826.

[10] Kennedy, J. and Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, WA, 1942-1948.

[11] Pongchairerks, P. and Kachitvichyanukul, V. (2009). Particle swarm optimization algorithm with multiple social learning structures. International Journal of Operational Research, 6(2), 176–194.

The Selection of Land Logistics hubs in Lampang Province using fuzzy TOPSIS

Ms. Phatcharaphon Prommin and Mr. Apichat Sopadang*
Excellence Center in Logistics and Supply Chain Management (E-LSCM)
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Chiang Mai University, Mueng Distirct, Chiang Mai Province, 50000,
E-mail: phatchaberneken@gmail.com and sopadang@gmail.com*

Abstract
ASEAN Economic Community (AEC) and The Greater Mekong Sub-region (GMS) collaborated positively in order to make Lampang Province becoming logistics hub in Northern of Thailand. Unfortunately, the selected logistics hub location in Lampang Province still remained unidentifiably. This research aims to select the land for logistics hubs location by applied Multi Criteria Decision Making (MCDM), the applied engineering method for estimating land logistics hubs with Fuzzy environmental condition. In this process, three alternative selected sectors such as Hang Chat District, Ko Kha District and Ban Sadej District has been generated from literature, similarly, the five criteria including; size of area, land cost appraisal, quantity of traffic, the number of population in each area and traffic security has been created from literature as well. Finally, we applied Fuzzy TOPSIS method to solve selected location problem with numerical example simulation. The results found that Ko Kha District has greatly provided suitable area for Northern land logistics hubs and the land cost appraisal is the most important weight in this study.
Keywords: Land logistics hub; Lampang Province; Multi Criteria Decision Making; Fuzzy TOPSIS.

1. Introduction

ASEAN Economic Community (AEC) is the cooperation which associated in order to be advantage in business together with other neighboring countries in Southeast Asia countries and involved fundamental of logistics development in Thailand directly. This leads to be the guideline for enhancing significantly gain from international tradable negotiation, omit business taxation and also created multiculturalism for the membership countries. Moreover, Thailand has been participated in The Greater Mekong Sub-region (GMS) in order to be the associative center for Southeast Asia region which aims to promote agricultural, commercial and investment and service expansion, employment, improve living standard, pass on technological knowledge to each other, efficiently auxiliary natural resources using and enhance the commercial capability in order to cope with world trade situations.

According to the participation, Thailand would be the center due to the fact that Thailand was located in the center of Southeast Asia region so they qualified to be the logistics center as the Economic Corridor. There are many advantageous performances for Thailand to become central of Southeast Asia especially, in term of logistics systems and landscape managements. The obvious data has been provided that Thailand had a completely suitable location as the logistics hubs in Southeast Asia as well as dealing 146.5 billion baht with ASEAN countries and China [1] and 57.2 billion baht [2] in 2014, respectively. In the other hands, when we look specifically on the geographical map of Thailand (figure 1), it shows northern boundary is close to Myanmar, Lao republics and South China (Yunnan province), eastern boundary is bordered by Vietnam and Cambodia, southern borderline is joined

nearby Malaysia and western frontier is closed around a whole borderline of Myanmar. In addition, Thailand is able to offer logistical systems including; traffic networks (roads, trains); shipping (Gulf of Thailand and Andaman Sea); air transportations. Consequently, what is the priority area which should be prepared?

Figure 1: Map of trade route for AEC
Source: ADB (Asian Development Bank)

The figure 1 represents information about economic corridor zone 1, which North-South economic corridor (NSEC) is the main route of GMS connected with ASEAN with South China. This is probably that area in Thailand's northeastern is the main. Lampang Province and Phrae Province have been chosen to be alternative for logistics hub for instance, to be logistics hub of green energy industry or to be center of distributable station. [3] Because of Lampang Province had a large of plain field and watershed area, while Phrae Province had a large-scale of mountain area. This is certainly that Lampang Province would be selected for logistic research rather than chosen Phrae Province in this study. Thus, this encourages analyzing the suitable location for building the logistics hub in Lampang Province unfortunately, in order to find the suitable area in Lampang Province still unproven. Thus, the engineering methodical system which is called Multiple Criteria Decision Making (MCDM) has been applied for this research to attain the greatest solution.

2. Multiple Criteria Decision Making

2.1 Fuzzy TOPSIS

TOPSIS (technique for order preference by similarity to an ideal solution) method is presented in Hwang and Yoon [4] is a multiple criteria method to identify solutions from a finite set of alternatives. In term of the alternative basic principle, should have the shortest distance from the positive ideal solution and the farthest distance from the negative ideal solution.

Fuzzy TOPSIS has been applied to engineering research broadly for example, IIraj M., et.al. [5], proposed design multiple criteria decision making (MCDM) of Fuzzy TOPSIS used to solve selected problem, Maysam A. et al. [6], extended the Fuzzy TOPSIS method for the selection of warehouse location. Chen T. C. [7], approached a fuzzy to select the location of the distribution center. Deng Y.and T. C. Chu [8-9], applied Fuzzy TOPSIS in order to select the plant location under linguistic environments. Irfan E. and Nilsen K. [10] compared between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods for facility location selection. Golam K. and M. Ahsan A. H. [11] gave a comparative analysis of TOPSIS and Fuzzy TOPSIS for the evaluation travel websites' service quality.

In this paper, applied Fuzzy method can be described as follows: [8], [11-14]

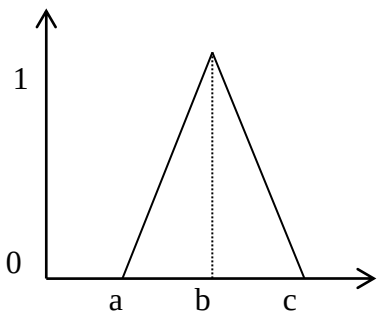


Figure 2: The membership function

Definition 1 A Fuzzy set, we let X be a universe of discourse, where $\tilde{a}$ is a fuzzy subset of X and x is for all of X ($x \in X$). There is interval number in set X is that

$\mu_{\tilde{a}}(x) \in [0,1]$ which is assigned to represent the member of x in $\tilde{a}$, and called the member of $\tilde{a}$ [12].

Definition 2 A Fuzzy numbers is a subset of the universe of discourse X that is both convex and normal (in figure 1).It shows a fuzzy number $\tilde{a}$ in the universe of discourse X that relates to this fundamental Fuzzy definition. [14]

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b}, & b \le x \le c \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (1)$$

Triangular fuzzy numbers have been used as follows, a triangular fuzzy number ($\tilde{a}$) can be defined by a triplet $(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \tilde{a}_3)$. Its conceptual schematic format mathematical form are shown by Eq. (1)

Definition 3 The concept of a linguistic variable is benefited for dealing with situations which complicate dramatically or define difficultly, this will lead to describe reasonably in conventional quantitative expressions. Linguistic variables are represented in words, phrase or artificial languages, which each linguistic value can be modeled by fuzzy set. In this study, the crucial weights of various criteria and the ratings of qualitative criteria are regarded as linguistic variable; these linguistic variables might be expressed in positive triangular fuzzy numbers as showed in Table 1 and Table 2.

Table 1 linguistic variable for significant weight of each criterion.

Very low (VL)	(0,0.1,0.3)
Low (L)	(0.1,0.3,0.5)
Moderate (M)	(0.3,0.5,0.7)
High (H)	(0.5,0.7,0.9)
Very high (VH)	(0.7,0.9,1.0)

Table 2 Linguistic variables for the ratings

Very poor (VP)	(0,0,3)
Poor (P)	(0,3,5)
Fair (F)	(3,5,8)
Good (G)	(5,7,10)
Very good (VG)	(7,9,10)

Definition 4 A standard representable operation using fuzzy numbers which used in this study was obtained a simple fuzzy TOPSIS method. This canonical representation of operation on triangular fuzzy numbers is applied. This approach is based on the graded mean integration representation method.

Definition 5 Given a triangular fuzzy number $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$, the graded mean integration representation of triangular fuzzy number A is defined as:

$$P(\tilde{A}) = \frac{1}{6}(a_1 + 4a_2 + a_3) \quad (2)$$

By applying Eq. (4), the graded mean integration representation decisive weight of each criterion and ratings are shown in Table 3 and Table 4.

Table 3 Graded mean integration representation for the importance weight of each criterion.

Very low (VL)	0.1167
Low (L)	0.3000
Moderate (M)	0.5000
High (H)	0.7000
Very high (VH)	0.8833

Table 4 Graded mean integration representation for the ratings

Very poor (VP)	0.5000
Poor (P)	3.000
Fair (F)	5.1667
Good (G)	7.1667
Very good (VG)	8.8333

Fuzzy TOPSIS method is employed by following steps for the proposed model as [4]:

Step 1 Calculate the Fuzzy decision matrix for the alternative and the criteria. The matrix $\tilde{D}$ describes by

$$D = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \text{----} & C_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \text{----} & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \text{----} & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \text{----} & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \text{----} & r_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \quad (3)$$

Step 2 Normalizing the Fuzzy decision matrix $\tilde{R}$ defined by

$$R_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{K} r'_{ijt}}{K} \quad (4)$$

Step 3 Constructing weighted normalized fuzzy decision matrix is progressed, the weighted normalized value $\tilde{V}$ is estimated as follows;

$$V|V_{ij}| = |w_i * r_{ij}| \quad , i = 1, 2, 3,\ldots, m , j = 1, 2, 3,\ldots, n \quad (5)$$

Step 4 To identify the set of positive ideal (V^+) and negative ideal (V^-) solutions, the fuzzy positive ideal solution and the fuzzy negative ideal solution are calculated as follows:

$$V^+ = \{v_1^+,\ldots\ldots,v_n^+\} = \{(\max v_{ij} i \mid \in I),(\min v_{ij} i \mid \in I)\} \quad (6)$$

$$V^- = \{v_1^-,\ldots\ldots,v_n^-\} = \{(\max v_{ij} i \mid \in I),(\min v_{ij} i \mid \in I)\} \quad (7)$$

Step 5 The correspondent degree of each alternative form V^+ and V^-, the distance (S^*, S^-) of each weight alternative can be currently calculated by Eq.(8) and Eq.(9).

$$S_i^* = \sqrt{\sum_j^m \left(v_{Aj} - v_j^*\right)^2} \quad , j = 1, 2, 3,\ldots, n \quad ,(8)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_j^m \left(v_{Aj} - v_j^-\right)^2} \quad , j = 1, 2, 3,\ldots, n, \quad (9)$$

Step 6 Calculating the closeness coefficient (CC_i). This step resolves the similarities to an ideal solution by

$$CC_i = \frac{S_i^-}{\left(S_i^* + S_i^-\right)} \quad , i = 1, 2, 3,\ldots, m \quad (10)$$

Step 7 Rank the alternative by choosing an alternative with maximum CC_i or rank alternatives according to CC_i in ascending order.

3. Research Methodology

In this section, The Fuzzy TOPSIS method is proposed as follows:

3.1 Choosing area and fundamental factors.

To choose a suitable area, there are three alternative sectors such as Hang Chat District (A1), Ko Kha District (A2) and Ban Sadej District (A3) that would be selected in this study. Then, to simulate crucial factors, there are five factors which are related to this study including size of area (X1), land cost appraisal (X2), quantity of traffic (X3), the number of population in each area (X4) and traffic security (X5).

3.2 Fuzzy TOPSIS

The Fuzzy TOPSIS has been applied for eliminating ambiguous data and also used to find the suitable area for building logistics hub in Lampang Province.

Table 5 Importance weight of criteria

	D1	D2	D3
X1	M	H	L
X2	VH	L	M
X3	L	H	L
X4	M	VL	L
X5	L	M	M

Table 6 Ranking of alternative by decision makers

Criteria	Candidates	Decision makers		
		D1	D2	D3
X1	A1	VG	VG	G
	A2	G	VG	G
	A3	P	G	P
X2	A1	G	G	F
	A2	VG	VG	G
	A3	F	P	F
X3	A1	G	F	F
	A2	G	G	F
	A3	F	G	P
X4	A1	F	F	G
	A2	G	G	VG
	A3	F	P	G
X5	A1	F	P	P
	A2	G	F	G
	A3	P	G	F

4. Numerical Example

4.1 Alternative and criteria

Before calculating the answer, it has to complete in both of alternative sector

selecting and criteria selecting. The result showed that there are three alternative areas (A1, A2 and A3) and five important factors (X1, X2, X3, X4 and X5), which provided in table 6.

Three decision makers give the linguistic variable by evaluating the importance weights of the criteria determined in Table 5. Then, the rating of three alternatives with five criteria by the three decision makers are showed in Table 6.

4.2 Fuzzy TOPSIS

In this section, this study is applied Fuzzy TOPSIS method for selecting land logistics hubs. The decision makers evaluate the importance weight of criteria and then rating of alternatives each condition by using the linguistic variable in Table 1 and Table 2.

Following the data of Table 1 and Table 2, the linguistic variables in table 5 and 6 are converted into triangular fuzzy numbers for fuzzy decision matrix. The rating of criteria can be calculated and resulted as follows:

$$\begin{bmatrix} 8.8889 & 6.3889 & 5.7778 & 5.7778 & 3.7222 \\ 7.9444 & 8.8889 & 6.3889 & 7.9444 & 6.3889 \\ 4.3333 & 4.4444 & 5.0556 & 5.0556 & 5.0556 \end{bmatrix}$$

To calculate weight of each criteria by Eq. (2) is shown in Table 7.The land cost appraisal is the most important weight. Meanwhile traffic security is the lowest essential weight in this study.

Table 7 Weight of criteria

	X1	X2	X3	X4	X5
Weight	0.500	0.561	0.433	0.306	0.433

The decision matrix can be calculated by Eq. (4) as presents:

$$\begin{bmatrix} 4.4444 & 3.5849 & 2.5037 & 1.7654 & 1.6130 \\ 3.9722 & 4.9877 & 2.7685 & 2.4275 & 2.7685 \\ 2.1667 & 2.4938 & 2.1907 & 1.5448 & 2.1907 \end{bmatrix}$$

To normalize decision matrix can be resulted as follows:

$$\begin{bmatrix} 0.4199 & 0.2973 & 0.3620 & 0.4447 & 0.5171 \\ 0.3753 & 0.2137 & 0.3274 & 0.3231 & 0.3012 \\ 0.2047 & 0.4274 & 0.4138 & 0.5077 & 0.3807 \end{bmatrix}$$

To determine positive ideal solution ($V+$) and negative ideal solution (V^-) is modified into Eq. (6) and Eq. (7). Thus, the result is showed in Table 8.

Table 8 Positive ideal solution (V^+) and negative ideal solution (V^-)

	X1	X2	X3	X4	X5
V^+	0.420	0.214	0.414	0.323	0.381
V^-	0.205	0.427	0.327	0.508	0.517

When the calculation distance of each alternative into positive ideal solution and negative ideal solution (S^*, S^-) has been finished. After that, CC_i calculating is proven lastly, ordering rank of CC_i is managed to find the best area that shows in Table 9 and also compared the result of Fuzzy TOPSIS with the result of TOPSIS.

Table 9 Result of numerical example (Fuzzy TOPSIS)

	S^*	S^-	C	Rank
A1	0.2072	0.1614	0.4379	2
A2	0.1255	0.3942	0.7585	1
A3	0.3331	0.1614	0.3125	3

Table 9 represents information about the result of numerical examples by Fuzzy TOPSIS method. According to the data, A2 is the best rank from three different details with the highest score from solution of closeness coefficient (CC_i), which is 0.758. The result; Ko Kha District (A2) is a suitable place for building logistic hub in Lampang Province.

5. Conclusion

In the beginning, Lampang Province has been as the central of economic corridor zone 1 in Thailand. The three possible areas have been determined, which are Hang Chat District, Ko Kha District and Ban Sadej District. After that, only five unclear principles are selected for analyzing.

Fuzzy TOPSIS is applied for estimating the best possible choice. This ranks alternatives measuring their relative

distances to positive ideal solution and negativeideal solutions, providing then a meaningful performance measurement for each alternative [9]. The research found that Ko Kha District (A2) has greatly provided suitable area for northern land logistics hubs in this study. Meanwhile, Hang Chat District (A1) has been the second choice and Ban Sadej District (A3) has been the third choice, respectively. Overall, the Fuzzy TOPSIS is the acceptable technique in this study to resolve selected location problem.

However, to apply Fuzzy TOPSIS in future would be improved; in particular, we would make sure that Fuzzy TOPSIS can be adapted in real situation.

Acknowledgement

The researchers would like to appreciate Chiang Mai University via the Center of Excellence Center in Logistics and Supply Chain Management (E-LSCM), for supporting and funding the research.

References

[1] Thai Commerce, 2014, "Import and export products' value and the comparison between Thailand and Asia countries' balance of trade (value: million baht) [http://www2.ops3.moc.go.th/] July10, 2014.

[2] Thai Commerce, 2014, "Import and export products' value and the comparison between Thailand and China's balance of trade (value: million baht) [http://www2.ops3.moc.go.th/] July10, 2014.

[3] The Center of Excellence Center in Logistics and Supply Chain Management, 2013, GMS and AEC's logistics administration development project, Industrial Engineering Program, Faculty of engineering, Chiang Mai University.

[4] Hwang, L.C., Yoon K., "Multi Attribute Decision-Making: A Methods and Applications, Lecture Series in Economics and Mathematical Systems", Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1981

[5] Iraj M., et.al., "Designing a model of fuzzy TOPSIS in multiple criteria decision making", Applied Mathematics and Computation, Vol 206, P. 607–617, 2008

[6] Maysam A. et al., "Application of fuzzy TOPSIS method for the selection of Warehouse Location: A Case Study", Interdisciplinary Journal of Contenporary Research in Business, Vol 3, 2012

[7] Chen T. C.,"A fuzzy approach to select the location of the distribution center", Fuzzy set and system, Vol 118, P.65-73, 2001

[8] Deng Y., "Plant location selection based on fuzzy TOPSIS", Int J AdvManufTechnol, Vol 28, P.839–844, 2006

[9] T. C. Chu., "Selecting Plant Location via a Fuzzy TOPSIS Approach", International Journal Manufacturing Technology, Vol 20, P. 859-864, 2002

[10] Irfan E. and Nilsen K., "Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection", International Journal Manufacturing Technology, Vol 39, P. 783-795, 2008

[11] Golam K. and M. Ahsan A. H., "COMPARATIVE ANALYSIS OF TOPSIS AND FUZZY TOPSIS FOR THE EVALUATION OF TRAVEL WEBSITE SERVICE QUALITY", International Journal for Quality research, Vol 6,2012

[12] L. A. ZADEH., "Fuzzy Sets", INFORMATION AND CONTROL, Vol 8, P. 338—353, 1965

[13] H.J. Zimmermanm., "Fuzzy set theory", John Wiley & Sons, Inc, Vol 2, 2010

[14] B. Sodhi and P. T.V., "A Simpllified Description of Fuzzy TOPSIS", IIT Hanpur, 2012

[15] Jahanshahloo, G. R., Lotfi, F. H., and Izadikhah, M., "Extension of the TOPSIS method for decision-making problems with fuzzy data", Applied Mathematics and computation, Vol 181(2), P. 1544-1551, 2006

การศึกษาโครงข่ายโลจิสติกส์ใหม่เชื่อมโยงภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยและจีนตอนใต้ กรณีศึกษา: การส่งออกน้ำตาลผ่านการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

A STUDY OF NEW LOGISTICS NETWORK LINKING THE NORTHEAST OF THAILAND AND SOUTHERN CHINA: A CASE STUDY OF EXPORT SUGAR VIA MULTIMODAL TRANSPORTATION

วันพิชิต เบ็งจีน* วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ. ขอนแก่น 40002 E-mail: aerang9956047@gmail.com*

Wanpichit Banggeen* Weerapat Sessombon
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khonkean University, Muang, Khonkean, 40002, E-mail: aerang9956047@gmail.com*

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลรายใหญ่เป็นอันดับที่ 2 ของโลกรองจากประเทศบราซิล ในปีการผลิต พ.ศ. 2556/57 ประเทศไทยมีการส่งออกน้ำตาล 7.7 ล้านตัน โดยตลาดการส่งออกหลักอยู่ที่ทวีปเอเชียและผู้นำเข้าน้ำตาลจากไทยรายหลักคือจีน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดรูปแบบโครงข่ายการขนส่ง วิเคราะห์ต้นทุนการขนส่ง ระยะทาง เวลา และคัดเลือกรูปแบบการขนส่งน้ำตาล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการสืบค้น สำรวจ เก็บข้อมูลภาคสนามเกี่ยวกับรูปแบบการขนส่ง ช่องทางการขนส่งพร้อมทั้งการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการการขนส่ง และเส้นทางที่สามารถเชื่อมโยงจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยไปยังประเทศจีนตอนใต้เพื่อเป็นทางเลือกในการตัดสินใจให้แก่ผู้ประกอบการการขนส่งน้ำตาลจนได้ได้รูปแบบโครงข่ายในการขนส่งทั้งหมด 7 รูปแบบ จากการศึกษาพบว่ารูปแบบโครงข่ายที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในอนาคตคือ โครงข่ายที่เริ่มจากไทย จังหวัดขอนแก่น-มุกดาหาร- สะหวันนะเขต (สปป.ลาว) ใช้เส้นทางหมายเลข 9 (R9) ผ่านชายแดนสะหวัน (สปป.ลาว)-ด่านลาวบาว (เวียดนาม) และขนส่งต่อไปยังท่าเรือดานัง จากนั้นเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งเป็นเรือไปยังท่าเรือฮ่องกง โดยมีระยะทาง 1,743.76 กิโลเมตร ใช้เวลาในการขนส่ง 58.41 ชั่วโมง ต้นทุนในการขนส่ง 87,347.28 บาท/TEU หรือคิดเป็น 4,368 บาท/ตัน

คำหลัก โครงข่ายการขนส่ง, ส่งออกน้ำตาล, โครงข่ายทางเลือก

Abstract

Second to Brazil, Thailand is major sugar export world 7.7 million tons in the 2013/2014. The main export markets are Asia, where China is a major importer. The objectives of this study are to determine the transportation network, distance, time and cost of exporting to China. This study surveys and interviews sugar mills, transportation operators and port to collect information on transportation modes, routes, choices and freight charge. Moreover, literature reviews are conducted to form alternatives routes of difference modes for exporting in addition to a current route. There are 7 network alternatives that can be linked from the Northeast of Thailand to southern China as a choice for decision making to transportation operators. From the calculation of fixed and variable cost of multimodal transportation, 7 routes are compared. The most

suitable transportation network starts from Khon Kaen province in Thailand to destination (Hong Kong port) through Mukdahan – Savannakhet (Thailand-Laos Border) through Savannakhet – Lao Bao (Laos-Vietnam border) by road transport (R9 route) in Lao PDR to Da Nang and change to sea transport at Da Nang port to Hong Kong port. The network's distance, time and cost of transportation are 1,743.76 kilometers, 58.41 hours and 87,347.28 Baht/TEU (4,368 Baht/ton), respectively.

Keywords: transportation network, sugar export, network alternative

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลรายใหญ่เป็นอันดับที่ 2 ของโลกรองจากประเทศบราซิล โดยมีกลุ่มลูกค้าเป้าหมายในทวีปเอเชียเป็นหลักในปี2556/57 ประเทศไทยมีการส่งออกน้ำตาล 2,866,693,517 ตัน คิดเป็นมูลค่า 44,303 ล้านบาทโดยมีประเทศคู่ค้าที่สำคัญ คือ อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น กัมพูชา เกาหลีใต้ มาเลเซียและจีน ซึ่งประเทศจีนมีความต้องการบริโภคน้ำตาลประมาณ 12-15 ล้านตันต่อปี ในขณะเดียวกันจีนสามารถผลิตน้ำตาลได้เพียง 10-12 ล้านตันต่อปี จึงต้องนำเข้าน้ำตาลปีละประมาณ 2 ล้านตัน จากประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ เช่น คิวบา บราซิล ไทย และเกาหลีใต้ [1]

ซึ่งประเทศไทยมีความได้เปรียบประเทศผู้ผลิตและส่งออกน้ำตาลรายอื่นเช่นบราซิลในเรื่องของระยะทาง ระยะเวลา และต้นทุนในการส่งออกเนื่องจากประเทศคู่ค้า (ประเทศจีน) อยู่ในภูมิภาคเดียวกันกับประเทศไทย โดยประเทศจีนมีการเชื่อโยงกับประเทศไทยได้หลายเส้นทาง เช่นผ่านเส้นทางตามแนวระเบียงเศรษฐกิจ (Economic Corridor) ที่มีแผนพัฒนาอย่างต่อเนื่องอีกทั้งข้อตกลงการขนส่งสิ้นค้าข้ามพรหมแดนระหว่างประเทศ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่มีบทบาทและศักยภาพในการพัฒนาสูงโดยที่มีโครงข่ายการขนส่งเชื่อมโยงสู่ สปป.ลาว เวียดนาม และจีนตอนใต้ที่จะเป็นช่องทางในการเพิ่มโอกาสในการแข่งขันกับประเทศผู้ค้าและผลิตน้ำตาลรายอื่นๆจากความร่วมมือทางเศรษฐกิจดังที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เกิดเส้นทางโลจิสติกส์หลายเส้นทางที่สามารถเชื่อมโยงระหว่างจีนตอนใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2. ข้อมูลและปัญหาเบื้องต้น

ประเทศไทยยังมีต้นทุนกิจกรรมในระบบโลจิสติกส์ของการขนส่งน้ำตาลที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากอาศัยการขนส่งทางถนนและรถบรรทุกเป็นส่วนใหญ่ ส่วนการขนส่งทางน้ำและทางรางยังไม่ถูกใช้ให้เกิดประสิทธิภาพ สาเหตุเกิดจากการบริหารจัดการและการเชื่อมต่อระหว่างรูปแบบการขนส่งที่ไม่มีประสิทธิภาพ [2]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นจึงทำการศึกษา ระยะทาง เวลา และต้นทุนการขนส่งน้ำตาลเพื่อทำการเปรียบเทียบหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด โดยมีรูปแบบการขนส่งเป็นการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal Transport)

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 กำหนดโครงข่ายทางเลือกเพื่อการส่งออกน้ำตาลจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ไปยังประเทศจีนตอนใต้

การกำหนดโครงข่ายการขนส่งทางเลือกใหม่เพื่อส่งออกน้ำตาลจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือไปยังประเทศจีนตอนใต้ผู้วิจัยจะทำการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามเกี่ยวกับรูปแบบการขนส่ง ช่องทางสำหรับการส่งออกและเส้นทางการขนส่งที่เชื่อมโยงระหว่างไทย สปป.ลาว เวียดนาม และจีนตอนใต้ พบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ที่มีบทบาทและศักยภาพในการพัฒนาสูง มีลักษณะภูมิประเทศที่ได้เปรียบเชิงภูมิศาสตร์ที่เป็นศูนย์กลางภูมิภาคเพื่อพัฒนาเส้นทางการขนส่ง ระดับภูมิภาคบนเส้นทางหลักที่เชื่อมโยงกับภูมิภาค (Regional Transport and Logistic Corridor) ซึ่งมีโครงข่ายการขนส่งดังนี้

3.1.1 โครงข่ายการขนส่งทางทะเล ท่าเรือ และจุดเปลี่ยนถ่ายสินค้า โครงข่ายการขนส่งทางทะเลสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือไม่มีพื้นที่ติดต่อทะเลแต่สามารถขนส่งด้วยรถบรรทุกหรือรถไฟไปยังท่าเรือที่สำคัญๆของไทย ได้แก่ ท่าเรือแหลมฉบัง ท่าเรือกรุงเทพฯ

3.1.2 โครงข่ายการขนส่งทางถนนที่สำคัญและสามารถเชื่อมโยงภาคตะวันออกเฉียงเหนือกับประเทศเพื่อนบ้าน เส้นทางหมายเลข 8 (R8) เส้นทางหมายเลข 9 (R9) เส้นทางหมายเลข 12 (R12) เส้นทางหมายเลข 13 (R13) ใน สปป.ลาว ซึ่งการขนส่งน้ำตาลจากโรงงานในปัจจุบันนิยมใช้รถบรรทุก 3 ประเภท 1) รถสิบล้อ 2) รถกึ่งพ่วง 3) รถพ่วง ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้รถบรรทุก 18 ล้อ 5 เพลาในการขนส่งซึ่งสามารถบรรทุกตู้คอนเทรนเนอร์ขนาด 20 ฟุต ได้ 1 ตู้ น้ำหนักรถบรรทุกประมาณ 25 ตันรวมน้ำหนักรถ [3]

3.1.3 โครงข่ายการขนส่งทางราง ผู้วิจัยจะศึกษารายละเอียดรถไฟโบกี้บรรทุกตู้สินค้า (บทต.) ใช้บรรทุกตู้คอนเทรนเนอร์ขนาด 20 ฟุต และสามารถบรรทุกสินค้าได้ 38-42 ตัน จากข้อมูลที่กล่าวข้างต้นทำให้สามารถกำหนดโครงข่ายทางเลือกใหม่พร้อมทั้งรูปแบบการขนส่งเพื่อการส่งออกน้ำตาลจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ขอนแก่น) ไปยังประเทศจีนตอนใต้ (ฮ่องกง) ทั้ง 7 โครงข่าย [4] ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงการกำหนดโครงข่ายทางเลือกและรูปแบบการขนส่งน้ำตาล

โครงข่ายทางเลือก	รูปแบบการขนส่ง
1: ขอนแก่น–ท่าเรือแหลมฉบัง–Hong Kong port	รถบรรทุก–เรือ
2: ขอนแก่น-นครพนม- Thakhek-Ha Noi-Nanning-Hong Kong	รถบรรทุก-รถบรรทุก-รถบรรทุก-รถบรรทุก-รถบรรทุก
3: ขอนแก่น–ท่าเรือแหลมฉบัง–Hong Kong port	รถไฟ–เรือ
4: ขอนแก่น–นครพนม- Thakhek – Vung Ang port – Hong Kong port	รถบรรทุก-รถบรรทุก-รถบรรทุก-เรือ
5: ขอนแก่น–นครพนม- Thakhek - Vung Ang port - Hong Kong port	รถไฟ-รถบรรทุก-รถบรรทุก-เรือ
6: ขอนแก่น - มุกดาหาร - Sawannakhet - Da Nang port - Hong Kong port	รถบรรทุก - รถบรรทุก -รถบรรทุก-เรือ
7: ขอนแก่น-หนองคาย– Loas – Sibsongpanna-Kunming-Nanning-Guangzhou-Hong Kong	รถไฟ-รถไฟ-รถไฟ-รถไฟ - รถไฟ-รถบรรทุก

3.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบระยะทาง ระยะเวลา และคำนวณหาต้นทุนการขนส่งน้ำตาลตามโครงข่ายทางเลือก

3.2.1 ระยะทาง ผู้วิจัยทำการทบทวนวรรณกรรมพร้อมทั้งสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามของแต่ละโครงข่ายทางเลือกโดยพิจารณาระยะทางในการขนส่งผ่านเมืองต่าง ๆจากจุดเริ่มต้นการขนส่งที่จังหวัดขอนแก่นประเทศไทยไปยังท่าเรือฮ่องกง ได้แก่ ระยะทางขนส่งทางทะเล ทางถนน และทางรางของแต่ละโครงข่ายทางเลือกดังนี้

ระยะทางขนส่งทางทะเล ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Netpas Distance ช่วยในการคำนวณหาระยะทางการขนส่ง

ระยะทางการขนส่งทางถนน ผู้วิจัยออกสำรวจเส้นทางการขนส่งจริงบันทึกระยะทางโดยโปรแกรม Gaia GPS และการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งใช้โปรแกรม Google Map ในการคำนวณหาระยะทางการขนส่ง ระยะทางการขนส่งทางราง ผู้วิจัยออกสำรวจเส้นทางจริงพร้อมทั้งศึกษาข้อมูลจากตารางการเดินรถไฟขนส่งสินค้า และศึกษาข้อมูลจากโครงการความร่วมมือระหว่างรัฐบาลไทยและจีนในการก่อสร้างรางรถไฟคู่ในประเทศไทยและโครงการรถไฟรางคู่สายภาคตะวันออกเฉียงเหนือของรัฐบาลไทย

3.2.2 ระยะเวลา ในการขนส่งผู้วิจัยศึกษาเกี่ยวกับ ระยะทาง เวลา ความเร็ว ทั้ง 3 รูปแบบการขนส่งพบว่าทั้งระยะทาง เวลา และความเร็วที่ใช้ในการขนส่งมีความสัมพันธ์กันคือ ระยะทาง (s) = ความเร็ว (v) x เวลา (t) ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการขนส่งแปรผันตามระยะทางและความเร็ว และศึกษาเกี่ยวกับกฎข้อบังคับเกี่ยวกับความเร็วของรถบรรทุกในประเทศต่างที่ขนส่งผ่าน

3.2.3 ต้นทุนการขนส่ง งานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์และคำนวณหาต้นทุนการขนส่งโดยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจาก งานวิจัยโครงการศึกษาวิเคราะห์ระบบโครงสร้างต้นทุนการขนส่งทางถนนและระบบโลจิสติกส์ (สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและการจราจร, 2553) พร้อมทั้งการสัมภาษณ์โรงงานผลิตน้ำตาลและผู้ประกอบการขนส่งน้ำตาลเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาต้นทุนการขนส่งน้ำตาลต่อ 1 TEU

3.3 วิเคราะห์และคัดเลือกโครงข่ายการขนส่งน้ำตาล เพื่อส่งออกไปยังประเทศจีนตอนใต้

3.3.1 กำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกและวิเคราะห์จากการทบทวนวรรณกรรมและกำหนดค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย

3.3.2 ให้คะแนนโครงข่ายทางเลือกสำหรับแต่ละปัจจัย

3.3.3 คำนวณหาค่าคะแนนความเหมาะสมของแต่ละโครงข่าย

3.3.4 คัดเลือกโครงข่ายที่เหมาะสมจากการคำนวณหาค่าคะเนนความเหมาะสมของแต่ละโครงข่าย

4.การคำนวณและวิเคราะห์ผล

จากการศึกษาและวิเคราะห์ผลโครงข่ายทางเลือกในการขนส่งน้ำตาลทั้ง 7 โครงข่ายพบ ว่า โครงข่ายที่ 2: ขอนแก่น-นครพนม- Loas-Vietnam-Nanning-Hong Kong ใช้รถบรรทุกในการขนส่งน้ำตาลตลอดเส้นทางการขนส่งพบว่ามีต้นทุนในการขนส่งที่สูงมาก โครงข่ายที่ 7: ขอนแก่น-หนองคาย –Loas–Kunming-Nanning-Guangzhou-Hong Kong ถึงแม้โครงข่ายนี้จะมีการขนส่งต่อเนื่องระหว่างรถไฟและรถบรรทุกก็ตาม ปัญหาที่พบคือ ขนาดของรางรถไฟที่ใช้ในการขนส่งระหว่างประเทศมีขนาดที่ไม่เท่ากัน คือประเทศไทยมีขนาดรางรถไฟเท่ากับ 1 เมตร ส่วนลาวและจีนนั้นมีขนาดรางเท่ากับ 1.432 เมตร จึงทำให้การขนส่งยังมีอุปสรรคประกอบกับระยะทางและระยะเวลาในการขนส่งก็สูง ส่งผู้ให้ต้นทุนการขนส่งสูงตามไปด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจะไม่นำโครงข่ายทางเลือกที่ 2และ7 มาพิจารณาในการเปรียบเทียบหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการขนส่งน้ำตาลในครั้งนี้

4.1 เวลาและระยะทางในการขนส่ง

จากการออกสำรวจภาคสนามจริงและใช้โปรแกรมต่างๆดังที่ได้กล่าวไว้ในวิธีวิจัย ผู้วิจัยได้ผลการสำรวจระยะทางและระยะเวลาในการขนส่งน้ำตาลของแต่ละโครงข่ายทางเลือกตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระยะทางและระยะเวลาแต่ละโครงข่ายทางเลือก

โครงข่ายทางเลือก	รูปแบบการขนส่ง			ระยะทาง (กม.)	ระยะเวลา (ชม.)
	รถบรรทุก (กม.)	รถไฟ (กม.)	เรือ (กม.)		
1	495.00	-	2,598.80	3,093.80	103.29
3	-	504.00	2,598.80	3,102.80	105.06
4	680.78	-	995.63	1,676.41	55.91
5	366.78	314.00	995.63	1,645.41	52.12
6	794.00	-	949.76	1,743.76	58.41

4.2 ต้นทุนการขนส่ง

ต้นทุนการขนส่งโดยรวมจากการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบในแต่ละโครงข่ายทางเลือกพิจารณาตามโครงสร้างต้นทุนคือต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน

4.2.1 ต้นทุนการขนส่งทางบก

งานวิจัยนี้ศึกษาต้นทุนการขนส่งตามรูปแบบของ สำนักนโยบายและแผนการขนส่งและการจราจร (สนข.)[5] และต้นทุนที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการขนส่ง วิธีการคำนวณหาต้นทุนการขนส่งแสดงดังตารางที่ 4 และ 5 ซึ่งเป็นต้นทุนการขนส่งของโครงข่ายทางเลือก

ตารางที่4แสดงต้นทุนการขนส่งทางบกของโครงข่ายทางเลือกที่ 6

ต้นทุนการขนส่งทางบก	บาท/กม.	บาท/เที่ยว
ต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิง	10.4	16,515.2
ต้นทุนน้ำมันหล่อลื่น	0.38	603.44
ต้นทุนเปลี่ยนยาง	1.62	2,572.56
ต้นทุนการประกันสินค้าเสียหาย	0.53	841.64
ต้นทุนการซ่อมและบำรุงรักษารถ	1.60	2,540.8
รวมต้นทุนแปรผัน	14.53	23,046.64
ต้นทุนพนักงานประจำรถ	2.87	4,557.56
ต้นทุนประกันตัวรถและค่าธรรมเนียมต่างๆ	0.47	746.36
ต้นทุนค่าเสื่อมราคารถ	2.60	4,128.8
ค่าใช้จ่ายในสำนักงาน	2.10	3,191.88
ค่าธรรมเนียมศุลกากร ไทย		8,000
ค่ายกตู้คอนเทนเนอร์ 20 ฟุต สปป.ลาว		3,000
ค่าธรรมเนียมศุลกากร สปป.ลาว		11,200
ค่าธรรมเนียมศุลกากรเวียดนาม		4,800
รวมต้นทุนคงที่	7.95	39,624.6
รวมต้นทุนทั้งหมด	29.06	62,671.24

4.2.1 ต้นทุนการขนส่งทางทะเลตัวอย่างการคำนวณหาต้นทุนการขนส่งทางทะเลโดยเรือบรรทุกสินค้าของโครงข่ายทางเลือกที่ 6 ออกมาดังแสดงตาราง

ตารางที่5 แสดงต้นทุนการขนส่งทางน้ำของโครงข่ายทางเลือกที่ 6

ต้นทุนการขนส่งทางทะเล	บาท/เที่ยว
ค่าระวางสินค้าทางเรือ(250USD/TEU)	7,500
ค่าธรรมเนียมต่างๆ ณ Da Nang port เช่น ค่าผ่านทาง,ค่าขนถ่ายตู้สินค้าที่ท่าเรือ,ค่าปิดผนึก	6,500
รวมต้นทุนการขนส่งทางทะเลทั้งหมด	14,000

จากตารางที่ 4 และ 5 พบว่าโครงข่ายทางเลือกที่ 6 มีต้นทุนรวมการขนส่งทั้งหมดเป็น 87,347.28 บาท/เที่ยว ผลการวิเคราะห์และคำนวณผลของแต่ละโครงข่ายทางเลือกในการขนส่งน้ำตาลจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือไปยังประเทศจีนตอนใต้แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดง ระยะทาง เวลา และต้นทุนการขนส่งของแต่ละโครงข่ายทางเลือก

โครงข่ายที่	ระยะทาง (กม.)	ระยะเวลา (ชม.)	ต้นทุน(บาท/TEU)
1	3,093.8	103.29	38,801.4
3	3,102.8	105.06	20,832.8
4	1,676.41	55.91	80,066.94
5	1,645.41	52.12	67,478.33
6	1,743.76	58.41	87,347.28

4.3 การคัดเลือกโครงข่ายการขนส่งน้ำตาลที่เหมาะสมสำหรับการส่งออกไปยังประเทศจีนตอนใต้

สำหรับการคัดเลือกโครงข่ายการขนส่งน้ำตาลที่เหมาะสม จะใช้วิธีการ Rating Factor ในการเลือก โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาได้แก่ ระยะทาง ระยะเวลา และต้นทุนการขนส่ง แสดงดังตางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	ค่าน้ำหนัก
ระยะเวลาในการขนส่ง	0.082
ระยะทางในการขนส่ง	0.099
ต้นทุนในการขนส่ง	0.819

ตารางที่ 7 แสดงปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกโครงข่ายทางเลือกและค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยจะทำการแบ่งระดับคะแนนออกเป็น 7 ระดับ จะแบ่งจากค่าข้อมูลที่มากที่สุดและน้อยที่สุดของโครงข่ายทางเลือกทั้งหมดและแบ่งออกเป็นช่วงแต่ละช่วงมีค่าเท่ากันเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินในแต่ละระดับคะแนนของแต่ละปัจจัย แสดงผลตามตาราง

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าคะแนนรวมของแต่ละโครงข่าย

ปัจจัย	ค่าน้ำหนัก	โครงข่ายทางเลือก				
		1	3	4	5	6
ระยะทาง	0.082	1 (0.082)	1 (0.082)	7 (0.574)	7 (0.574)	7 (0.574)
ระยะเวลา	0.099	1 (0.099)	1 (0.099)	7 (0.693)	7 (0.693)	7 (0.693)
ต้นทุน	0.819	6 (4.914)	7 (5.733)	2 (1.638)	3 (2.457)	1 (0.819)
คะแนนรวม		5.095	5.914	2.905	3.724	2.086
ความเหมาะสม		2	1	4	3	5

จากตารางที่ 8 โครงข่ายทางเลือกที่ 3 เป็นโครงข่ายทางเลือกที่มีค่าคะแนนรวมมากที่สุดเท่ากับ 5.914 คะแนน รองลงมาคือโครงข่ายทางเลือกที่ 1 มีค่าคะแนนรวมเท่ากับ 5.095 คะแนน ลำดับที่ 3 คือโครงข่ายทางเลือกที่ 5 มีค่าคะแนนรวมเท่ากับ 3.724 คะแนน ลำดับที่ 4 คือโครงข่ายทางเลือกที่ 4 มีค่าคะแนนรวมเท่ากับ 2.905 คะแนน และลำดับสุดท้ายคือโครงข่ายที่ 6 ซึ่งมีคะแนนรวมเท่ากับ 2.086 คะแนน

5. สรุป

ผลการคัดเลือกโครงข่ายการขนส่งสำหรับการส่งออกน้ำตาลจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือไปยังประเทศจีนตอนใต้ด้วยวิธีการ Rating Factor จากการวิเคราะห์โครงข่ายทางเลือกพบว่า โครงข่ายทางเลือกที่มีต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุดนั้นเป็นโครงข่ายที่ 3 (ขอนแก่น –ท่าเรือแหลมฉบัง– Hong Kong port) มีระยะทางการขนส่งทั้งหมด 3,102.8 กิโลเมตร ใช้เวลาในการขนส่ง 105.06 ชั่วโมง ต้นทุนรวมในการในส่ง 20,832.8 บาท/TEU ที่มีรูปแบบการขนส่งด้วยรถไฟและเรือ เนื่องจากการขนส่งทางรถไฟและเรือเป็นการขนส่งจำนวนมาก ส่งผลให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำลง โครงข่ายทางเลือกที่ 4และ5 ใช้เส้นทางการขนส่งเดียวกัน (ขอนแก่น–นครพนม- Loas –

Vung Ang port – Hong Kong port) แตกกันที่โครงข่ายทางเลือกที่ 5 ใช้รูปแบบการขนส่งด้วยรถไฟในการขนส่งจากจังหวัดขอนแก่นไปยังจังหวัดนครพนม เป็นผลทำให้ต้นทุนในการขนส่งโครงข่ายทางเลือกที่ 5 (67,478.33 บาท/TEU) ต่ำกว่าโครงข่ายทางเลือกที่ 4 (80,066.94 บาท/TEU) ส่วนเรื่องของระยะทาง เวลา ในการขนส่งของทั้งสองโครงข่ายทางเลือกจะต่ำกว่าเป็นเท่าตัวเมื่อเทียบกับโครงข่ายทางเลือกที่ 1 (เส้นทางที่ใช้ปัจจุบัน) โครงข่ายทางเลือกที่ 6 (ขอนแก่น-มุกดาหาร- Loas –Da Nang port – Hong Kong port) เป็นโครงข่ายที่มีต้นทุนการขนส่งสูงที่สุดเมื่อเทียบกับโครงข่ายที่ 1,3,4และ5 (87,347.28 บาท/TEU) ส่วนเรื่องของระยะทาง เวลา ในการขนส่งจะต่ำกว่าเป็นเท่าตัวเมื่อเทียบกับโครงข่ายที่ใช้ในปัจจุบัน (โครงข่ายทางเลือกที่ 1)

6. อภิปรายผล

จากการศึกษาพบว่า โครงข่ายทางเลือกที่ 4,5 และ6 มีต้นทุนในการขนส่งที่สูงกว่าโครงข่ายที่ใช้ในปัจจุบัน (โครงข่ายทางเลือกที่ 1) อันเนื่องมาจากค่าใช้จ่ายแฝงที่เกิดขึ้นในด่านศุลกากรของ สสป.ลาวและเวียดนามแต่มีความได้เปรียบในเรื่องของ ระยะทาง และระยะเวลาในการขนส่ง จากการออกสำรวจภาคสนามและการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการการขนส่งของผู้วิจัย พบว่าเส้นทางการขนส่งของโครงข่ายที่ 4และ5 เป็นเส้นทางที่คดเคี้ยว และสูงชัน อันเนื่องมาจากเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งเป็นเส้นทางขึ้นภูเขาสูง สภาพถนนแคบ ขรุขระ ในฤดูฝนอาจจะเกิดดินโคลนถล่มทับเส้นทาง และความพร้อมในด้านสิ่งอำนวยความสะดวกของ Vung Ang port ในปัจจุบันยังไม่สามารถรองรับสินค้าประเภทตู้คอนเทนเนอร์ได้มากพอตามความต้องการของลูกค้าส่วนโครงข่ายทางเลือกที่ 6 เป็นเส้นทางการขนส่งที่มีศักยภาพทางถนนที่ดีกว่าเส้นทางของโครงข่ายทางเลือกที่ 4และ5 ไม่ว่าจะเป็นสภาพพื้นผิวถนน ความคดเคี้ยว ความสูงชันของถนน และ Da Nang port เป็นท่าเรือที่สำคัญของเวียดนามตอนกลางมีความพร้อมในการรองรับสินค้าประเภทตู้คอนเทนเนอร์ได้มากพอต่อความต้องการของลูกค้า ปัจจุบันกำลังขยายและปรับปรุงท่าเทียบเรือคอนเทนเนอร์เพิ่มเติมพร้อมทั้ง สิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆที่เอื้อต่อการขนส่งหรือเปลี่ยนโหมดการขนส่ง เช่น ลานฝากตู้คอนเทนเนอร์ให้สามารถอำนวยความสะดวกและรองรับเรือที่มีขนาดระวางบรรทุกได้มากขึ้น (8,000-10,000 TEUs) ให้แล้วเสร็จภายในปี 2020 ถึงแม้ว่าจะมีต้นทุนในการขนส่งที่สูงก็ตามแต่ถ้าหากในอนาคตความตกลงว่าด้วยการขนส่งข้ามพรหมแดนอนุภาคลุ่มแม่น้ำโขง(GMS CBTA) ครอบคลุมทุกเส้นทางการขนส่งจะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายแฝงที่เกิดขึ้นใน สปป.ลาว และเวียดนามได้จะส่งผลให้ต้นทุนในการขนส่งลดต่ำลงเป็นอย่างมาก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอเส้นทางการขนส่งโครงข่ายทางเลือกที่ 6 ขอนแก่น (รถบรรทุก)-มุกดาหาร (รถบรรทุก)-สปป.ลาว (รถบรรทุก)–Da Nang port (เรือ)–Hong Kong port เพื่อการส่งออกน้ำตาลจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือไปยังประเทศจีนตอนใต้ไว้เป็นเส้นทางส่งออกน้ำตาลในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้าง

[1] สถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย, กระทรวงพาณิชย์, ข้อมูลจากจาก www2.ops3.moc.go.th (วันที่สืบค้นข้อมูล 3 กันยายน 2557)

[2] ประมวล จันทร์ชีวะ, การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal Transport) หลักการและแนวทางการทำความเข้าใจ พ.ร.บ. การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ พ.ศ. 2548.กรุงเทพฯ: คณะอนุกรรมการประกันภัยทางทะเลและขนส่ง, 2550

[3] การกำหนดน้ำหนักรถบรรทุก กองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง, กรมทางหลวง, ข้อมูลจากจาก http://www.motorway.go.th (วันที่สืบค้นข้อมูล 5 สิงหาคม 2557)

[4] อนุวรรตน์ ศรีสวัสดิ์, การศึกษาโครงข่ายโลจิสติกส์ใหม่เชื่อมโยงภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยและประเทศจีน กรณีศึกษา: การส่งออกยางพารา, 2555

[5] เขม ชุดทอง, การศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนโลจิสติกส์ด้านการขนส่งสำหรับการส่งออกยางพาราจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนไปสู่ประเทศจีน ระหว่างเส้นทางเดิมผ่านท่าเรือแหลมฉบังและเส้นทางใหม่ผ่าน สปป.ลาวและท่าเรือในประเทศเวียดนาม, 2556

การวิเคราะห์แนวทางการลดต้นทุนและพัฒนาระบบต้นทุนฐานกิจกรรมสำหรับบริการจัดส่งสินค้าพร้อมเรียกเก็บเงิน

Approaches to Cost Reduction Analysis and A Development of Activity-Based Costing System in Cash on Delivery Service

ณัฐพล ศรีทอง[1*] กาญจนา กาญจนสุนทร[2]
[1,2]สาขาวิชาวิศวกรรมธุรกิจ บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400 E-mail: s.nataphon@gmail.com[*]

Nataphon Srithong[1*], Kanchana Kanchanasuntorn[2]
[1,2]Department of Business Engineering, Graduate School,
University of the Thai Chamber of Commerce, Dindang, Bangkok, 10400, E-mail: s.nataphon@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อนำเสนอแนวทางในการปรับลดหรือกำจัดต้นทุนความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานภายในโซ่อุปทานของธุรกิจให้บริการด้านการจัดส่งสินค้าพร้อมเรียกเก็บเงิน โดยมีขอบเขตการศึกษาตั้งแต่กิจกรรมการรับฝากสินค้าจากผู้ฝากส่ง (ผู้ขาย) ไปจนถึงการนำจ่ายสินค้าให้แก่ผู้รับ (ผู้ซื้อ) การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากิจกรรมที่มีความเกี่ยวข้องกับการให้บริการ ประเมินมูลค่าเพิ่มของกิจกรรม วิเคราะห์หาต้นทุนโลจิสติกส์และกำหนดเกณฑ์ในการปันส่วนที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการพัฒนาวิธีการคำนวณต้นทุนและกำหนดกลยุทธ์ด้านอัตราค่าบริการ ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคแผนภาพกระบวนการทางธุรกิจ แผนผังสายธารคุณค่า และระบบต้นทุนฐานกิจกรรม ผลจากการศึกษา สามารถระบุกิจกรรมที่เกี่ยวข้องได้ทั้งสิ้นจำนวน 24 กิจกรรม แบ่งออกเป็น 7 ศูนย์กิจกรรม เมื่อวิเคราะห์กิจกรรมและความสูญเปล่าในสายธารคุณค่าสามารถจำแนกกิจกรรมออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่มีคุณค่าเพิ่ม 2) กิจกรรมที่ไม่มีคุณค่าเพิ่ม และ 3) กิจกรรมที่มีคุณค่าเพิ่ม โดยมีสัดส่วนของเวลาภายในการดำเนินงานในโซ่อุปทานทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 99.50, 0.13 และ 0.37 ตามลำดับ ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงโดยการกำจัดกิจกรรมที่ไม่มีคุณค่าเพิ่มและปรับลดกิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่มีคุณค่าเพิ่ม จากผลการปรับปรุงพบว่าสามารถลดระยะเวลาในการดำเนินงานต่อหน่วยลงได้ร้อยละ 0.12 คำนวณเป็นต้นทุนกิจกรรมของกิจกรรมที่ลดลงได้เท่ากับ 25,932,230.72 บาทต่อปี หรือคิดเป็นสัดส่วนที่ลดลงร้อยละ 10.66 ของต้นทุนกิจกรรมทั้งหมด

คำหลัก จัดส่งสินค้าพร้อมเรียกเก็บเงิน แผนภาพกระบวนการทางธุรกิจ แผนผังสายธารคุณค่า ต้นทุนฐานกิจกรรม

Abstract

The research explores and presents approaches to cost and waste reduction in Cash of Delivery service supply chain which its operations begin at item posting activity from senders (sellers) to item delivery activity to recipients (buyers). The objectives of the research are to examine activities related to the service, to assess value-add of activities, to analyze logistics costs and to determine costing allocation criteria which are suitable for applying to cost calculation improvement and pricing strategy development. Research techniques being used in the study are Business Process Mapping, Valued Stream Mapping,

Activity-Based Costing. The research finds that there were altogether 24 related activities divided into 7 activity centers. After the activities and waste in value stream have been analyzed, they can be classified into 3 categories: necessary but non-value added activities, non-value added activities and valued added activities with the proportion of total operating time at the percentage of 99.50, 0.13 and 0.37 respectively. In order to improve the efficiency of the supply chain, recommended approaches are eliminating non-value added activities and reducing necessary activities but non-value added activities. As a result, operation lead time per unit can be reduced 0.12% and activity based costs can be decreased by 25,932,230.72 baht per year or 10.66% of total activity based costs.

Keywords: Cash on Delivery, Business Process Mapping, Value Stream Mapping, Activity-Based Costing

1. บทนำ

ปัจจุบันสภาพแวดล้อมทางธุรกิจที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ตลอดจนเกิดสภาวะการแข่งขันทางธุรกิจที่นับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ เป็นเหตุให้หลายองค์กรต้องมีการปรับกลยุทธ์การบริหารจัดการองค์กรใหม่ หากองค์กรใดสามารถบริหารจัดการต้นทุนโลจิสติกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว จะทำให้สามารถมองเห็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงได้อย่างชัดเจนมากขึ้น เพราะต้นทุนโลจิสติกส์จะสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลในกระบวนการทำงาน ซึ่งการจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ถือเป็นกลยุทธ์ที่มีความสำคัญที่เข้ามามีบทบาทต่อการดำเนินธุรกิจมากขึ้น เนื่องจากกระบวนการโลจิสติกส์มีความสำคัญต่อต้นทุนขององค์กร

จากการศึกษาข้อมูลด้านค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของบริษัทกรณีศึกษา พบว่า บริษัทกรณีศึกษาใช้ระบบบัญชีต้นทุนแบบเดิม (Traditional Cost) โดยได้แสดงรายการค่าใช้จ่ายตามลักษณะเท่านั้น ซึ่งไม่ได้จำแนกตามประเภทของการให้บริการ ทำให้ไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานกับกิจกรรมการให้บริการ และยากต่อการนำข้อมูลค่าใช้จ่ายไปใช้วิเคราะห์ต้นทุนบริการและการควบคุมงบประมาณในการดำเนินงาน

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้เทคนิคแผนภาพกระบวนการทางธุรกิจ (Business Process Mapping: IDEF0) แผนผังสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping: VSM) และต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing: ABC) เพื่อศึกษากิจกรรมและวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์หาเกณฑ์การปันส่วนต้นทุนที่เหมาะสมนำไปใช้เป็นแนวทางการพัฒนาระบบการคำนวณต้นทุนสำหรับให้องค์กรใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนและกำหนดกลยุทธ์ด้านอัตราค่าบริการต่อไป โดยการวิจัยได้มุ่งเน้นตั้งแต่กระบวนการรับฝากสินค้าจากผู้ฝากส่ง (ผู้ขาย) ไปจนถึงการจัดส่งสินค้าให้แก่ผู้รับ (ผู้ซื้อ) พร้อมเรียกเก็บเงินค่าสินค้า และโอนเงินค่าสินค้าคืนให้แก่ผู้ขายด้วย

หากบริษัทกรณีศึกษาสามารถเชื่อมโยงและควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนที่เกิดขึ้นได้ ทำให้การควบคุมงบประมาณเป็นไปอย่างประสิทธิภาพ สอดคล้องกับคุณค่าของกิจกรรมในกระบวนการทำงาน ซึ่งถือเป็นการช่วยเพิ่มความสามารถทางการแข่งขันในระยะยาวให้แก่บริษัทกรณีศึกษาต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดแบบลีน (Lean) เป็นการปรับปรุงและพัฒนาให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดและเพิ่มคุณค่าอย่างต่อเนื่องตามคุณค่าในมุมมองของลูกค้า เพื่อกำจัดความสูญเปล่าตามแนวคิดระบบการผลิตแบบโตโยต้า [1] ที่ระบุกิจกรรมที่ไม่มีคุณค่าเพิ่มไว้ 7 ประการ ได้แก่ การผลิตมากเกินพอดี, การรอคอย, การขนส่งหรือลำเลียงที่ไม่จำเป็น, ขั้นตอนการผลิตเกินจำเป็นหรือไม่ถูกต้อง, สินค้าคลังที่มากเกินไป, การเคลื่อนไหวเกินจำเป็น และข้อบกพร่องของชิ้นส่วน [2] [3]

IDEF0 ใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจ ซึ่งมุ่งเน้นในการบ่งชี้กระบวนการ แสดงถึงรูปร่าง การจัดการธุรกิจ การปรับปรุงกระบวนการ และระบบที่ซับซ้อนในรูปแบบของกิจกรรมทางธุรกิจ (Activity Modeling) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการดำเนินงานในแต่ละกิจกรรมที่มีการใช้ทรัพยากรและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในแต่ละกระบวนการของโซ่อุปทาน

โดยพบว่า มีการนำ IDEF0 ไปประยุกต์ใช้กับการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการบริหารจัดการในภาคอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น การออกแบบและปรับปรุงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมกุ้งขาวในประเทศไทย [4] ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการตัดสินใจและทิศทางการไหลของข้อมูลความสัมพันธ์ในแต่ละกิจกรรมของกระบวนการทำงาน ทรัพยากรที่นำไปใช้ และปัจจัยที่กำกับในแต่ละกระบวนการทั้งโซ่อุปทาน นอกจากนี้ ยังมีการนำ IDEF0 ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองอ้างอิงการดำเนินงานในโซ่อุปทาน (SCOR Model) และแผนภาพการไหลของกระบวนการ (Flow Process Chart) เพื่อวิเคราะห์คุณค่ากิจกรรมและการไหลของข้อมูลในอุตสาหกรรมการผลิตชุดชั้นในสตรี [5] และเพื่อแก้ปัญหาการส่งมอบสินค้าล่าช้าให้กับลูกค้าในอุตสาหกรรมการผลิตไก่สดแช่แข็งส่งออก [6]

VSM เป็นเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการพัฒนากลยุทธ์การผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing Strategy) ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับทุกธุรกิจด้วยแผนภาพลำดับเรื่อง (Story Board) ในการปฏิบัติงาน VSM จึงเป็นเส้นทางที่มีประสิทธิผลนำไปสู่ลีนทั้งการไหลของวัสดุและสารสนเทศที่เป็นอิสระซึ่งการจัดการด้วยสายตา (Visual Management) [7] ทำให้แน่ใจว่าทุกคนในองค์กรได้รับรู้เป้าหมายอย่างทั่วถึงและยังเป็นแนวทางที่ใช้จำแนกกิจกรรมที่สร้างคุณค่าเพิ่มและกิจกรรมที่เกิดความสูญเปล่า โดยนำข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สถานะในปัจจุบัน (Current State) สำหรับใช้ในการกำหนดสถานะในอนาคต (Future State) โดยจัดจำแนกกิจกรรมตามคุณค่าเป็น 3 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมที่ไม่มีคุณค่าเพิ่ม (Non-Value Added: NVA) กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่มีคุณค่าเพิ่ม (Necessary but Non-Value Added: NNVA) และกิจกรรมที่มีคุณค่าเพิ่ม (Value Added: VA) โดยมีการนำ VSM มาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตเหมืองแร่ เพื่อจำแนก NVA ออกจาก VA ตามหลักพื้นฐานของลีน 5 ประการ [8] ได้แก่ 1) การนิยามและกำหนดคุณค่าตามมุมมองลูกค้า 2) การวิเคราะห์สายธารคุณค่า 3) การไหลของการผลิตอย่างต่อเนื่อง 4) ระบบการไหลจากการดึงของลูกค้า และ 5) ความสมบูรณ์แบบจากการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ ยังมีการนำ VSM ไปใช้ผลักดันองค์กรไปสู่การผลิตและวิสาหกิจแบบลีน (Lean Manufacturing & Enterprise) [9] เพื่อทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถระบุและกำจัดของเสียทุกชนิดออกจากกระบวนการ ทำให้ได้แนวทางการปรับปรุงกระบวนการการพัฒนาคุณค่าและลดต้นทุนอย่างต่อเนื่อง [14] VSM เป็นเทคนิคอย่างง่าย แม้จะไม่เคยมีประสบการณ์มาก่อนก็ตาม จึงถูกนำไปใช้ปรับปรุงความสามารถในอุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมรองเท้า [17] ทำให้ได้ผังงานที่มีประสิทธิภาพ แม้กระทั่งในโซ่อุปทานอาหาร VSM ก็ยังได้รับการยอมรับจากนักวิจัยทั่วโลกด้านประสิทธิภาพในการปรับปรุงกระบวนการและวิเคราะห์ความสูญเปล่า สำรวจปัญหาและโอกาสต่างๆ เช่น การผลิตซอสและแยม ผลิตภัณฑ์จากเนื้อหมู [16] เป็นต้น ในประเทศไทยมีการนำ VSM มาช่วยระบุว่ากิจกรรมต่างๆ ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมบ่อเลี้ยงกุ้งขาวจนกระทั่งถึงกระบวนการขนย้ายผลิตภัณฑ์ไปยังท่าเรือเพื่อส่งออก โดยสร้างแผนภาพกระบวนการผลิตจำแนกตามกิจกรรม (Process Activity Mapping) และคำนวณหาเวลาที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม ทำให้ทราบถึงสัดส่วนของ VA, NNVA และ NVA [4]

ABC เป็นเครื่องมือบริหารงานฐานคุณค่า (Value-Based Management) เชื่อมโยงการบริหารระดับองค์กรสู่ระดับปฏิบัติงาน โดยพิจารณาหน้าที่ความรับผิดชอบของแต่ละหน่วยงานตลอดทั้งกิจการ (Cross-Functional) ในลักษณะที่มองกิจกรรมเป็นภาพรวม (Integrated View) มีจุดประสงค์สำคัญเพื่อให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริหารให้เข้าใจต่อพฤติกรรมต้นทุน (Cost Behavior) ทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในองค์กร ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลให้ต้นทุนกิจกรรมต่างๆ เพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยการระบุกิจกรรมขององค์กร ต้นทุนกิจกรรม และตัวผลักดันต้นทุน (Cost Driver) ที่เป็นประโยชน์ต่อการคำนวณต้นทุนการผลิตหรือบริการ และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพด้านต้นทุนและการพัฒนากิจกรรมต่างๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อลดความสูญเปล่าหรือกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า จากคำกล่าวที่ว่า “ถ้าเกิดไม่มีการวิเคราะห์ลึกลงไปในกิจกรรมคงเป็นการยากที่จะทำให้พัฒนากระบวนการนั้นให้ประสบผลสำเร็จ” แสดงให้เห็นได้ว่า หากจะทำการปรับปรุงกระบวนการควรจะวิเคราะห์ต้นทุนด้วย ABC มากกว่าการวิเคราะห์

ต้นทุนรวมด้วยระบบบัญชีต้นทุนแบบดั้งเดิม [10] และเพื่อเจาะลึกลงไปจากระบบต้นทุนบัญชีแบบดั้งเดิมนั้น ABC จึงได้ถูกพัฒนาและนำมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกต้นทุนตามกิจกรรมต่างๆ เพื่อช่วยในการแสดงให้เห็นต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรม และสะท้อนให้เห็นภาพของต้นทุนที่ถูกใช้ไปในกิจกรรมนั้นๆ ได้อย่างละเอียด โดยให้ความสำคัญในความสัมพันธ์ของกิจกรรมในกระบวนการ เวลาที่สูญเปล่า และต้นทุน โดยองค์กรที่มีการให้ความสำคัญในความสัมพันธ์ของเวลาและต้นทุนในการจัดการโซ่อุปทานนั้นจะช่วยให้สามารถตัดสินใจในการสร้างคุณค่าเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีขึ้น [11] นอกจากนี้ ABC ยังสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือสาหรับการตัดสินใจในเรื่องของกลไกต้นทุนที่มีความถูกต้อง แม่นยำ และเชื่อถือได้ ช่วยให้ผู้จัดการตระหนักถึงตัวแปรที่ก่อให้เกิดต้นทุนทางอ้อมและต้นทุนส่วนสนับสนุนของกระบวนการซึ่งใช้ทรัพยากรขององค์กรไปโดยไม่ได้ก่อให้เกิดคุณค่า ทำให้สามารถระบุและกำจัดกิจกรรม NVA มากไปกว่านั้น ABC ยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือวัดสมรรถนะของโซ่อุปทานได้อีกด้วย [12] ซึ่งจะเห็นได้จากการนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีศึกษาในโรงงานผลิตน้ำดื่ม [13] โรงงานผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรม [14] และโรงงานผลิตกระดาษทราย [15] เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ โดยจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับ ABC ทำให้ทราบว่า ABC จะทำให้สามารถลดข้อจำกัดด้านการวัดผลทางเศรษฐศาสตร์ของ VSM ได้อีกด้วย

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทกรณีศึกษา ได้แก่ การศึกษาสภาพปัจจุบันและวิเคราะห์กิจกรรม การรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) จากเอกสารคู่มือ การสังเกตและเก็บข้อมูลจากสถานที่ปฏิบัติงานจริง รวมทั้งการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรง

3.2 ศึกษาเรื่องเกี่ยวกับการลดต้นทุนความสูญเปล่าและตัวอย่างการประยุกต์ใช้ในกิจการต่างๆ

3.3 ศึกษากระบวนการทำงานด้วยการใช้ IDEF0 เพื่อแสดงสถานะปัจจุบัน (As-Is) และนำไปปรับปรุงให้เกิดผลลัพธ์ (Output) ที่มีประสิทธิภาพโดยได้กำหนดปัจจัยควบคุม (Control) และตัวขับเคลื่อน (Mechanism) เพื่อการสร้างกลยุทธ์และเป้าหมายระยะยาวต่อไป

3.4 การเขียน VSM สถานะปัจจุบัน (As-Is) ของโซ่อุปทาน เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์กิจกรรมตั้งแต่ต้นน้ำ (Upstream) จนถึงปลายน้ำ (Downstream) หรือตั้งแต่ขั้นตอนการรับฝาก การส่งต่อ และการนำจ่ายสินค้าให้แก่ผู้รับปลายทาง รวมทั้งการจำแนกประเภทของกิจกรรมตามมุมมองการเกิดคุณค่าภายใต้แนวคิดการจัดการห่วงโซ่คุณค่า (Value Chain)

3.5 การประยุกต์ใช้ระบบ ABC ในการศึกษาต้นทุนกิจกรรมโลจิสติกส์ (Logistics Cost Analysis)

3.6 เสนอแนวทางการลดต้นทุนความสูญเปล่าด้วยการกำจัดและปรับลดกิจกรรมในโซ่อุปทานต่อไป

3.7 สรุปผลและเสนอข้อเสนอแนะ

4. ผลที่ได้จากการวิจัย

จากการดำเนินงานการวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้ผลจากการวิจัย ดังนี้

4.1 บริการจัดส่งสินค้าพร้อมเรียกเก็บเงินของบริษัทกรณีศึกษาเป็นบริการเฉพาะสำหรับกลุ่มลูกค้า e-Commerce กลุ่มลูกค้าที่โฆษณาขายสินค้าทางโทรทัศน์ และกลุ่มลูกค้าเสนอขายสินค้าผ่านโทรศัพท์เท่านั้น ทำให้มีแนวทางในการให้บริการที่แตกต่างจากกลุ่มลูกค้าทั่วไปที่ใช้บริการจัดส่งสินค้าเก็บเงินปลายทางซึ่งสามารถใช้บริการได้ ณ หน่วยบริการรับฝากและนำจ่ายทุกแห่งทั่วประเทศ โดยไม่ต้องขออนุญาตใช้บริการก่อน

4.2 การประยุกต์ใช้ IDEF0 (ดังแสดงในรูปที่ 1) ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลเสียต่อการดำเนินงานของโซ่อุปทานกรณีศึกษา ซึ่งพบว่า มีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ซ้ำซ้อนและการบริหารจัดการภายในยังขาดประสิทธิภาพ โดยปัญหาที่พบนั้นสามารถเสนอแนวทางการแก้ไขได้ 2 ประเด็น คือ

4.2.1 แนวทางการแก้ไขปัญหาขั้นตอนการปฏิบัติงานมีความซ้ำซ้อน พบว่า ลักษณะการปฏิบัติงานการคัดเลือกโซนพื้นที่ของหน่วยบริการรับฝากและการคัดเลือกรหัสไปรษณีย์ของหน่วยคัดแยกที่คล้ายคลึงกัน หากรวมขั้นตอนการปฏิบัติงานทั้ง 2 ส่วนเข้าด้วยกัน จะสามารถช่วยลดขั้นตอนการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องลงได้ ไม่ว่าจะเป็นจำนวนครั้งในการส่งมอบและการปิดถุง จะทำให้มีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่กระชับและมีระยะเวลาในดำเนินงานที่ลดลงด้วย

4.2.2 แนวทางการแก้ไขปัญหาการบริหารจัดการภายในขาดประสิทธิภาพ จึงควรเพิ่มการพยากรณ์เกี่ยวกับปัจจัยในโซ่อุปทาน ได้แก่ ราคาตลาด และปริมาณงาน ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่ช่วยในการตัดสินใจของผู้บริหารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของโซ่อุปทานกรณีศึกษา โดยการพยากรณ์จะทำให้ทราบถึงปริมาณอุปทาน (Supply) และอุปสงค์ (Demand) สามารถวางแผนการดำเนินงานได้อย่างเหมาะสมและแม่นยำมากขึ้น สามารถจัดเตรียมปัจจัยที่จำเป็นได้เพียงพอและสอดคล้องกับปริมาณงาน รวมทั้งสามารถรองรับความต้องการที่จะเพิ่มขึ้นอีกด้วย

4.3 การใช้ VSM ในการจำแนกประเภทและกำหนดมุมมองการเกิดคุณค่าของกิจกรรมในโซ่อุปทาน (ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2) และรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 1 สามารถสรุปได้ว่ากระบวนการให้บริการนี้ มี VA จำนวน 9 กิจกรรม ใช้เวลารวม 3.6605 นาที NNVA จำนวน 13 กิจกรรม ใช้เวลารวม 994.5558 นาที และ NVA จำนวน 2 กิจกรรม ใช้เวลารวม 1.3383 นาที

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์และเวลาที่ใช้จำแนกตามคุณค่ากิจกรรม

คุณค่า	กิจกรรม	เวลาในการวิเคราะห์สายธารคุณค่า (นาที)	
VA	การรับฝากเข้าระบบ	1.0526	**3.6605** (0.37%)
	การเรียกเก็บเงินค่าบริการ	0.1094	
	การคัดเลือกตามโซนพื้นที่	0.1090	
	การคัดเลือกตามรหัสไปรษณีย์	0.1090	
	การคัดเลือกเข้าด้านจ่าย	0.1200	
	การเรียงจ่าหน้า	0.1526	
	การนำจ่ายและเรียกเก็บเงินจากผู้รับ	1.8820	
	การส่งเงินค่าสินค้าเข้าระบบ CA POS	0.1094	
	การประมวลผลและจัดทำใบโอนเงิน	0.0165	
NNVA	การจัดทำบัญชีและนำลงถุง (ต้นทาง)	0.5463	**994.5558** (99.50%)
	การปิดถุง (ต้นทาง)	0.4109	
	การส่งมอบถุงกับรถขนส่ง (ต้นทาง)	0.6185	
	การขนส่งไปยังหน่วยคัดแยก	480.0000	
	การรับมอบถุงจากรถขนส่ง (กลางทาง)	0.5607	
	การเปิดถุง (กลางทาง)	0.1415	
	การจัดทำบัญชีและนำลงถุง (กลางทาง)	0.5463	
	การปิดถุง (กลางทาง)	0.4109	
	การส่งมอบถุงกับรถขนส่ง (กลางทาง)	0.6185	
	การขนส่งไปยังปลายทาง	480.0000	
	การรับมอบถุงจากรถขนส่ง (ปลายทาง)	0.5607	
	การเปิดถุง (ปลายทาง)	0.1415	
	การขนส่งไปยังที่อยู่ผู้รับ	30.0000	
NVA	การจัดทำเอกสารนำจ่าย	0.2857	**1.3383** (0.13%)
	การบันทึกหลังการนำจ่าย	1.0526	

4.4 จากการระบุกิจกรรมเพื่อนำไปวิเคราะห์ ABC สามารถสรุปได้ทั้งหมด 7 ศูนย์กิจกรรม และ 24 กิจกรรม

ตารางที่ 2 แสดงศูนย์กิจกรรมและกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง

ศูนย์กิจกรรม		กิจกรรม	
A	การรับฝาก	A01	การรับฝากเข้าระบบ
		A02	การเรียกเก็บเงินค่าบริการ
B	การคัดเลือกโซนพื้นที่	B01	การคัดเลือกโซนพื้นที่
		B02	การจัดทำบัญชีและนำลงถุง
		B03	การปิดถุง
		B04	การส่งมอบถุงกับรถขนส่ง
C	การคัดเลือกรหัสไปรษณีย์	C01	การรับมอบถุงจากรถขนส่ง
		C02	การเปิดถุง
		C03	การคัดเลือกรหัสไปรษณีย์
		C04	การจัดทำบัญชีและนำลงถุง
		C05	การปิดถุง
		C06	การส่งมอบถุงกับรถขนส่ง
D	การคัดเลือกด้านจ่าย	D01	การรับมอบถุงจากรถขนส่ง
		D02	การเปิดถุง
		D03	การคัดเลือกด้านจ่าย
E	การนำจ่าย	E01	การเรียงจ่าหน้า
		E02	การจัดทำเอกสารนำจ่าย
		E03	การขนส่งไปยังที่อยู่ผู้รับ
		E04	การนำจ่ายและเรียกเก็บเงิน
		E05	การบันทึกหลังการนำจ่าย
F	การโอนเงิน	F01	การประมวลผลและจัดทำใบโอนเงิน
T	การขนส่ง	T01	การขนส่งจากหน่วยรับฝากไปยังหน่วยคัดแยก
		T02	การขนส่งจากหน่วยคัดแยกไปยังหน่วยนำจ่าย
		T03	การขนส่งจากหน่วยนำจ่ายไปยังที่อยู่ผู้รับ

หลังจากการคำนวณต้นทุนกิจกรรมโลจิสติกส์แล้ว สามารถจัดอันดับต้นทุนกิจกรรมตามศูนย์กิจกรรมแสดงได้ดังตาราง

ตารางที่ 3 แสดงศูนย์กิจกรรมและกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง

ศูนย์กิจกรรม		ต้นทุนค่าใช้จ่าย (บาท)	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)	สัดส่วน (ร้อยละ)
1	การขนส่ง (T)	116,728,160.00	11.58	47.99
2	การนำจ่าย (E)	63,158,170.41	6.26	25.97
3	การคัดเลือกรหัสไปรษณีย์ (C)	21,835,457.36	2.17	8.98
4	การคัดเลือกโซนพื้นที่ (B)	19,489,722.48	1.93	8.01
5	การรับฝาก (A)	10,515,769.07	1.04	4.32
6	การคัดเลือกด้านจ่าย (D)	10,435,900.98	1.03	4.29
7	การโอนเงิน (F)	1,060,740.98	0.11	0.44
รวม		**243,223,921.28**	**24.12**	**100.00**

ตารางที่ 4 แนวทางการลดต้นทุนและผลที่ได้รับ

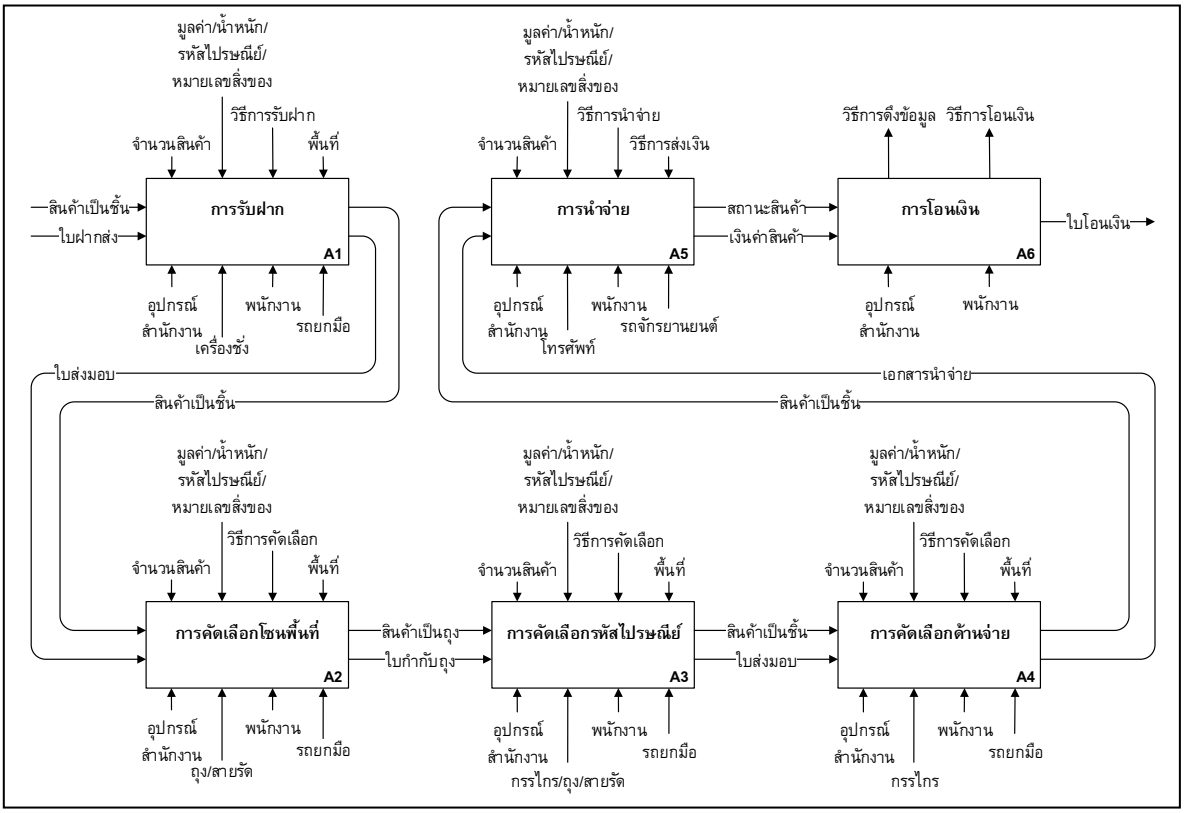
กิจกรรมที่พบปัญหา	แนวทางการลดต้นทุน	ผลที่ได้รับ
E04 การบันทึกหลังการนำจ่าย	ปรับขั้นตอนการดำเนินงานในโซ่อุปทานกรณีศึกษา กำจัด NVA ออกไป โดยให้เจ้าหน้าที่นำจ่ายบันทึกการนำจ่ายพร้อมกับขั้นตอนการนำจ่ายและเรียกเก็บเงินจากผู้รับทันที	สามารถลดต้นทุนลงได้ 9,965,765.78 บาทต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 4.10 ของต้นทุนกิจกรรมทั้งหมด
C05 การปิดถุง (กลางทาง)	พิจารณาหาแนวทางหรือวิธีการศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานเพื่อรวมกิจกรรมการคัดเลือกโซนพื้นที่และรหัสไปรษณีย์เข้าไว้ในขั้นตอนเดียวกัน จะส่งผลให้สามารถลดขั้นตอนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องลง	สามารถลดต้นทุนลงได้ 5,131,513.17 บาทต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 2.11 ของต้นทุนกิจกรรมทั้งหมด
C03 การคัดเลือกรหัสไปรษณีย์		สามารถลดต้นทุนลงได้ 4,534,934.90 บาทต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 1.86 ของต้นทุนกิจกรรมทั้งหมด
C04 การจัดทำบัญชีและนำลงถุง (กลางทาง)		สามารถลดต้นทุนลงได้ 5,378,429.26 บาทต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 2.21 ของต้นทุนกิจกรรมทั้งหมด
C02 การเปิดถุง (กลางทาง)		สามารถลดต้นทุนลงได้ 921,587.61 บาทต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 0.38 ของต้นทุนกิจกรรมทั้งหมด

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

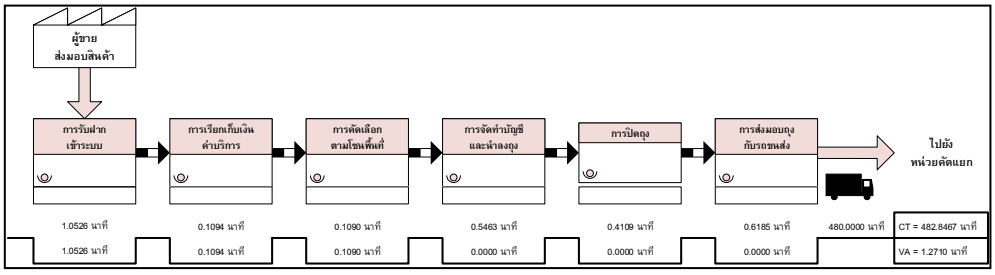
งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์แนวทางการลดต้นทุนและพัฒนาระบบต้นทุนฐานกิจกรรมสำหรับบริการจัดส่งสินค้าพร้อมเรียกเก็บเงินโดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือ IDEF0, VSM และ ABC สำหรับบริการจัดส่งสินค้าพร้อมเรียกเก็บเงิน ตั้งแต่กระบวนการรับสินค้าจากผู้ฝากส่ง (ผู้ขาย) ไปจนถึงการจัดส่งสินค้าให้แก่ผู้รับ (ผู้ซื้อ) พร้อมเรียกเก็บเงินค่าสินค้าจากผู้ซื้อ และโอนเงินค่าสินค้าคืนให้แก่ผู้ขาย ทำให้ลดระยะเวลาในการดำเนินงานต่อหน่วยลงได้ร้อยละ 0.12 สามารถคำนวณเป็นต้นทุนกิจกรรมที่ลดลงได้เท่ากับ 25,932,230.72 บาทต่อปี หรือคิดเป็นสัดส่วนที่ลดลงร้อยละ 10.66 ของต้นทุนกิจกรรมทั้งหมด

จากสรุปผลข้างต้น ผู้วิจัยสามารถให้ข้อเสนอแนะในเชิงกลยุทธ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโซ่อุปทานบริการจัดส่งสินค้าพร้อมเรียกเก็บเงินโดยมุ่งเน้นการสร้างมาตรฐานด้านคุณภาพในการให้บริการแก่โซ่อุปทานกรณีศึกษา ในทุกขั้นตอนตั้งแต่การรับฝากไปจนถึงการนำจ่ายและเรียกเก็บเงินค่าสินค้าจากผู้รับเรียบร้อย โดยมุ่งสู่มาตรฐาน ISO 9000 เพื่อมุ่งสร้างความพึงพอใจแก่ผู้ใช้บริการอย่างเป็นระบบ หรืออาจจะพิจารณาเลือกใช้กลยุทธ์โครงสร้างหรือบริการโลจิสติกส์จากบุคคลภายนอก (Outsourcing Strategy) ซึ่งมีจุดเด่นในการช่วยลดปัญหาในด้านบุคลากรและสินทรัพย์ รวมทั้งสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการดำเนินงานต่างๆ แต่ก็มีจุดด้อยอยู่ด้วยเช่นกัน คือ องค์กรอาจมีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการดำเนินเองก็ได้รวมถึงการมุ่งเน้นการเลือกใช้กลยุทธ์และ/หรือวิธีการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายอื่นๆ กับโซ่อุปทานกรณีศึกษาเพิ่มขึ้นนอกเหนือจากประเด็นของการศึกษานี้

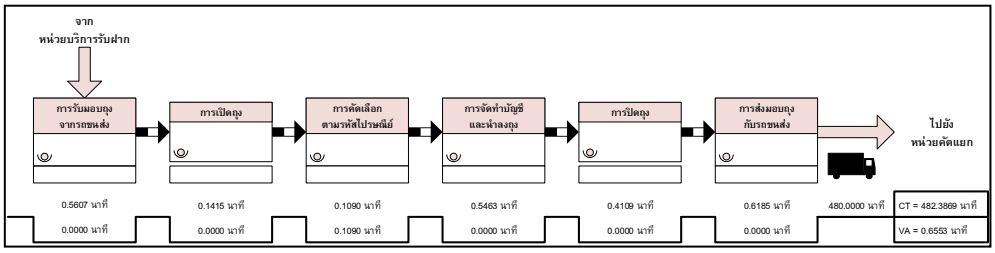
อย่างไรก็ตาม ในการวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์โซ่อุปทานด้วยการวิเคราะห์สายธารคุณค่าเพื่อให้แสดงให้เห็นถึงการสูญเปล่าหรือสิ่งที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าแก่ผลิตภัณฑ์หรือบริการ แล้วจึงหาแนวทางในการที่จะกำจัดหรือลดความสูญเปล่าเหล่านั้นออกไป โดยมุ่งเน้นการแสดงภาพรวมของโซ่อุปทานกรณีศึกษา ดังนั้นในการที่จะประยุกต์ใช้ VSM ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจึงควรที่จะนำไปศึกษากับสินค้าหรือบริการที่มีลักษณะการดำเนินงานที่ซับซ้อน ซึ่งจะช่วยให้สามารถกำจัดหรือปรับลดความสูญเปล่าที่ตรวจพบได้มากกว่า นอกจากนี้ในการวิเคราะห์ ABC ควรมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่องไม่ควรดำเนินการเพียงครั้งเดียว และควรจะหาปัจจัยอื่นๆ ที่มีความสำคัญและอาจส่งผลกระทบต่อการดำเนินธุรกิจขององค์กรได้ วัตถุประสงค์ก็เพื่อการปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพองค์กรด้วยการพัฒนาศักยภาพทางการแข่งขันด้านต้นทุนได้อย่างยั่งยืน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางการศึกษาเพื่อการพัฒนาองค์กร รวมทั้งองค์ความรู้ด้านการวิจัยในอนาคตด้วยการนำเครื่องมือเสริมเกี่ยวกับการวิเคราะห์ต้นทุนอื่นๆ ที่จำเป็นเพื่อสร้างคุณค่าสูงสุดจากการนำ ABC ไปประยุกต์ในการศึกษาหรือการวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไป



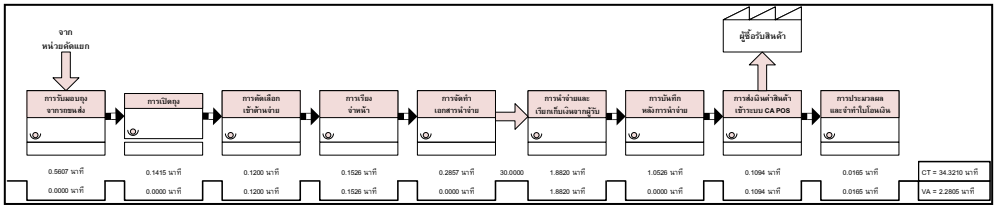
รูปที่ 1 แผนภาพIDEF0 แสดงกิจกรรมในโซ่อุปทานบริการจัดส่งสินค้าพร้อมเรียกเก็บเงิน



หน่วยบริการรับฝาก



หน่วยคัดแยก



หน่วยบริการนำจ่ายและหน่วยงานส่วนกลาง

รูปที่ 2 VSM สถานะปัจจุบัน (As-Is)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษาและเพื่อนๆ ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมธุรกิจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ขอบคุณที่ให้การสนับสนุนแนวคิดที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา จนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ในที่สุด

เอกสารอ้างอิง

[1] ประดิษฐ์ วงศ์มณีรุ่ง และ คณะ. 2552. 1-2-3 ก้าวสู่ลีน. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[2] Liker. 2008. “แกะรอยวิถีโตโยต้า คู่มือภาคสนาม” แปลจาก The Toyota Way Fieldbook โดย วิทยา สุหฤทดำรง และยุพา กลอนกลาง. กรุงเทพฯ : อี.ไอ.สแควร์ สำนักพิมพ์.

[3] T.Melton. 2005. “The Benefit of Lean Manufacturing What Lean thinking has to offer the process Industries”. Chemical Engineering Research and Design 83 (A6), pp. 662 – 672

[4] วลัยลักษณ์ อัตธีรวงศ์ และ คณะ. 2549. “โครงการการจัดการโซ่อุปทานอุตสาหกรรมกุ้งขาวลิโทพีเนียสแวนาไมในประเทศไทย”. รายงานฉบับสมบูรณ์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[5] ปณิทัศน์ สุรียธนาภาส และ คณะ. 2546. “การประยุกต์ใช้แบบจำลองอ้างอิงการดำเนินงานในการปรับปรุงประสิทธิภาพของโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมการผลิตชุดชั้นในสตรี”. Proceedings of 3rd EAN/TLAPS/ Thai VCML Industry-Academic Annual Conference on Supply Chain and Logistics Management. 26 – 27 August 2003 Bangkok Thailand.

[6] สิทธิพร ฉันท์เฉลิมพร. 2548. “การปรับปรุงสมรรถภาพการวางแผนการส่งออกโซ่อุปทานภายในอุตสาหกรรมการผลิตไก่สุกแช่แข็งส่งออก”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[7] Don Tapping. 2007. “มุ่งสู่ “ลีน” ด้วยการจัดการสายธารคุณค่า (Value Stream Management)” แปลจาก Value Stream Management โดย วิทยา สุหฤทดำรง, ยุพา กลอนกลาง และสุนทร ศรีลังกา. กรุงเทพฯ : อี.ไอ. สแควร์ สำนักพิมพ์

[8] Yingling J.C., Dettl R.B. and Sottile J. 2000. “Lean Manufacturing Principles and their Applicability to Mining Industry”. Mineral Resource Engineering. Vol.9. No.2. pp. 215 – 258

[9] Harris G.C.,Czarnecki H. and Gholston S. 2000. “Value Stream Mapping: the first step in lean Manufacturing Simulation”. Proceedings of the Huntsville Simulation Conference (2002)

[10] M.C. Andrade and R.C. Pessanha Filho. 1999. “Activity-Based Costing for Production Learning” International Journal Production Economics 62, pp. 175 – 180

[11] L. Whicker, M. Bernon, S. Templar, C. Mena 2009. “Understanding the relationships between time and cost to improve supply chain performance”. International Journal Production Economics 121, pp. 641 – 650

[12] Lusine A.,Christien O., Olaf V. K. and Alfons O. L. 2006. “Performance Indicators in Agri-Food Production Chains”. The agri-food supply chain, pp. 47 – 64

[13] สิทธิชัย วงษ์ชูเครือ. 2548. “การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตในโรงงานน้ำดื่มโดยใช้ระบบต้นทุนกิจกรรม” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[14] วัชระ วันมาละ. 2550. “การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตสำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมโดยใช้ระบบต้นทุนกิจกรรม”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[15] วัลยา ศรีจันทร์ดร. 2552. “การลดต้นทุนโลจิสติกส์โดยใช้การวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรมของโรงงานผลิตกระดาษทราย”. การค้นคว้าแบบอิสระ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ตัวแบบการกำหนดทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าระดับภูมิภาค
A model to locate local Regional of Distribution Centers

จักรวาล ดีนาง* จารุพงษ์ บรรเทา
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 E-mail : nook0210@hotmail.co.th*
Chakrawan Deenang*, Jarupong Banthao
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakhonratchasima, 30000, E-mail : nook0210@hotmail.co.th*

บทคัดย่อ
การจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าระดับภูมิภาคเป็นประโยชน์ต่อระบบการกระจายสินค้า ซึ่งการกำหนดทำเลที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าระดับภูมิภาคเป็นกลยุทธ์การตัดสินใจที่สำคัญต่อการจัดการระบบการขนส่ง ในการศึกษานี้ผู้วิจัยได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาการกำหนดทำเลที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าระดับภูมิภาค ตัวแบบที่พัฒนาขึ้นได้ขยายมาจากตัวแบบ p-median โดยเพิ่มการพิจารณาต้นทุนการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าระดับภูมิภาคแต่ละแห่ง วัตถุประสงค์ของตัวแบบนี้ เพื่อกำหนดทำเลที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าระดับภูมิภาคให้มีค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด การแก้ปัญหาได้ใช้ข้อมูลของกรณีศึกษาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ผลการคำนวณพบว่าจำนวนศูนย์กระจายสินค้าระดับภูมิภาคที่เหมาะสมคือ 3 แห่ง ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา สกลนคร และหนองคาย
คำหลัก ศูนย์กระจายสินค้าระดับภูมิภาค, ปัญหาการกำหนดทำเลที่ตั้ง, ต้นทุนการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า

Abstract
Regionalization of distribution centers has been founded to be beneficial in the distributed system. Determining locations of regionalization of distribution centers is a strategic decision-making in the logistics system. In this study, we develop a mathematical model to solve the location problem in regional of distribution centers (RDC). The model is extended from the *p*-median problem. Additional condition, fixed costs of each RDC. The objective of the problem is to minimize total cost. The model is solved using the data of case study in Northeast, Thailand. Computational results are reported 3 distribution centers are selected as RDCs are Nakhon Ratchasima, Sakon Nakhon, and Nong Khai.
Keywords: Regional distribution center, Location problem, Fixed cost of distribution center

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการค้าในยุคที่ใช้สื่อทางคมนาคมสื่อสารกันได้อย่างไร้พรหมแดน ส่งผลให้เกิดการแข่งขันในทางธุรกิจทวีความรุนแรงมากขึ้น ปัญหาการจัดการด้านโลจิสติกส์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการดำเนินธุรกิจที่ถูกให้ความสำคัญและได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก การตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการมีบทบาทโดยตรงต่อการตัดสินใจในด้านการดำเนินงานและด้านโลจิสติกส์ขององค์กร ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อขีดความสามารถในการให้บริการศักยภาพการแข่งขันในระยะยาวและความอยู่รอดขององค์กร [1]

โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตในสังคมยุคใหม่ จนกลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ ด้วยความทันสมัยทางเทคโนโลยีและความสะดวกสบายด้านต่างๆในการสื่อสาร จึงทำให้ผู้บริโภคเกิดความต้องการในตัวสินค้าเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง [2] รวมทั้งอุปกรณ์เสริมโทรศัพท์มือถือ(Mobile Accessories) ถือว่าเป็นธุรกิจที่อาศัยการเจริญเติบโตควบคู่ไปกับธุรกิจโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโทรศัพท์มือถือประเภทสมาร์ทโฟน (*Smart Phones) ซึ่งเป็นที่นิยมมากที่สุดของกลุ่มผู้บริโภคในขณะนี้ โดย*ศูนย์วิจัยกสิกรไทยและสถาบันการวิจัยอื่นๆ [3] ได้คาดการณ์ไว้ว่าในปี 2557-2558 *ธุรกิจประเภท*อุปกรณ์ไอที เทคโนโลยีเครื่องมือสื่อสารและอุปกรณ์ต่อพ่วง จะเป็น 1 ใน 10 ของธุรกิจที่ทำเงินมหาศาล

กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ ผู้จำหน่ายส่งอุปกรณ์เสริมโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Accessories) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 20 ราย ซึ่งจำหน่ายสินค้ากลุ่มแบตเตอรี่, สายชาร์จไฟ, สายเชื่อมต่อข้อมูล, สายสมอลทอร์ค, อุปกรณ์เก็บข้อมูล, อุปกรณ์ขยายเสียง, ฟิล์มกันรอย, อะไหล่เครื่องโทรศัพท์และอุปกรณ์ตกแต่งอื่นๆ โดยผู้จำหน่ายเหล่านี้ได้เลือกดูสินค้าและทำการสั่งซื้อสินค้าผ่านทางระบบ E – Commerce แล้วจึงรอรับสินค้า ณ ปลายทาง จากกระบวนการจัดส่งสินค้าจากแหล่งกระจายสินค้าในกรุงเทพมหานคร และ ประเทศจีน ซึ่งใช้ระยะเวลาระหว่าง 3-7 วัน และ 20-30 วัน ตามลำดับ หลังจากการชำระเงิน จากกระบวนการที่กล่าวมา พบว่าปัญหาที่สำคัญคือ การกระจายสินค้าจากแหล่งกระจายสินค้าในกรุงเทพมหานครและจากประเทศจีนไปยังลูกค้าในภูมิภาค เกิดความล่าช้า มีระยะเวลา*รอการจัดส่งสินค้าเป็นเวลานาน เนื่องจากสถานที่ตั้งแหล่งกระจายสินค้ามีระยะทางห่างไกล จึงส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า คือ สูญเสียโอกาสทางการค้า และเสียโอกาสในการเลือกดูตัวสินค้าจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาหาแนวทางในการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าประจำภูมิภาคขึ้น(*Regional Distribution Center : RDC*)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาการกำหนดทำเลที่ตั้ง RDC ให้มีค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด ซึ่งขยายมาจากตัวแบบ p-median และเพิ่มการพิจารณาค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดตั้ง RDC แต่ละแห่งที่แตกต่างกัน รวมทั้งให้ความสำคัญในเรื่องความสามารถในการขนส่งสินค้า ซึ่งคำตอบที่ได้จากแบบจำลองจะทำให้ทราบถึงจำนวน RDC ที่ต้องเปิด ตำแหน่งที่ตั้งของ RDC และจำนวนลูกค้าที่จะได้รับสินค้าจาก RDC แต่ละแห่ง เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานต่อไป

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปขั้นตอนการตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้งนั้นเริ่มจากการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เชิงคุณค่าและเชิงปริมาณเพื่อทำการตัดสินใจและลงทุนก่อสร้างตามลำดับ [4] , [1] ได้นิยามปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสม (Facility Location Problem) หรือปัญหา FLP คือการกำหนดจำนวน ขนาด และตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า พร้อมทั้งจัดสรรการให้บริการจากศูนย์กระจายสินค้าเหล่านี้ไปยังลูกค้าเพื่อให้ต้นทุนการขนส่งระยะทางหรือระยะเวลาในการส่งมอบน้อยที่สุด ซึ่งวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดสามารถแบ่งประเภทปัญหาออกเป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ แบบดีเทอร์มินิสติก แบบพลวัต แบบสโตแคสติก และแบบโรบัส

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตามลักษณะของฟังก์ชันวัตถุประสงค์สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท คือ ปัญหาปกคลุม(Covering Problems) ปัญหาระยะทางเฉลี่ย(Average - Distance Problems) และปัญหา

ศูนย์กลาง(Center - Problems) [5] ซึ่งปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบเฉลี่ยถูกนำเสนอครั้งแรกโดยมีชื่อเรียกว่า p-median problem [6] ซึ่งปัญหา p-median เป็นการให้ความสำคัญในเรื่องความสามารถในการส่งสินค้าของศูนย์กระจายสินค้าที่จำกัดและลูกค้ามีความต้องการที่จำกัดเช่นกัน [7]

นอกจากนี้ งานวิจัยในประเทศที่ทำการศึกษาเรื่องปัญหาสถานที่ตั้ง มีการกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการในการพิจารณา ซึ่งแต่ละกรณีศึกษานั้นแตกต่างกันออกไป โดยวิธีการหาคำตอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดในการหาวิธีการส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าให้มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด พบว่าวิธีการเลือกลูกค้าแบบสุ่มและแบ่งรับสินค้าภายหลังมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีอื่นๆ [8] งานวิจัยของ [9] ได้พัฒนาคำตอบของปัญหากำหนดการสองระดับให้มีความสมดุลกันเพื่อจัดสรรสินค้าจากโรงงานไปยังลูกค้าให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า นอกจากนี้ได้มีการศึกษาวิธีการวิวัฒนาการโดยส่วนต่างสำหรับแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบหลายวัตถุประสงค์และหลายลำดับขั้น ซึ่งวิธีการปรับเปลี่ยนอัลกอริทึมโดยส่วนต่างแบบค่าต่ำสุดและแบบค่าเฉลี่ยจะใช้เวลาในการหาคำตอบเร็วกว่า [10]

สำหรับงานวิจัยต่างประเทศ ได้มีการศึกษาการแก้ปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าในภูมิภาค โดยใช้ตัวแบบ p-median พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไปปัจจัยต่างๆมีความแปรปรวนสูง จึงควรพิจารณาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในระยะยาวด้วย [11] งานวิจัยของ [12] ได้แก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งของโรงเรียนแห่งใหม่เพื่อให้ทราบถึงทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมในการตั้งโรงเรียนมัธยมในเขตชานเมือง โดยพัฒนาตัวแบบ p-median พบว่าจำนวนโรงเรียนที่ต้องเปิดเท่ากับ 4 แห่ง ต่อมาได้มีการศึกษาเพื่อคัดเลือกสถานตั้งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสร้างโรงงานเบียร์แห่งใหม่ โดยใช้ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อลดต้นทุนค่าขนส่งรวมและลดค่าใช้จ่ายในการเก็บสินค้าคงคลัง [13] รวมทั้งงานวิจัยของ [14] ได้ศึกษาเพื่อหาวิธีในการขนส่งอาหารสดที่เกิดการเน่าเสียได้ง่ายให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด โดยจะหาเส้นทางในการขนส่งและปริมาณอาหารในการขนส่งต่อครั้งที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาต้นแบบการเพิ่มประสิทธิภาพของที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าระดับภูมิภาค ซึ่งเป็นปัญหา p-median และพิจารณาเรื่องความแตกต่างทางกายภาพและการจัดจำหน่ายสินค้าแต่ละประเภทที่แตกต่างกันออกไป [15]

จากงานวิจัยที่กล่าวมา ในการแก้ปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้งสถานที่ให้บริการต่างๆ จะพิจารณาจากปัจจัยต่างๆหลายด้าน ได้แก่ ระยะทาง, ความต้องการของลูกค้า, ปริมาณการขนส่ง, ต้นทุนวัตถุดิบ, ความหนาแน่นของประชากร, ความจุของคลังสินค้า, ราคาที่ดิน, ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำหลักการแก้ปัญหาที่แตกต่างมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาตัวแบบ p - median ซึ่งจะนำค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดตั้ง RDC และความสามารถในการจัดเก็บสินค้าของ RDC แต่ละแห่งมาพิจารณาร่วมด้วย เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการหาแหล่งที่ตั้งที่เหมาะสม สำหรับกรณีศึกษา RDC อุปกรณ์เสริมโทรศัพท์มือถือ โดยจะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินการในส่วนถัดไป

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาทำเลที่ตั้ง RDC กรณีศึกษา

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการหาทำเลที่ตั้ง RDC ได้ขยายตัวแบบมาจาก p-median โดยเพิ่มการพิจารณาค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดตั้ง RDC รวมกับค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

3.1) สมมติฐานในงานวิจัย

1) จำนวน RDC ที่ต้องเปิดใช้งานมีจำนวนจำกัด คือ 1-4 แห่ง

2) ลูกค้าแต่ละราย จะได้รับสินค้าจาก RDC 1 แห่ง เท่านั้น

3) ลูกค้าที่ได้รับสินค้าจาก RDC แต่ละแห่ง จะต้องมีความต้องการสินค้าได้ไม่เกินความสามารถในการจัดเก็บสินค้าของ RDC แต่ละแห่ง

3.2) ดัชนี พารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจ

ดัชนี (Index)

i	ดัชนีของลูกค้า
j	ดัชนีของ RDC

พารามิเตอร์ (Parameter)

C	ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง
W_i	ปริมาณความต้องการของลูกค้าที่ตำแหน่ง i
d_{ij}	ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ตำแหน่ง i และ RDC j
f_j	ค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดตั้ง RDC ที่ตำแหน่ง j
Q	จำนวนสินค้าที่ RDC สามารถจัดเก็บได้
p	จำนวนแหล่งที่ตั้งของ RDC ที่ต้องการจะเปิด

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าเลือกตั้ง RDC ที่ตำแหน่ง j} \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าลูกค้าที่ตำแหน่ง i ได้รับบริการจาก RDC ที่ตำแหน่ง j} \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$$

3.3) ตัวแบบการหาทำเลที่ตั้ง RDC กรณีศึกษาฟังชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min} \sum_j f_j.x_j + \sum_i \sum_j C.d_{ij}.y_{ij} \qquad (1)$$

สมการข้อจำกัด (Constraint)

$$\sum_j x_j = p \qquad (2)$$

$$\sum_j y_{ij} = 1 \quad ; \forall i \qquad (3)$$

$$\sum_i W_i.y_{ij} \le Q_j.x_j \quad ; \forall j \qquad (4)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad ; \forall j \qquad (5)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad ; \forall i, \forall j \qquad (6)$$

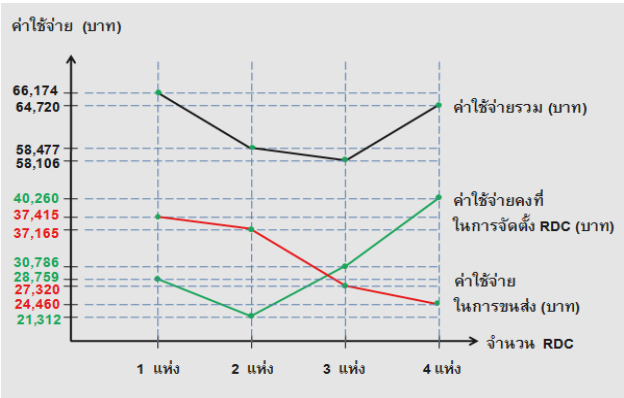
จากสมการดังกล่าวเป็นการขยายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาจากตัวแบบ p - median โดยที่ฟังชั่นเป้าหมาย(1) เป็นการหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำสุดของ RDC โดยพิจารณาจากผลรวมของค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดตั้ง RDC และค่าใช้จ่ายในการขนส่ง สมการข้อจำกัด (2) เป็นเงื่อนไขในการเลือกจำนวนตำแหน่งที่ตั้ง RDC ที่กำหนดขึ้นจำนวน p แห่ง สมการข้อจำกัด (3) เป็นข้อจำกัดของลูกค้าที่ตำแหน่ง i จะได้รับสินค้าจาก RDC ตำแหน่ง j เท่ากับ 1 แห่งเท่านั้น สมการข้อจำกัด (4) คือลูกค้าที่ตำแหน่ง i จะต้องมีความต้องการสินค้าได้ไม่เกินความสามารถในการจัดเก็บสินค้าของ RDC ที่ตำแหน่ง j และสมการที่ (5) และ (6) แสดงตัวแปรตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่ตั้ง RDC และการบริการจัดส่งสินค้า

4. ผลการคำนวณ

การแก้ปัญหาการหาทำเลที่ตั้ง RDC ในครั้งนี้ต้องการทราบจำนวน RDC ที่ต้องเปิดใช้งาน ระหว่าง 1-4 แห่ง โดยลูกค้าแต่ละรายจะต้องได้รับสินค้าจาก RDC 1 แห่ง เท่านั้น และลูกค้าที่ได้รับสินค้าจาก RDC แต่ละแห่ง จะต้องมีความต้องการสินค้าไม่เกินความสามารถในการจัดเก็บสินค้าของ RDC แต่ละแห่ง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปแก้ไขในคอมพิวเตอร์ และแบ่งการทดลองตามสมมติฐานของงานวิจัย คือ มีจำนวน RDC เท่ากับ 1-4 แห่ง ผลของการคำนวณแสดงดังตารางที่ 1 และรูปที่ 1 ดังนี้

ตารางที่1 ผลการคำนวณค่าใช้จ่าย เมื่อกำหนด จำนวน RDC ตั้งแต่ 1 – 4 แห่ง

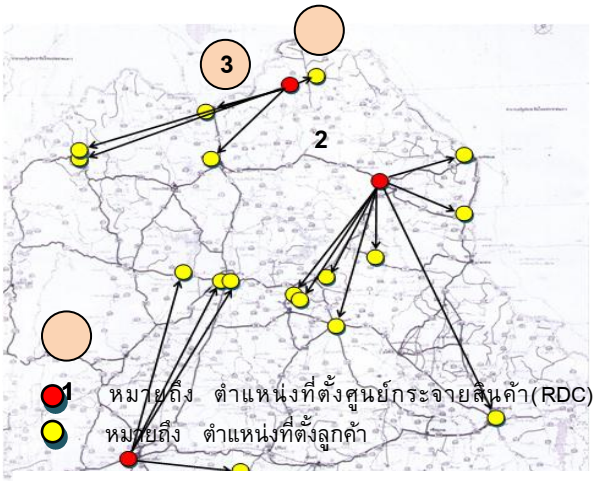
จำนวน RDC	ค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดตั้ง RDC	ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท/เดือน)
1	28,759	37,415	66,174
2	21,312	37,165	58,477
3	30,786	27,320	58,106
4	40,260	24,460	64,720



รูปที่ 1 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายของ RDC

จากการคำนวณที่แสดงในตารางที่ 1 พบว่า จำนวน RDC ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด คือ 3 แห่ง โดยมีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 58,106 บาทต่อเดือน จำแนกเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดตั้ง RDC เท่ากับ 30,786 บาท และค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า เท่ากับ 27,320 บาท สำหรับจำนวน RDC เท่ากับ 2 , 4 และ 1 แห่ง จะทำให้ค่าใช้จ่ายรวมเพิ่มขึ้นจากจำนวน RDC เท่ากับ 3 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 0.58 , 11.38 และ 13.88 ตามลำดับ นอกจากนี้ในรูปที่ 1 จะพบว่า จำนวน RDC เท่ากับ 3 แห่ง จะทำให้ค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดตั้ง RDC และค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า มีอัตราส่วนร้อยละที่ใกล้เคียง คือ 52.98 : 47.02 ตามลำดับ

สำหรับการจัดสรรลูกค้าแต่ละรายให้กับศูนย์กระจายสินค้า(RDC) ทั้ง 3 แห่ง มีผลลัพธ์ดังนี้ 1) ศูนย์กระจายสินค้าจังหวัดนครราชสีมา จะต้องกระจายสินค้าให้กับลูกค้าในจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ และขอนแก่น, 2) ศูนย์กระจายสินค้าจังหวัดสกลนคร จะต้องกระจายสินค้าให้กับลูกค้าในจังหวัดสกลนคร นครพนม อุบลราชธานี กาฬสินธุ์ มหาสารคาม และร้อยเอ็ด, 3) ศูนย์กระจายสินค้าจังหวัดหนองคาย จะต้องกระจายสินค้าให้กับลูกค้าในจังหวัดหนองคาย บึงกาฬ อุดรธานี และเลย ซึ่งแสดงผลลัพธ์ได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนที่ระบุตำแหน่งที่ตั้ง RDC ที่ได้จากการคำนวณ

งานวิจัยนี้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ขยายมาจากตัวแบบ p-median *เพื่อแก้ปัญหาการกำหนดทำเลที่ตั้ง RDC ให้มีค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด ภายใต้สมมติฐาน คือ* ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับสินค้าจาก RDC 1 แห่ง และลูกค้าแต่ละรายจะต้องมีความต้องการสินค้าได้ไม่เกินความสามารถในการจัดเก็บสินค้าของ RDC แต่ละแห่ง ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลโดยศึกษาเฉพาะลูกค้าที่จำหน่ายส่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่สั่งซื้อสินค้าจากแหล่งกระจายสินค้าในกรุงเทพมหานคร จำนวน 20 ราย จากนั้นทำการจัดรูปแบบปัญหาให้อยู่ในรูปของโปรแกรมสำเร็จรูปแล้วทำการคำนวณ

ผลที่ได้จากการคำนวณ ทำให้ทราบถึงจำนวน RDC ที่เหมาะสมที่ต้องเปิด คือ 3 แห่ง ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา หนองคาย และ สกลนคร โดย RDC ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดนครราชสีมา ต้องส่งสินค้าให้กับลูกค้าจำนวน 5 ราย ส่วน RDC ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดหนองคาย ต้องส่งสินค้าให้กับลูกค้าจำนวน 6 ราย และ RDC ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดสกลนคร ต้องส่งสินค้าให้กับลูกค้าจำนวน 9 ราย ทั้งนี้มีค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดตั้ง RDC รวมกับค่าขนส่งแล้วต่ำที่สุด เท่ากับ 58,106 บาทต่อเดือน

จากงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่า การพิจารณาหาทำเลที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าระดับภูมิภาค โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ขยายมาจากตัวแบบ p – median จำเป็นต้องนำค่าใช้จ่ายคงที่มาพิจารณาร่วมด้วย เนื่องจากค่าใช้จ่ายคงที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการตัดสินใจ เพื่อที่จะได้จำนวนและตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสม โดยมีค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด

สำหรับงานวิจัยในอนาคต สามารถศึกษาเพิ่มโดยพิจารณาปัจจัยด้านอื่นๆ ได้แก่ ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ความต้องการของลูกค้าที่อาจมีความไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา รวมทั้งจุดคุ้มทุนในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าที่มีปริมาณความต้องการน้อย หรือรูปแบบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง(VRP) เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง รวมทั้งพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ให้ได้ตรงความต้องการและวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งานได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน. (2554). การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด. วารสารวิจัย มข., 24(78), 107-109.

[2] ศูนย์ข้อมูลและวิจัยเศรษฐกิจโทรคมนาคม.(2557). ฐานข้อมูลของตลาดโทรศัพท์เคลื่อนที่. ข้อมูลจาก: http://www.nbtc.go.th/wps/portal/NTC/TDC. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 30 ตุลาคม 2557).

[3] ศูนย์วิจัยกสิกรไทยและสถาบันการวิจัยอื่นๆ. (2557). ข้อมูลจาก: http://www.manager.co.th/-iBizchannel/.(วันที่สืบค้นข้อมูล :30ตุลาคม 2557).

[4] ประจวบ กล่อมจิตร.(2556). โลจิสติกส์-โซ่อุปทาน : การออกแบบและการและจัดการเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[5] Owen S.H. & Daskin M.S. (1998). Strategic Facility Location : A Review.European Journal of operational Research,111,423-447.

[6] Hakimi.(1964). The p-median location problem. Geographic Information system for Transportation: Principles and Applications, 200-202.

[7] Osman and Cnristofides. (2001). Capaci-tated p-median Problem (CPMP) is an important variation of facility location problem. European Journal of Operational Research, 135(2), 413-427.

[8] สุภาลิน ศรันย์วงศ์. (2556). ขั้นตอนการหาวิธีสำหรับปัญหาการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าโดยการแบ่งระบบออกเป็นสองระดับ. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, 1(2),26.

[9] สุภาลิน ศรันย์วงศ์. (2557). ขั้นตอนวิธีในการพัฒนาของปัญหาการกระจายสินค้าจากโรงงานไปยังลูกค้าในห่วงโซ่อุปทานที่มีการแบ่งปัญหาออกเป็นสองระดับ. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, 2(2),25.

[10] ปรุพห์ มะยะเฉี่ยว. (2558). วิธีการวิวัฒนาการโดยส่วนต่างสาหรับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบหลายวัตถุประสงค์และหลายลาดับขั้น. วารสารวิจัย มนร,. 7 (2), 8.

[11] Esther Segura. (2014). Dynamic location of distribution centres, a real case study. Transportation Research Procedia , 3 : 547 – 554.

[12] Fagueye Ndiaye.(2012). Application of the p - Median Problem in School Allocation. American Journal of Operations Research, 2 : 253-259.

[13] Köksalan, M.etal.(1996).Alocation-distribution application for a beer Company. European Journal of Operational Research, 80:16-24.

[14] Hsu,C-I. et al. (2006). Vehicle routing problem with time-windows for perishable food delivery. Journal of Food Engineering, 80: 465-475.

[15] Yingfeng Ji. (2013). Location Optimization Model of Regional ExpressDistribution Center. Procedia – Social and Behavioral Sciences 96 : 1008 – 1013.

ต้นทุนโลจิสติกส์น้ำยางสดในจังหวัดสงขลา

Logistics Cost of Field Latex in Songkhla Province

ผจงจิต พิจิตบรรจง[1*] ปรุพ มะยะเฉี่ยว[2]
[1]โปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
อ.เมือง จ.สงขลา 90000 E-mail: phajongjit@gmail.com*
[2]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
อ.เมือง จ.นราธิวาส 96000 E-mail: paroon27@hotmail.com

Phajongjit Pijitbanjong[1*], Paroon Mayachearw[2]
[1]Program of Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Songkhla Rajabhat University, Muang, Songkhla, 90000, Email: phajongjit@gmail.com*
[2]Department of Industrial Engineering Technology, Faculty of Engineering,
Prince of Naradhiwas University, Narathiwat, 96000, Email: paroon27@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์น้ำยางสดในพื้นที่จังหวัดสงขลาด้วยแบบสัมภาษณ์ พบว่า ต้นทุนโลจิสติกส์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ต้นทุนโลจิสติกส์ของเกษตรกรชาวสวนยาง จำแนกต้นทุนออกเป็น 3 กิจกรรม คือ การเก็บเกี่ยวและขนย้ายน้ำยางสด การขนส่งน้ำยางสดไปยังสถานที่รับซื้อ และการติดต่อสื่อสารกับพนักงานจัดซื้อของสถานที่รับซื้อ ส่วนที่ 2 ต้นทุนโลจิสติกส์ของสถานที่รับซื้อ ซึ่งได้แก่ สหกรณ์ยางพาราและพ่อค้าคนกลาง จำแนกต้นทุนออกเป็น 3 กิจกรรม คือ การจัดซื้อจัดหาและขนถ่ายน้ำยางสด การขนส่งน้ำยางสดไปยังโรงงาน และการติดต่อสื่อสารกับเกษตรกรและพนักงานจัดซื้อของโรงงาน จากการสัมภาษณ์เกษตรกรชาวสวนยางพารา สหกรณ์ยางพาราและพ่อค้าคนกลาง พบว่า ค่าเฉลี่ยของต้นทุนโลจิสติกส์โดยรวมอยู่ที่ 28.2475 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นต้นทุนของเกษตรกร 27.5870 บาทต่อกิโลกรัม และต้นทุนของสหกรณ์ยางพาราหรือพ่อค้าคนกลาง 0.6605 บาทต่อกิโลกรัม

คำหลัก ต้นทุนโลจิสติกส์ น้ำยางสด

Abstract

The research aimed to study logistics cost of field latex in Songkhla province by the structured interview. The result was shown that logistics cost was divided into 2 parts, logistics cost of farmers and logistics cost of the selling place. Regarding logistics cost of farmers, this part can be divided the cost into 3 activities. The first activity was to harvest and transport field latex. The second activity was to transport field latex to the selling places. And the last activity was to communicate with a purchaser at the selling place. As for logistics cost of the selling place which are cooperative and middleman, this part can be divided the cost into 3 activities; purchasing and material handling of field latex, transporting field latex to the plant, and communication established with farmers and with a purchaser at the plant. The data obtained from the interviews also reveals that the cost was obtained by averaging. The total logistics cost

is at 28.2475 baht/kilogram, for farmers were at 27.5870 baht/kilogram. That of cooperative or middleman was at 0.6605 baht/kilogram.

Keywords: Logistics Cost, Field Latex

1. ความเป็นมาของปัญหา

"ยางพารา" เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ มีมูลค่าการส่งออกสินค้าและผลิตภัณฑ์เป็นอันดับหนึ่งในด้านการเกษตร ซึ่งสามารถสร้างรายได้เข้าประเทศได้เป็นอย่างมาก ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกและเนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิตยางพารามากเป็นอันดับหนึ่งของโลก เนื่องจากไทยมีความเหมาะสมด้านภูมิประเทศ จึงทำให้ผลผลิตต่อพื้นที่ของไทยมีปริมาณมาก รองลงมา คือ ประเทศอินโดนีเซีย ในปัจจุบันการก้าวสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนก่อให้เกิดประโยชน์ในการใช้ฐานการผลิตเดียวกัน การขยายการส่งออก และโอกาสทางการค้าสินค้าและบริการ ซึ่งจะทำให้เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจ อันเป็นการช่วยยกระดับความเป็นอยู่ของประชาชนในประเทศสมาชิกอาเซียนให้ดีขึ้น ซึ่งไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านยางพารา จึงนับเป็นโอกาสที่ดีของผู้ประกอบการในการขยายกิจการไปยังประเทศเพื่อนบ้าน แต่ผู้ประกอบการยังคงต้องจับตาปัจจัยเสี่ยงต่างๆ ที่อาจกระทบต่อราคายางพารา ซึ่งจะส่งผลต่อการดำเนินธุรกิจได้ ทั้งราคาน้ำมันในตลาดโลก และภาวะเศรษฐกิจโลกที่ยังคงมีความท้าทายอยู่มาก โดยเฉพาะสถานการณ์ยางพาราโลกที่มีผลผลิตยางพาราล้นตลาด เป็นผลให้ราคายางลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกษตรกรชาวสวนยางพาราได้รับผลกระทบหนัก ส่งผลต่อความไม่แน่นอนของรายได้ โดยในปี 2554 ราคารับซื้อน้ำยางสด ณ หน้าโรงงาน มีราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 122.36 บาทต่อกิโลกรัม แต่หลังจากนั้นกลับมีราคาลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเดือนเมษายน ปี 2558 ราคาลดลงเหลือเพียง 45.48 บาทต่อกิโลกรัมเท่านั้น [1] สาเหตุมาจากเศรษฐกิจโลกและเศรษฐกิจจีนซึ่งเป็นคู่ค้าหลักของไทยมีการขยายตัวในอัตราชะลอตัวอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความต้องการใช้ยางของโลกและจีนอยู่ในระดับต่ำตามไปด้วย ดังนั้นการขึ้นลงของราคายางจึงมีอิทธิพลต่อเกษตรกรอย่างชัดเจน ด้วยองค์ประกอบเหล่านี้จึงควรสร้างโอกาสด้านการค้าด้วยการลดต้นทุนการผลิต โดยลดต้นทุนในส่วนปัจจัยการผลิตและบริการ เช่น ค่าปุ๋ยเคมี ค่าสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช การขายยางพาราจากผู้ผลิตไปยังผู้ซื้อโดยตรง และการลดต้นทุนโลจิสติกส์ เป็นต้น รวมถึงสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับยางพาราเพื่อเป็นการสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรชาวสวนยาง เพราะในแต่ละพื้นที่ที่ปลูกยางนั้นจะให้ผลผลิต ต้นทุนการผลิตและต้นทุนการขนส่งที่แตกต่างกัน

แหล่งปลูกยางพาราที่สำคัญของไทย คือ ภาคใต้ เนื่องจากทำเลที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น มีสภาพแวดล้อมเหมาะสมกับการปลูกยางพารามากกว่าภาคอื่นๆ ประกอบกับมีสถาบันเกษตรกรเข้ามารักษาเสถียรภาพราคายางและยุทธศาสตร์พัฒนายางพารา สนับสนุนการขยายเนื้อที่ปลูกยางพารา ทำให้เนื้อที่ปลูกยางพาราของไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับแนวโน้มอัตราความต้องการใช้ยางพาราภายในประเทศและต่างประเทศที่ขยายตัวสูงขึ้น รวมถึงด้านอุตสาหกรรมที่สำคัญต่างๆ เช่น ยางยานพาหนะ ถุงมือยาง ผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ทางเภสัชกรรม หลอดและท่อ เป็นต้น จึงนับว่ายางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพของไทย สำหรับผลผลิตจากยางพาราของเกษตรกรชาวสวนยางโดยทั่วไป มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ น้ำยางสด และยางแผ่นดิบ ในปี 2557 ประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตยางพาราประมาณ 4.58 ล้านตัน มีเนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิต 17.40 ล้านไร่ ปริมาณผลผลิตต่อเนื้อที่เก็บเกี่ยวประมาณ 263 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งในภาคใต้มีปริมาณผลผลิตยางพาราประมาณ 3.33 ล้านตัน มีเนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 11.57 ล้านไร่ ปริมาณผลผลิตต่อเนื้อที่เก็บเกี่ยวประมาณ 287 กิโลกรัม [2] สำหรับจังหวัดสงขลาเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตยางพาราและมีการปลูกยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลัก มีเนื้อที่ปลูกยางพารามากเป็นอันดับ 2 ของประเทศ รองจากจังหวัดสุราษฎร์ธานี ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตน้ำยางสดในพื้นที่จังหวัดสงขลา จึงได้มีการศึกษาถึงต้นทุนโลจิสติกส์น้ำยางสด โดยเริ่มตั้งแต่การเก็บเกี่ยว และการขนส่งน้ำยางสดของเกษตรไปจนกระทั่งถึงการขนส่งน้ำยางสดไปยังโรงงานแปรรูปยางพารา เพื่อรองรับแนวโน้มความต้องการใช้ยางพารา

ภายในประเทศและต่างประเทศที่คาดว่าจะเพิ่มมากขึ้นจากการก้าวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน และเพื่อลดต้นทุนการผลิตให้สามารถแข่งขันราคากับประเทศเพื่อนบ้านได้

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูลทั่วไป

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ จำนวนเกษตรกรชาวสวนยางพารา เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ปริมาณผลผลิต และราคาที่เกษตรกรขายได้ในพื้นที่จังหวัดสงขลา ในปี 2557

2.2 คำนวณกลุ่มตัวอย่างและรวบรวมข้อมูล

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพารา และกลุ่มสถานที่รับซื้อน้ำยางสด (ปริมาณรับซื้อไม่เกิน 2 ตัน/เที่ยว) ซึ่งได้แก่ สหกรณ์ยางพาราและพ่อค้าคนกลาง (จุดรับซื้อ) ในพื้นที่จังหวัดสงขลา ทำการคำนวณหาจำนวนกลุ่มตัวอย่าง และรวบรวมข้อมูลต้นทุนโลจิสติกส์ด้วยแบบสัมภาษณ์

2.3 วิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์

ต้นทุนโลจิสติกส์นั้นเกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรมของกระบวนการโลจิสติกส์ [3] ซึ่งในการวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์น้ำยางสดในพื้นที่จังหวัดสงขลานั้น ทำการวิเคราะห์ต้นทุนด้วยวิธีการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม [4] โดยแบ่งกิจกรรมออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ กิจกรรมโลจิสติกส์ของกลุ่มเกษตรกรชาวสวนยางพารา และกิจกรรมโลจิสติกส์ของกลุ่มสถานที่รับซื้อน้ำยางสด

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

3.1 ข้อมูลทั่วไปของการปลูกยางพาราในพื้นที่จังหวัดสงขลา

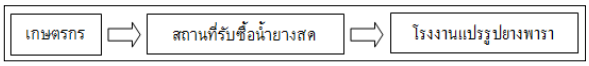
ในปี 2557 จังหวัดสงขลา มีเกษตรกรชาวสวนยางพารา จำนวน 98,951 ครัวเรือน มีเนื้อที่ปลูกยางพาราทั้งหมด 2,119,220 ไร่ มีเนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิตประมาณ 1,638,073 ไร่ จำนวนผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (ต่อเนื้อที่เก็บเกี่ยว) ประมาณ 259.5 กิโลกรัมต่อไร่ และมีจำนวนสถานที่รับซื้อน้ำยางสด (สหกรณ์ยางพาราและพ่อค้าคนกลาง) ประมาณ 124 ราย และราคาขายน้ำยางสด ณ หน้าโรงงาน เฉลี่ยอยู่ที่ 53.17 บาทต่อกิโลกรัม

3.2 กลุ่มตัวอย่างของเกษตรกรชาวสวนยางพาราและสถานที่รับซื้อน้ำยางสด

หาขนาดกลุ่มตัวอย่าง โดยทำการคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากสูตร ทาโร ยามาเน่ [5] ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ±5% ได้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นเกษตรกรชาวสวนยางพารา จำนวน 400 ครัวเรือน และกลุ่มตัวอย่างที่เป็นสถานที่รับซื้อ จำนวน 95 ราย

3.3 กิจกรรมและต้นทุนโลจิสติกส์น้ำยางสด

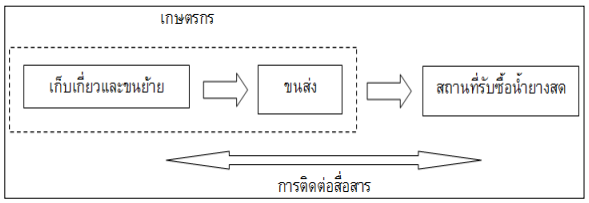
การวิเคราะห์ต้นทุนกิจกรรมโลจิสติกส์น้ำยางสด เริ่มตั้งแต่เกษตรกรชาวสวนยางทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต (กรีดยาง) และบรรจุน้ำยางสดใส่แกลลอน เพื่อขนส่งไปจำหน่ายยังสถานที่รับซื้อน้ำยางสด จากนั้นสถานที่รับซื้อจะทำการรับซื้อและรวบรวมน้ำยางสด เพื่อขนส่งไปจำหน่ายยังโรงงานแปรรูปยางพารา ดังรูปที่ 1 ซึ่งต้นทุนโลจิสติกส์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้



รูปที่ 1 กิจกรรมโลจิสติกส์น้ำยางสด

3.3.1 ต้นทุนโลจิสติกส์ของเกษตรกรชาวสวนยาง

จากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างเกษตรกรชาวสวนยาง จำนวน 400 ครัวเรือน ครัวเรือนละ 1 ราย รวม 400 ราย พบว่า กิจกรรมโลจิสติกส์ของเกษตรกร เริ่มตั้งแต่การกรีดยางและรวบรวมน้ำยางสด และขนย้ายน้ำยางสดไปยังจุดรวบรวม จากนั้นทำการขนส่งน้ำยางสดไปจำหน่ายยังสถานที่รับซื้อ ซึ่งได้แก่ สหกรณ์ยางพาราและพ่อค้าคนกลาง โดยสามารถจำแนกต้นทุนออกเป็น 3 กิจกรรมหลัก คือ การเก็บเกี่ยวและขนย้ายน้ำยางสด การขนส่งน้ำยางสดไปยังสถานที่รับซื้อ และการติดต่อสื่อสารกับพนักงานจัดซื้อของสถานที่รับซื้อ ดังรูปที่ 2 โดยร้อยละ 85.25 ดำเนินการจ้างแรงงานเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต (เกษตรกรที่มีเนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิตมากกว่า 10 ไร่) ร้อยละ 14.75 ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตด้วยตนเอง (เกษตรกรที่มีเนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิตน้อยกว่า 10 ไร่) และสามารถจำแนกรายการต้นทุนของแต่ละกิจกรรม ได้ดังตารางที่ 1 จากนั้นทำการวิเคราะห์ต้นทุนของกิจกรรมโลจิสติกส์แต่ละรายการได้ดังตารางที่ 2



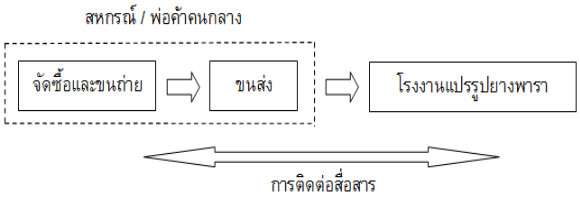
รูปที่ 2 กิจกรรมโลจิสติกส์ของเกษตรกร

ตารางที่ 1 กิจกรรมโลจิสติกส์และรายการต้นทุนโลจิสติกส์ของเกษตรกร

กิจกรรมโลจิสติกส์	รายการต้นทุน
การเก็บเกี่ยวและขนย้าย	ค่าอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ มีดกรีดยาง หินลับมีด ลิ้นรับน้ำยาง ถ้วยรองน้ำยาง ลวดแขวนถ้วยน้ำยาง ถังใส่น้ำยาง ไม้กวาดน้ำยาง ไฟฉายคาดหน้าผาก หมวก แกลลอนใส่น้ำยาง โครงเหล็กบรรทุกแกลลอน และรองเท้าบูท
	ค่าจ้างแรงงาน
การขนส่ง	ค่าเสื่อมราคาพาหนะ
	ค่าซ่อมบำรุงพาหนะ
	ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง
การติดต่อสื่อสาร	ค่าโทรศัพท์

3.3.2 ต้นทุนโลจิสติกส์ของสถานที่รับซื้อ

จากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างสถานที่รับซื้อน้ำยางสด ซึ่งได้แก่ สหกรณ์ยางพาราและพ่อค้าคนกลาง รวม 95 ราย พบว่า กิจกรรมโลจิสติกส์ของสถานที่รับซื้อเริ่มตั้งแต่การจัดซื้อจัดหาและการขนถ่ายน้ำยางสด จากนั้นทำการขนส่งน้ำยางสดไปจำหน่ายยังโรงงานแปรรูปยางพารา โดยสามารถจำแนกต้นทุนออกเป็น 3 กิจกรรมหลัก คือ การจัดซื้อจัดหาและขนถ่ายน้ำยางสด การขนส่งน้ำยางสดไปยังโรงงาน และการติดต่อสื่อสารกับเกษตรกรและพนักงานจัดซื้อของโรงงาน ดังรูปที่ 3 และสามารถจำแนกรายการต้นทุนของแต่ละกิจกรรมได้ดังตารางที่ 3 จากนั้นทำการวิเคราะห์ต้นทุนของกิจกรรมโลจิสติกส์แต่ละรายการ ได้ดังตารางที่ 4



รูปที่ 3 กิจกรรมโลจิสติกส์ของสถานที่รับซื้อ

ตารางที่ 3 กิจกรรมโลจิสติกส์และรายการต้นทุนโลจิสติกส์ของสถานที่รับซื้อ

กิจกรรมโลจิสติกส์	รายละเอียด
การจัดซื้อจัดหาและขนถ่าย	ค่าเช่าโรงเรือนและที่ดิน
	ค่าอุปกรณ์ ได้แก่ บ่อพักน้ำยาง ถังบรรจุน้ำยาง/ถังบิ๊ก (ขนาด 2 ตัน) เครื่องปั๊ม เสา รอก ตาชั่ง ไส้กรองน้ำยาง แอมโมเนีย ชุดถังเก็บแอมโมเนีย เครื่องชั่งน้ำหนักอัตโนมัติ เครื่องอบไมโครเวฟ ชุดตวงน้ำยาง ที่ตักน้ำยาง ถ้วย ช้อน ท่อยาง ท่อ PVC กระปุกใส่น้ำยาง และอุปกรณ์สำนักงาน
	ค่าจ้างแรงงาน
	ค่าโสหุ้ย
การขนส่ง	ค่าเสื่อมราคาพาหนะ
	ค่าซ่อมบำรุงพาหนะ
	ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง
การติดต่อสื่อสาร	ค่าโทรศัพท์

4. สรุปผลการวิจัย

ต้นทุนโลจิสติกส์ของน้ำยางสดในพื้นที่จังหวัดสงขลา แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ต้นทุนของเกษตรกรชาวสวนยาง และต้นทุนของสถานที่รับซื้อน้ำยางสด จากการสัมภาษณ์เกษตรกร จำนวน 400 ราย พบว่า ค่าเฉลี่ยต้นทุนโลจิสติกส์น้ำยางสดโดยรวมอยู่ที่ 28.2475 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 53.14 ของราคาขาย แบ่งออกเป็น ต้นทุนโลจิสติกส์ของเกษตรกรชาวสวนยางเท่ากับ 27.5870 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 97.66 ของต้นทุนโลจิสติกส์ทั้งหมด และคิดเป็นร้อยละ 51.89 ของราคาขาย และต้นทุนโลจิสติกส์ของสหกรณ์ยางพารา/พ่อค้าคนกลาง เท่ากับ 0.6605 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 2.34 ของต้นทุนโลจิสติกส์ทั้งหมด และคิดเป็นร้อยละ 1.25 ของราคาขาย ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 2 ต้นทุนโลจิสติกส์ของเกษตรกรชาวสวนยางพารา

กิจกรรมโลจิสติกส์	ต้นทุนเฉลี่ย (บาท/กก.)	ร้อยละต่อต้นทุนโลจิสติกส์ทั้งหมด	ร้อยละของต้นทุนโลจิสติกส์ต่อราคาขายที่ 53.17 บาท/กก.
1. การเก็บเกี่ยวและขนย้าย			
ค่าอุปกรณ์	0.2147	0.78	0.40
ค่าจ้างแรงงาน	25.8100	93.56	48.54
2. การขนส่ง			
ค่าเสื่อมราคาพาหนะ	0.5951	2.16	1.12
ค่าซ่อมบำรุงพาหนะ	0.4772	1.73	0.90
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	0.4833	1.75	0.91
3. การติดต่อสื่อสาร			
ค่าโทรศัพท์	0.0067	0.02	0.01
ต้นทุนรวม	27.5870	100.00	51.89

* คิดเฉพาะกรณีที่มีการจ้างแรงงานเก็บเกี่ยวผลผลิต

ตารางที่ 4 ต้นทุนโลจิสติกส์ของสหกรณ์ยางพารา/พ่อค้าคนกลาง

กิจกรรมโลจิสติกส์	ต้นทุนเฉลี่ย (บาท/กก.)	ร้อยละต่อต้นทุนโลจิสติกส์ทั้งหมด	ร้อยละของต้นทุนโลจิสติกส์ต่อราคาขายที่ 53.17 บาท/กก.
1. การจัดซื้อจัดหาและขนถ่าย			
ค่าเช่าโรงเรือนและที่ดิน	0.0132	2.00	0.02
ค่าอุปกรณ์	0.0196	2.97	0.04
ค่าจ้างแรงงาน	0.3000	45.42	0.56
ค่าโสหุ้ย	0.0054	0.82	0.01
2. การขนส่ง			
ค่าเสื่อมราคาพาหนะ	0.1389	21.03	0.26
ค่าซ่อมบำรุงพาหนะ	0.0298	4.51	0.06
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	0.1500	22.71	0.28
3. การติดต่อสื่อสาร			
ค่าโทรศัพท์	0.0036	0.55	0.01
ต้นทุนรวม	0.6605	100.00	1.25

ตารางที่ 5 ต้นทุนโลจิสติกส์น้ำยางสดในพื้นที่จังหวัดสงขลา

กิจกรรมโลจิสติกส์	ต้นทุนเฉลี่ย (บาท/กก.)	ร้อยละต่อต้นทุนโลจิสติกส์ทั้งหมด	ร้อยละของต้นทุนโลจิสติกส์ต่อราคาขายที่ 53.17 บาท/กก.
เกษตรกร	27.5870	97.66	51.89
สหกรณ์ยางพารา/พ่อค้าคนกลาง	0.6605	2.34	1.25
ต้นทุนรวม	28.2475	100.00	53.14

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อเสนอแนะสำหรับเกษตรกรชาวสวนยางพารา

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลต้นทุนการเก็บเกี่ยวและขนย้ายน้ำยางสด พบว่า เกษตรกรมีอำนาจที่จะสามารถต่อรองราคากับแรงงานผู้รับจ้างกรีดยางได้ ดังนั้นเกษตรกรชาวสวนยางควรรวมกลุ่มกันกำหนดราคาเพื่อเป็นการต่อรองราคาค่ากรีดยางให้ถูกลง ทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บเกี่ยวและขนย้ายได้ และควรรวมกลุ่มกันจ้างเหมาผู้ขนส่งไปจำหน่ายยังโรงงานแปรรูปยางพาราโดยตรง เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการขนส่งและเพิ่มราคาขายได้อีกทางหนึ่ง

สำหรับรัฐบาล องค์กรหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการจัดหาแรงงานในการกรีดยาง เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานในการกรีดยาง และควรอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการกรีดยางให้ได้คุณภาพดี เพื่อลดปัญหาคุณภาพน้ำยางสดที่มีเปอร์เซ็นต์ต่ำ และควรมีการประกันราคาน้ำยางสดอย่างจริงจังเพื่อเป็นการลดความเสี่ยงด้านราคาให้กับเกษตรกรชาวสวนยางอีกทางหนึ่งด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับสถานที่รับซื้อน้ำยางสด

จากการศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์สถานที่รับซื้อ ซึ่งได้แก่ สหกรณ์ยางพารา/พ่อค้าคนกลาง (จุดรับซื้อ) พบว่า เมื่อปริมาณการรับซื้อน้ำยางสดต่อวันมีจำนวนมากขึ้น ต้นทุนโลจิสติกส์ก็จะลดลง ดังนั้นสถานที่รับซื้อควรเพิ่มปริมาณการรับซื้อในแต่ละวันให้สูงขึ้นและให้เพียงพอต่อปริมาตรบรรจุในการขนส่งแต่ละเที่ยว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ผู้วิจัยขอขอบคุณเกษตรกรชาวสวนยางพารา สหกรณ์ยางพาราและพ่อค้าคนกลาง (จุดรับซื้อ) ในพื้นที่จังหวัดสงขลาที่ได้สละเวลาในการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง, ราคายางวันนี้, ข้อมูลจาก http://www.rubber.co.th/rubber2012/menu5.php (วันที่สืบค้นข้อมูล 30 เมษายน 2558)

[2] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ยางพารา, ข้อมูลจาก http://www.oae.go.th/download/prcai/farmcrop/rubber.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 28 มกราคม 2558)

[3] Ballou, R.H., Business Logistics Management.

[4] คำนาย อภิปรัชญาสกุล, การจัดการต้นทุนโลจิสติกส์, กรุงเทพฯ: โฟกัสมีเดีย แอนด์ พับลิชชิ่ง, 2551

[5] Yamane, T., Statistic, An Introductory Analysis, 3rd ed., New York: Harper and Row, 1973
4th ed., New Jersey: Prentice-Hall, 1999

การแก้ปัญหาการเดินทางขนส่งโดยใช้การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัว

Solving Traveling Transportation Problems using Adaptive Current Search

สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี*
ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อกรุงเทพมหานคร 10800
E-mail:supaporn.s@eng.kmitnb.ac.th*

SupapornSuwannarongsri*
Department of Materials Handling and Logistics Engineering,Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok,
1518 Piboonsongkram Rd. Bangsue District, Wong Sawang Area, Bangkok 10800,
E-mail:supaporn.s@eng.kmitnb.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการเดินทางขนส่งอย่างเหมาะสมโดยใช้การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัว ซึ่งเป็นเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศึกษาสำนึกที่ทรงประสิทธิภาพ ปัญหาการเดินทางขนส่งได้รับการพิจารณาเป็นปัญหาแบบ NP-complete ซึ่งสามารถหาคำตอบเหมาะที่สุดได้โดยอาศัยวิธีการที่มีประสิทธิภาพ หรืออาศัยแนวทางอภิศึกษาสำนึก บทความนี้ได้ทำการประยุกต์การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัวเพื่อแก้ปัญหาการเดินทางขนส่งในระดับจังหวัดจำนวน 6 จังหวัดของประเทศไทยเพื่อเป็นกรณีศึกษา โดยทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และการค้นหาแบบตาบู จากผลการทดสอบพบว่าการค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัวสามารถใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่ดีกว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และการค้นหาแบบตาบู อย่างมีนัยสำคัญ

คำหลัก ปัญหาการเดินทางขนส่ง, การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัว, การหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศึกษาสำนึก

Abstract

This paper proposes the application of the adaptive current search (ACS) to solve the traveling transportation problems (TTP) optimally. The TTP is considered as a class of NP-complete problems which can be solved by only efficient method or metaheuristic approach. The ACS is one of the most efficient metaheuristic optimization techniques. In this paper, the ACS is applied to solve six provincially TTP in Thailand as a case study. Solutions obtained by the ACS will be compared with those obtained by the genetic algorithm (GA) and tabu search (TS). As results, it was found that the ACS can find the optimal solutions with faster time consumed than the GA and TS, significantly.

Keywords: Traveling transportation problem, Adaptive current search, Metaheuristic optimization

1. บทนำ

ปัญหาการเดินทางขนส่ง (travelling transportation problems: TTP) เป็นปัญหาที่สำคัญยิ่งปัญหาหนึ่งในวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ ปัญหาดังกล่าวได้รับการพิจารณาเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบ NP-complete ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับปัญหาการเดินทางของ

พนักงานขาย (traveling salesman problems: TSP) [1] ที่มีเป้าหมายในการทำให้ระยะทางในการเดินทางขนส่งระหว่างจุดหมายต่างๆ สั้นที่สุด โดยที่การเดินทางดังกล่าวจะต้องเป็นการเดินทางเข้าและออกแต่ละจุดหมายเพียงครั้งเดียวเท่านั้น [2] จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้มีกลุ่มนักวิจัยต่างๆ ได้พัฒนาและนำเสนอขั้นตอนวิธีสำหรับการแก้ปัญหา TTP (TSP) เช่น วิธีศึกษาสำนึก [3] วิธี branch-and-bound [4] กำหนดการเชิงเส้น (linear programming) [5] ต่อมาได้มีการใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศึกษาสำนึกเพื่อแก้ปัญหา TTP (TSP) ได้แก่ การอบอ่อนจำลอง (simulated annealing: SA) [6] การค้นหาแบบตาบู (tabusearch: TS) [7] ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algo-rithm: GA) [8] เป็นต้น

ในปี ค.ศ.2014 การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัว (adaptive current search: ACS) ได้รับการนำเสนอในฐานะเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศึกษาสำนึก [9] ขั้นตอนวิธีของ ACS ได้รับการพัฒนาขึ้นจากพฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรข่าย และอาศัยรายการหน่วยความจำสำหรับจดจำผลเฉลยในอดีตประกอบกับกลไกการปรับรัศมีการค้นหา (adaptive radius mechanism: AR) เพื่อเร่งกระบวนการค้นหาผลเฉลย ทำให้ ACS สามารถค้นหาผลเฉลยวงกว้าง (global solution) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ACS ได้ถูกนำไปแก้ปัญหาทางวิศวกรรมอุตสาหการต่างๆ เช่น การแก้ปัญหาการจัดการพลังงานในสายงานการประกอบ [9], [10] และการจัดการพลังงานอย่างเหมาะสมในปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง [11] เป็นต้น

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ ACS เพื่อแก้ปัญหา TTP สำหรับการขนส่งในระดับจังหวัดจำนวน 6 จังหวัดของประเทศไทยในฐานะกรณีศึกษา ผลการทดสอบจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธี GA และ TS ตามลำดับ

2. การก่อรูปปัญหา TTP

ในทางทฤษฎีอาจกล่าวได้ว่าปัญหา TTP มีลักษณะเช่นเดียวกับปัญหา TSP ซึ่งได้รับการนำเสนอเป็นรูปแบบของปัญหาทางคณิตศาสตร์ครั้งแรกในช่วงทศวรรษที่ 1800s และต่อมาได้พัฒนาจนมีรูปแบบทั่วไป (general form) บนรากฐานของทฤษฎีกราฟ (graph theory) ในช่วงทศวรรษที่ 1930s [1],[2],[12]

กำหนดให้ $G=(V,E)$ เป็นกราฟสมบูรณ์ที่มีจุดยอด (vertices) $V, |V|=n$ ที่ซึ่ง n คือจำนวนจุดหมาย (เมือง) ทั้งหมด และขอบ E ซึ่งมีระยะทางเป็น c_{ij} สำหรับเมืองที่ (i,j) โดยในงานวิจัยนี้จะให้ความสนใจเฉพาะปัญหา TTP แบบสมมาตร นั่นคือ $c_{ij}=c_{ji}$ ของทุกเมือง (i,j) รูปแบบปัญหา TTP แสดงดังสมการที่ (1) ถึง (5) โดยที่สมการ (1) คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) ซึ่งใช้สำหรับการทำให้ระยะทางการขนส่งมีค่าน้อยที่สุด สมการ (2) เป็นเงื่อนไขที่จะรับประกันว่าแต่ละจุดหมายจะมีการเดินทางเข้ามาจากจุดหมายอื่นๆ เพียงจุดหมายเดียวเท่านั้น สมการ (3) เป็นเงื่อนไขที่จะรับประกันว่าแต่ละจุดหมายจะมีการเดินทางออกไปสู่จุดหมายอื่นๆเพียงจุดหมายเดียวเท่านั้น สมการ (4) เป็นเงื่อนไขสำหรับการกำจัดเส้นทางวนย่อย (subtour) ในขณะที่สมการที่ (5) เป็นเงื่อนไขสำหรับการตรวจสอบว่าขอบ E อยู่ในกลุ่มของคำตอบหรือไม่ ถ้า $x_{ij}=1$ นั่นหมายความว่าขอบ E อยู่ในกลุ่มของคำตอบ ถ้าไม่เช่นนั้นแล้ว $x_{ij}=0$

$$\min \sum_{i\in V}\sum_{j\in V} c_{ij}x_{ij} \tag{1}$$

$$\text{Subject to } \sum_{\substack{j\in V\\ j\neq i}} x_{ij}=1, \quad i\in V \tag{2}$$

$$\sum_{\substack{i\in V\\ i\neq j}} x_{ij}=1, \quad j\in V \tag{3}$$

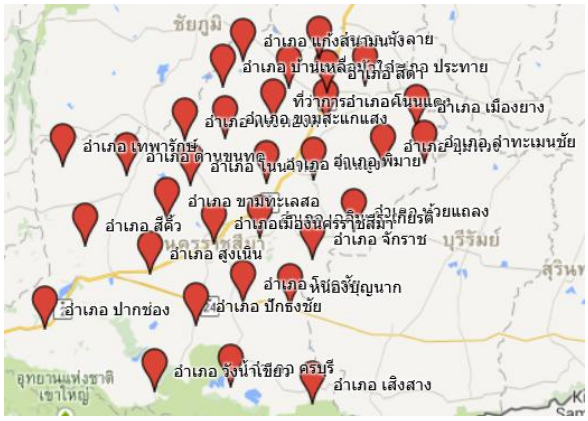
$$\sum_{i\in S}\sum_{j\in S} x_{ij}\le |S|-1, \quad \forall S\subset V, S=\varnothing \tag{4}$$

$$x_{ij}=0\, or\, 1, \quad i,j\in V \tag{5}$$

ปัญหา TTP ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นปัญหาการเดินทางขนส่งในระดับจังหวัดจำนวน 6 จังหวัดของประเทศไทยในฐานะกรณีศึกษา ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1 ตัวอย่างปัญหาที่ 1 (จังหวัดนครราชสีมา) ซึ่งมีจำนวน 32 จุดหมาย (อำเภอ) แสดงพิกัดด้วย Google Map ดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ปัญหา TTP ที่ใช้ในงานวิจัย

ปัญหาที่	จังหวัด	จำนวนจุดหมาย (อำเภอ)
1.	นครราชสีมา	32
2.	ขอนแก่น	25
3.	อุบลราชธานี	25
4.	เชียงใหม่	24
5.	บุรีรัมย์	23
6.	นครศรีธรรมราช	23



รูปที่ 1 พิกัดของปัญหาที่ 1 (นครราชสีมา)

3. ขั้นตอนวิธีของ ACS

การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัว (ACS) เป็นเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศึกษาสำนึกอิงผลเฉลยเดียว [9], [10] ที่มีขั้นตอนวิธีที่เลียนแบบพฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้า ACS จะใช้รายการหน่วยความจำเพื่อจดจำผลเฉลยในอดีต และใช้ประโยชน์จากผลเฉลยดังกล่าวเพื่อกำหนดทิศทางการค้นหา ประกอบกับกลไกการปรับรัศมีการค้นหา (AR) เพื่อเร่งกระบวนการค้นหาผลเฉลยขั้นตอนวิธีของ ACS สามารถแสดงดังรหัสเทียม (pseudocode) ในรูปที่ 2 และตัวอย่างการค้นหาของ ACS บนปริภูมิ 2 มิติ เมื่อกำหนดให้จำนวนเส้นทางการค้นหาเท่ากับ 4 เส้นทางแสดงดังรูปที่ 3

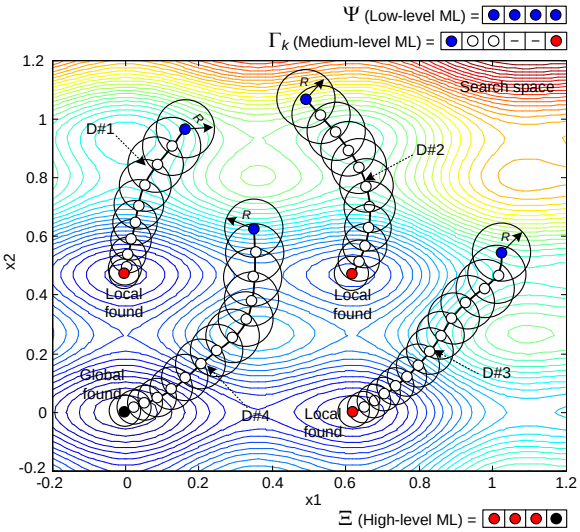
Pseudo-code of ACS

```
procedure
    Initialize the search space = Ω,
    the memory lists (ML) Ψ = Γ = Ξ = □,
    the iteration counter i = j = k = l = 1,
    the maximum search iteration in each direction I_max,
    the maximum allowance of solution
    cycling j_max, the number of initial solutions
    (feasible directions of currents in network) N,
    number of neighborhood members n,
    the maximum objective function value ε for AR,
    and the search radius R.
    while (i < N) do // generate search directions
        Generate initial solutions X_i randomly
        within Ω; Evaluate f(X_i) via the objective
        function; Rank X_i giving f(X_i) from min
        to max values (X_1 gives the min, while
        X_N gives the max objective function values);
        Store ranked X_i into Ψ;
    end_while
    while (k ≤ N) or the TC are not satisfied do
        Set x_0 = X_k;
        while (i ≤ I_max) do
            Generate neighborhood x_{k,l} (l =1,2,…,n)
            randomly around x_0 within R;
            for l □ 1 to n do
                Evaluate f(x_{k,l}) via the objective
                function; Set x* as a solution giving
                the minimum objective value;
            end_for
            if f(x*) < f(x_0) do
                Keep x_0 into Γ_k;
                Set x_0 = x*;
                Set j = 1;
            else do
                Keep x* into Γ_k;
                Update j = j+1;
            end_if
            if f(x_0) < ε do // activate the AR
                Adapt R = ρR, ρ □ [0, 1];
            end_if
            if j == j_max do // activate other directions
                Keep x_0 into Ξ;
                Update k = k+1;
                Go out-loop while;
            end_if
            Update i = i+1;
        end_while
        Keep x_0 into Ξ;
        Update k = k+1;
    end_while
end_procedure
```

รูปที่ 2 รหัสเทียมของ ACS

4. ผลการทดสอบและอภิปราย

ขั้นตอนวิธีของ ACS ที่นำเสนอในหัวข้อที่ 3 ได้รับการพัฒนาขึ้นด้วย MATLAB เพื่อประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ Intel Core2 Duo 2.0 GHz สำหรับแก้ปัญหาTTP โดยเริ่มต้นจากการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของACS ที่เหมาะสมสำหรับทุกปัญหา TTP ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จากการเปลี่ยนแปลงจำนวนเส้นทางการค้นหา N = 3, 5, 10, 20, จำนวนค่าข้างเคียง n = 10, 20, 30, 40, รัศมีการค้นหา R = 10%, 20%, 30%, 40% ของ



รูปที่ 3 การค้นหาของ ACS บนปริภูมิ 2 มิติ

ปริภูมิการค้นหา จำนวนการทำซ้ำของแต่ละเส้นทาง *Iter* = 100, 500, 1000, 2000, 3000 กลไก AR = 2, 3,4, 5 statesจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าค่าพารามิเตอร์ของ ACS ที่เหมาะสมสำหรับทุกปัญหา TTP คือ N = 5(กำหนดให้เป็น TC), n = 30, R = 20% ของปริภูมิการค้นหา, *Iter* = 2000 และกลไก AR = 2 states ซึ่งในการทดสอบกับทุกปัญหา TTP ต่อไปนี้ จะใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดดังกล่าวเพียงชุดเดียวเท่านั้น

ผลการทดสอบ ACS เพื่อแก้ปัญหา TTP จะได้รับการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธี GA และ TS ที่กำหนดค่าพารามิเตอร์เป็นค่ามาตรฐาน ทำการทดสอบปัญหาละ 20 ครั้ง เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าโดยเฉลี่ย ACS สามารถให้คำตอบซึ่งเป็นระยะทางรวมที่สั้นที่กว่าวิธี GA ในขณะที่ TS จะให้ระยะทางรวมที่เท่ากับ ACS อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาในการค้นหาทั้ง 3 วิธีพบว่า ACS ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่น้อยที่สุด คำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากวิธี ACS แสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 4

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการเดินทางขนส่ง (TTP) อย่างเหมาะสมโดยใช้การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัว (ACS) ซึ่งเป็นเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศึกษาสำนึกที่ทรงประสิทธิภาพ ปัญหา TTP ที่ใช้เป็นปัญหาจริงในระดับจังหวัดซึ่งมีจำนวนอำเภอมากที่สุดในประเทศไทยจำนวน 6 จังหวัดเพื่อเป็นกรณีศึกษา ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ขอนแก่น อุบลราชธานี เชียงใหม่ บุรีรัมย์ และนครศรีธรรมราช โดยผลการทดสอบจะนำไปเปรียบเทียบกับวิธี GA และ TS จากผลการทดสอบพบว่าโดยเฉลี่ย ACS สามารถให้คำตอบซึ่งเป็นระยะทางรวมของแต่ละปัญหาที่สั้นที่กว่าวิธี GA ในขณะที่ TS จะให้ระยะทางรวมโดยเฉลี่ยที่เท่ากับ ACS เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาในการค้นหาคำตอบทั้ง 3 วิธีพบว่า ACS ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่น้อยที่สุด

ตารางที่ 2 ผลการแก้ปัญหา TTP ด้วยวิธี GA, TS และ ACS

ปัญหาที่	ระยะทาง (km.)			เวลาที่ใช้ (sec.)		
	GA	TS	ACS	GA	TS	ACS
1.	1,189	1,184	**1,184**	45.86	25.24	**14.96**
2.	839	839	**839**	42.18	24.57	**14.15**
3.	873	873	**873**	43.54	24.68	**14.28**
4.	1,288	1,243	**1,243**	48.62	26.83	**14.35**
5.	722	719	**719**	44.27	25.33	**14.27**
6.	777	769	**769**	43.26	25.15	**14.63**

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Kikuchi and P. Chakroborty, “Place of possibility theory in transportation analysis,” Transportation Research, Part B, vol.40, pp.595 – 615, 2006.

[2] G. Reinelt, The Traveling Salesman: Computational Solutions for TSP Applications. Springer-Verlag, 1994.

[3] M. Held and R. Karp, “A dynamic programming approach to sequencing problems,” SIAM J, vol.1, pp.196 – 210, 1962.

[4] J. Little, K. Murty, D. Sweeney and C. Karel, “An algorithm for the traveling salesman problem,” Operation Research, vol.12, pp.972 – 989, 1963.

[5] G. B. Dantzig, D. R. Fulkerson, and S. M. Johnson, “Solution of a large scale traveling salesman problem,” Operation Research, vol.2, pp.393 – 410, 1954.

ตารางที่ 3 คำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จาก ACS

ปัญหาที่	คำตอบที่ดีที่สุด (ลำดับของอำเภอ)	ระยะทาง (km.)
1. นครราชสีมา	เมือง→เฉลิมพระเกียรติ→โชคชัย→หนองบุญนาก→เสิงสาง→ครบุรี →ปักธงชัย →วังน้ำเขียว→ปากช่อง→สีคิ้ว→เทพารักษ์→ด่านขุนทด→พระทองคำ →ขามสะแกแสง→คง→บ้านเหลื่อม→แก้งสนามนาง→บัวใหญ่→โนนแดง→สีดา →บัวลาย→ประทาย→เมืองยาง→ลำทะเมนชัย→ชุมพวง→ห้วยแถลง→จักราช →พิมาย→โนนสูง→โนนไทย→ขามทะเลสอ→สูงเนิน→เมือง	1,184
2. ขอนแก่น	เมือง→ชำสูง→กระนวน→น้ำพอง→เขาสวนกวาง→อุบลรัตน์→ภูเวียง →หนองนาคำ→สีชมพู→ภูผาม่าน→ชุมแพ→หนองเรือ→บ้านฝาง→พระยืน →มัญจาคีรี→โคกโพธิ์ไชย→ชนบท→แวงใหญ่→แวงน้อย→พล→หนองสองห้อง →เปือยน้อย→โนนศิลา→บ้านไผ่→บ้านแฮด→เมือง	839
3. อุบลราชธานี	เมือง→สำโรง→วารินชำราบ→สว่างวีระวงศ์→พิบูลมังสาหาร→นาเยีย→เดชอุดม →ทุ่งศรีอุดม→น้ำขุ่น→น้ำยืน→นาจะหลวย→บุณฑริก→สิรินธร→โขงเจียม →ศรีเมืองใหม่→โพธิ์ไทร→นาตาล→เขมราฐ→กุดข้าวปุ้น→ตะการพืชผล→ตาลสุม →ดอนมดแดง→เหล่าเสือโก้ก→ม่วงสามสิบ→เขื่องใน→เมือง	873
4. เชียงใหม่	เมือง→สารภี→สันกำแพง→แม่ออน→ดอยสะเก็ด→สันทราย→พร้าว→แม่อาย →ฝาง→ไชยปราการ→เวียงแหง→เชียงดาว→แม่แตง→แม่ริม→สะเมิง→แม่วาง →แม่แจ่ม→ฮอด→อมก๋อย→ดอยเต่า→จอมทอง→ดอยหล่อ→สันป่าตอง→หางดง →เมือง	1,243
5. บุรีรัมย์	เมือง→นางรอง→ชำนิ→ลำปลายมาศ→หนองหงส์→หนองกี่→โนนสุวรรณ →ปะคำ→โนนดินแดง→ละหานทราย→เฉลิมพระเกียรติ→บ้านกรวด→ประโคนชัย →พลับพลาชัย→กระสัง→ห้วยราช→บ้านด่าน→สตึก→แคนดง→บ้านใหม่ไชยพจน์ →นาโพธิ์→พุทไธสง→คูเมือง→เมือง	719
6. นครศรีธรรมราช	เมือง→ท่าศาลา→สิชล→ขนอม→นบพิตำ→พรหมคีรี→ลานสกา→ช้างกลาง →พิปูน→ฉวาง→ถ้ำพรรณรา→ทุ่งใหญ่→นาบอน→บางขัน→ทุ่งสง→ร่อนพิบูลย์ →จุฬาภรณ์→ชะอวด→หัวไทร→เชียรใหญ่→เฉลิมพระเกียรติ→ปากพนัง →พระพรหม→เมือง	769

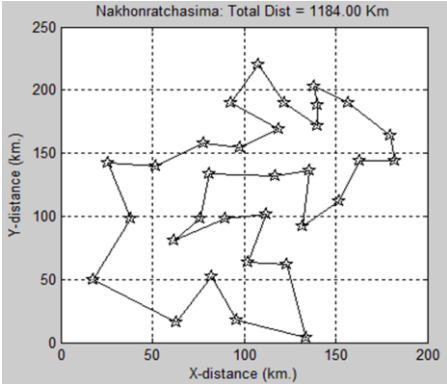
[6] E. H. L. Aarts, J. H. M. Korst and P. J. M. Laarhoven, “A quantitative analysis of the simulated annealing algorithm: a case study for the traveling salesman problem,” J. of Stats Phys, vol. 50, pp.189 – 206, 1988.

[7] C. N. Fiechter, “A parallel tabu search algorithm for large scale traveling salesman problems,” Discrete Applied Mathematics, vol. 51(3), pp. 243 – 267, 1994.

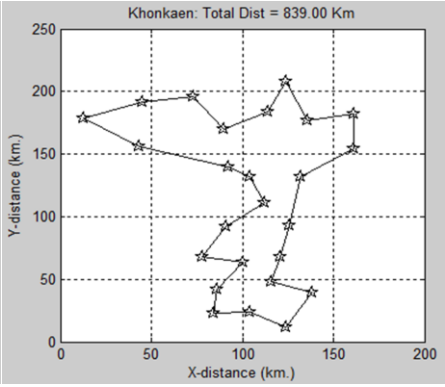
[8] J. V. Potvin, “Genetic algorithms for the traveling salesman problem,” Annuals of Operation Research, vol.63, pp.339 – 370, 1996.

[9] S. Suwannarongsri, T. Bunnag and W. Klinbun, “Energy resource management of assembly line balancing problem using modified current search method,” International Journal of Intelligent Systems and Applications, vol.6, no.3, pp. 1 – 11, 2014.

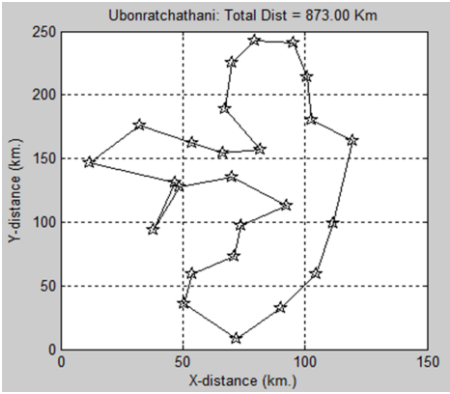
[10] S. Suwannarongsri, T. Bunnag and W. Klinbun, “Optimization of energy resource management for assembly line balancing using adaptive current search,” American Journal of Operations Research, vol.4, no.1, pp. 8 – 21, 2014.



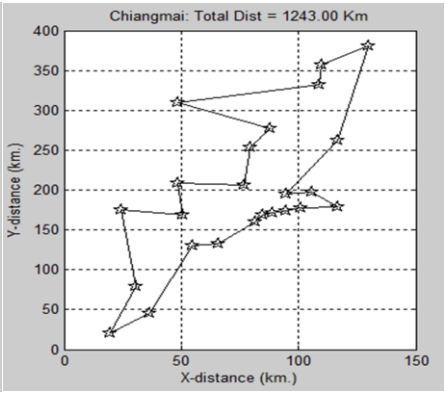
(ก) ปัญหาที่ 1 (นครราชสีมา)



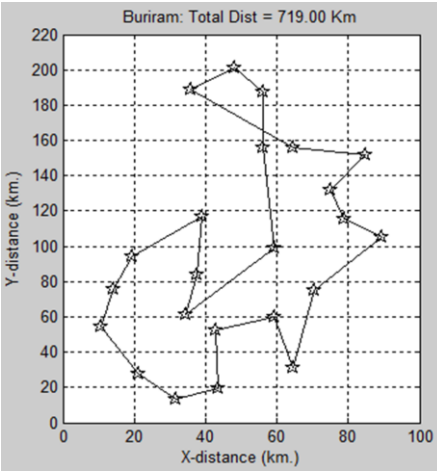
(ข) ปัญหาที่ 2 (ขอนแก่น)



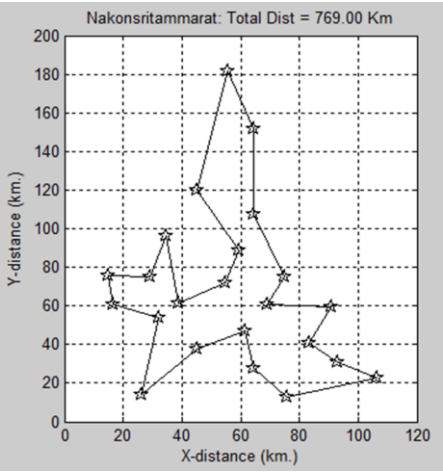
(ค) ปัญหาที่ 3 (อุบลราชธานี)



(ง) ปัญหาที่ 4 (เชียงใหม่)



(จ) ปัญหาที่ 5 (บรีรัมย์)



(ฉ) ปัญหาที่ 6 (นครศรีธรรมราช)

[11] S. Suwannarongsri, T. Bunnag and W. Klinbun, “Traveling transportation problem optimization by adaptive current search method,” International Journal of Modern Education and Computer Science, vol.6, no.5, pp. 33 – 45, 2014.

[12] M. Bellmore and G. L. Nemhauser, “The traveling salesman problem: a survey,” Operation Research, vol.16, pp.538 – 558, 1986.

การพัฒนาความคิดเชิงระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์สำหรับภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทย

Development of System Thinking for Enhancing Thailand Logistics Performance in Industrial Sector

สุวพิชญ์ บัวบุตร *, ดร.กานดา บุญโสธรสถิตย์
สาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยี สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
แขวงบางมด เขตทุ่งครุ จ.กรุงเทพ 10140 E-mail: suwaphit.b@gmail.com

Suwaphit Buabuthr *, Dr.Kanda Boonsothonsatit
Technopreneurship, King Mongkut's University of Technology Thonburi

Bangmod, Thungkru, Bangkok, 10140, E-mail: suwaphit.b@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประสิทธิภาพโลจิสติกส์ในภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยถูกชี้วัดด้วย 9 ตัวชี้วัดหลักที่มีความขัดแย้งกันกล่าวคือ การปรับปรุงหรือพัฒนาตัวชี้วัดหนึ่งๆสามารถส่งผลให้ให้ตัวชี้วัดอื่นๆแย่ลงได้ ทำให้ที่ผ่านมาการเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์ในภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยอาศัยวิธีการลองผิดลองถูก ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่เป็นระบบและที่ทำให้ละเลยผลกระทบของตัวชี้วัดอื่นจากการปรับปรุงหรือพัฒนาตัวชี้วัดหนึ่งๆเพื่อหลีกเลี่ยงวิธีการดังกล่าวทีมวิจัยนำเสนอความคิดเชิงระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์ในภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยด้วยแผนภูมิวงรอบเหตุและผล โดยทำการศึกษาตัวชี้วัดที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพโลจิสติกส์ เพื่อนำมาวิเคราะห์และเชื่อมโยงความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบซึ่งเป็นขั้นตอนการทำความเข้าใจระบบและการตีกรอบแนวคิดระบบ ความคิดเชิงระบบดังกล่าวสามารถนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์ในภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทย

คำหลัก การเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์, ตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์, การวัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์, การคิดเชิงระบบ

Abstract

Nowadays, Thailand logistics performance in industrial sector is measured through several conflicting indicators (Logistics performance indicators: LPIs). The individual LPIs support some LPIs whereas conflicting with others. Hence, the conflicting LPIs are enhanced using trial and error. To avoid the unsystematic technique, this paper proposed system thinking in a diagram of causal loops to support decision makers for enhancing Thailand logistics performance. It contained several LPIs which significantly impact overall logistics performance. These LPIs were systematically studied, analyzed, and linked as system understanding and conceptualization. Eventually, it was used as guideline to systematically enhance Thailand logistics performance in industrial sector.

Keywords: Enhancing Logistic Performance, Logistic Performance Index, Performance Measurement, System Thinking

1. บทนำ

บนเวทีการแข่งขันของอุตสาหกรรมไทยในปัจจุบัน ความได้เปรียบทางธุรกิจถูกกำหนดด้วยความสามารถในการตอบสนองความต้องการตลาดภายใต้การบริหารจัดการต้นทุนที่มีประสิทธิภาพ [1] นั่นทำให้บทบาทของการจัดการประสิทธิภาพโลจิสติกส์ในภาคอุตสาหกรรมมีความสำคัญมากยิ่งขึ้น โดยในระดับโลกนั้นมีองค์กรที่ชื่อ The World Bank เข้ามาทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลการจัดการประสิทธิภาพโลจิสติกส์ของแต่ละประเทศและนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการเปรียบเทียบกับผลการประเมินในปีที่ผ่านมา เพื่อนำมาจัดอันดับประสิทธิภาพ ซึ่งในการจัดอันดับเมื่อปี ค.ศ. 2014 และ 2010 ประเทศไทยถูกจัดให้อยู่อันดับที่ 35 จากจำนวน 160 ประเทศ[2] ซึ่งต่ำกว่าเมื่อ ค.ศ.2007 (อันดับที่ 31) อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศในภูมิภาคอาเซียนด้วยกันนั้น ไทยยังคงเป็นรองมาเลเซีย (อันดับที่ 25) และประเทศสิงคโปร์ (อันดับที่ 5) นั่นยิ่งสะท้อนให้เห็นว่าประเทศไทยยังคงต้องการการพัฒนาเพื่อยกระดับขีดความสามารถของภาคอุตสาหกรรมไทยในด้านโลจิสติกส์ให้สามารถแข่งขันกับนานาชาติได้ อย่างไรก็ดีการอาศัยเพียงข้อมูลของ The World Bank ที่ได้จากการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพนั้นไม่เพียงพอ เนื่องจากยากต่อการนำไปวิเคราะห์แนวทางแก้ไข ไทยจึงได้พัฒนาเครื่องมือประเมินประสิทธิภาพโลจิสติกส์ที่อาศัยการประเมินประสิทธิภาพโลจิสติกส์ด้วยข้อมูลเชิงปริมาณขึ้น ภายใต้การกำกับดูแลของ ดร. รุธิร์ พนมยงค์ และสถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์กับสำนักงานโลจิสติกส์ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

เครื่องมือประเมินประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ที่ถูกพัฒนาขึ้นนั้น เป็นการประเมินประสิทธิภาพโลจิสติกส์ตามมิติของความน่าเชื่อถือ ต้นทุน และเวลา ร่วมกับข้อมูลที่ทำการวัดค่าได้ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินกิจกรรมโลจิสติกส์ทั้ง 9 กิจกรรม [3] นำไปสู่แนวคิดการพิจารณาประสิทธิภาพโลจิสติกส์ด้วยหลักเกณฑ์ 27 ตัวชี้วัด[4] แบ่งเป็น 9 ตัวชี้วัดหลักและ 18 ตัวชี้วัดสนับสนุน ตามตารางที่ 2 ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวัดผลตามตัวชี้วัดนั้นมีความชัดเจน และเหมาะสมกับการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดในกระบวนการโลจิสติกส์ของภาคอุตสาหกรรมไทยมากกว่าการอาศัยข้อมูลเชิงคุณภาพที่ชี้ให้เห็นเพียงภาพรวมของระบบ ยิ่งไปกว่านั้นผลการประเมินจากการใช้เครื่องมือนี้รวบรวมข้อมูลจากกลุ่มอุตสาหกรรมทั่วประเทศตามทั้ง27ตัวชี้วัด ปรากฏว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการประเมินของ The World Bank นั่นยิ่งทำให้เครื่องมือประเมินประสิทธิภาพฯ ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย ดร. รุธิร์ พนมยงค์ มีความน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับในประเทศไทยเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ดีการประเมินประสิทธิภาพฯในประเทศไทยโดยอาศัย 27 ตัวชี้วัดที่ถูกพัฒนาขึ้นนั้นแม้ผลลัพธ์จากการประเมินจะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่เหมาะสมกับการนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพโลจิสติกส์ของกิจกรรมที่เกิดขึ้นในแต่ละมิติ แต่การวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยตัวชี้วัดตามลักษณะที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้นเป็นการวิเคราะห์และหาแนวทางแก้ปัญหาโดย มิได้คำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดกับตัวชี้วัดอื่น เช่น การพิจารณาตัวชี้วัดสัดส่วนต้นทุนการขนส่งต่อมูลค่ายอดขาย (Ratio of Transportation Cost per Sale) เป็นการประเมินประสิทธิภาพและแก้ปัญหาโลจิสติกส์ในมิติของต้นทุนเท่านั้นหรือการพิจารณาว่าตัวชี้วัดความสามารถในการจัดส่งสินค้าของแผนกขนส่ง (Transportation DIFOT Rate) เป็นการวัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ในมิติของความน่าเชื่อถือเพียงมิติเดียว ซึ่งในความจริงแล้วหากต้องการประเมินตัวชี้วัดสัดส่วนต้นทุนการขนส่งต่อมูลค่ายอดขายซึ่งเป็นตัวชี้วัดในมิติของต้นทุนโดยการลดจำนวนรอบในการขนส่งลงเพื่อทำการเพิ่มประสิทธิภาพก็จะส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดอื่นในกระบวนการโลจิสติกส์ด้วย เช่น การลดลงของจำนวนรอบการส่งสินค้าจะส่งผลสืบเนื่องให้อัตราความสามารถในการจัดส่งสินค้าลดลงตามไปด้วย หรือการลดลงของจำนวนรอบในการขนส่งอาจส่งผลให้มีการกักตุนปริมาณสินค้าในคลังสินค้าที่สูงขึ้นทำให้มีค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาคลังสินค้าสูงขึ้นตาม กล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ตัวชี้วัดใดชี้วัดหนึ่งอาจส่งผลให้ตัวชี้วัดตัวอื่นๆเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วย การตัดสินใจปรับปรุงแก้ปัญหาแต่ละตัวชี้วัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องจึงอาจยังไม่ดีเท่าที่ควร ยิ่งไปกว่านั้นการประเมินประสิทธิภาพโลจิสติกส์ในปัจจุบันยังมิได้คำนึงถึงปัจจัยภายนอกอื่นๆที่มีการแปรผันตามระยะเวลาซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพโลจิสติกส์ได้เช่นกัน เช่น อัตราดอกเบี้ย วงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ อัตราการแลกเปลี่ยนเงินตรา เป็นต้น

จากการศึกษาการชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ในงานวิจัยอื่นพบว่าส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการวัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ในมิติด้านต้นทุน โดยอาศัยแนวคิดการประเมินผลที่แตกต่างกันไป(ดังตารางที่ 1) เช่น การวัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์จากมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Value Added:

EVA) จะพิจารณาจากรายรับรายจ่ายที่เกิดขึ้นจริง รวมไปถึงค่าเสียโอกาสต่างๆ ที่นอกจากจะสร้างกำไรให้องค์กรแล้วควรมีการสร้างมูลค่าเพิ่มทางธุรกิจให้แก่องค์กรด้วยหรือในทิศทางเดียวกันคือการพิจารณาประสิทธิภาพโลจิสติกส์ขององค์กรด้วยแนวคิด DuPont ซึ่งเป็นการพิจารณาผลตอบแทนจากการลงทุนด้วยปัจจัยทางต้นทุนต่างๆในระบบโลจิสติกส์

ตารางที่ 1 แนวคิดที่ใช้ในการชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์จากงานวิจัย

	Logistics Cost Matrix	EVA	DuPont	Cost Analysis	LSPs	MMOG/LE	Balance Score Card
[5] Alexandre Reis Graeml						✓	
[6] Fletcher, Harold D., Smith, Darlene Brannigan		✓					✓
[7] Enikö LEGEZA	✓						
[8] Sara H. Elgazzar, Nicoleta S. Tipi , Nick J. Hubbard, David Z. Leach		✓	✓				
[9] Kuo-Chung Shang			✓				
[10] Elfriede Krauth, Hans Moonen					✓		
[11] K. Bichou and Richard Gray				✓			

อย่างไรก็ดีการวัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ด้วยมุมมองทางต้นทุนเพียงอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอ การคำนึงถึงมิติอื่นๆที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพจึงจำเป็นสำหรับการประเมินประสิทธิภาพโลจิสติกส์ของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งเครื่องมือในลักษณะที่กล่าวมานั้นพบว่าถูกใช้ในงานวิจัยของ Elfriede Krauth, Hans Moonen ที่ได้นำเอาแนวคิด LSPs (Logistical Service Providers) มาประเมินประสิทธิภาพโลจิสติกส์จากความสามารถในด้านเทคโนโลยี ความพึงพอใจ ศักยภาพของธุรกิจและผลลัพธ์ของภาคอุตสาหกรรมตามชุดเกณฑ์การชี้วัดที่ได้กำหนดไว้โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อหาความเป็นไปได้ในการทำกำไรให้สูงขึ้นจากปัจจัยภายนอกองค์กร ทำให้เกณฑ์การวัดที่ใช้ไม่ครอบคลุมถึงปัจจัยภายในองค์กรที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพโลจิสติกส์เช่นเดียวกัน การพัฒนากรอบความคิดเชิงระบบเพื่อช่วยในการประเมินประสิทธิภาพโลจิสติกส์ของภาคอุตสาหกรรมไทยขึ้นจึงควรครอบคลุมการพิจารณาปัจจัยภายในองค์กรด้วนอกเหนือไปจากการพิจารณาในมิติที่สำคัญเพื่อให้ได้ระบบการประเมินประสิทธิภาพโลจิสติกส์ที่มีประสิทธิภาพและมีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวชี้วัดอย่างสมเหตุสมผล

จากปัญหาที่เกิดขึ้นทางผู้วิจัยจึงได้จัดทำงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ 9 ตัวชี้วัดหลัก ที่ถูกพัฒนาโดย ดร. รุธิร์ พนมยงค์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาแนวความคิดเชิงระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์สำหรับภาคอุตสาหกรรมของไทยโดยใช้แนวคิดของพลวัตรระบบมาแก้ปัญหาการประเมินประสิทธิภาพและการสร้างแนวทางแก้ปัญหาโดยมิได้คำนึงถึงความไม่สัมพันธ์กันระหว่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์รวมไปถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยภายนอกที่ขึ้นกับช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงด้วย

2. ระเบียบวิธีวิจัย

การพัฒนาความคิดเชิงระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์สำหรับภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยนั้นถูกพัฒนาขึ้นด้วย 2 ขั้นตอนด้วยกัน

2.1การศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ตัวชี้วัดหลัก

จากการศึกษาคู่มือประเมินประสิทธิภาพโลจิสติกส์ที่ถูกพัฒนาโดย ดร. รุธิร์ พนมยงค์ พบว่า จากคู่มือดังกล่าวได้ทำการพัฒนาตัวชี้วัดขึ้นจาก 9 กิจกรรมทางโลจิสติกส์ตามแนวคิดของ Grant et al.(2006) ใน 3 มิติ คือ มิติต้นทุน มิติเวลา และมิติความน่าเชื่อถือ ทำให้เกิดเป็น 27 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 9 ตัวชี้วัดหลัก (ดังพื้นที่แรเงาของตารางที่ 2) และ 18 ตัวชี้วัดสนับสนุน โดยพิจารณาจากตัวชี้วัดที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพโลจิสติกส์เป็นเกณฑ์ดังตารางที่ 2

การศึกษาพบว่าตัวชี้วัดเหล่านั้นสามารถวัดค่าโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์แล้วนำค่าไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานว่าตัวชี้วัดดังกล่าวอยู่ในระดับใด แล้วอาศัยข้อมูลนี้ประกอบการตัดสินใจในการตัดสินเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์

ตารางที่ 2 แสดง 27 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์

กิจกรรมโลจิสติกส์	มิติต้นทุน	มิติเวลา	มิติความน่าเชื่อถือ
1. การวางแผนหรือการคาดการณ์ความต้องการของลูกค้า	สัดส่วนต้นทุนการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าต่อยอดขาย	รอบเวลาการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า	อัตราความแม่นยำการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า (LPI 1)
2. การให้บริการแก่ลูกค้าและกิจกรรมสนับสนุน	สัดส่วนต้นทุนการให้บริการลูกค้าต่อยอดขาย	รอบเวลาการเติมเต็มคำสั่งซื้อ (LPI 2)	อัตราการส่งมอบอย่างสมบูรณ์
3. การสื่อสารด้านโลจิสติกส์และกระบวนการสั่งซื้อ	สัดส่วนการลงทุนการติดตั้งระบบการสื่อสารภายในองค์กรต่อยอดขาย	รอบเวลาการส่งคำสั่งซื้อในองค์กร	อัตราความแม่นยำของการออกใบสั่งซื้อไปยังแผนกอื่น
4. การจัดซื้อจัดหา	สัดส่วนต้นทุนการจัดซื้อจัดหาต่อยอดขาย	รอบเวลาการจัดซื้อ	อัตราการส่งมอบอย่างสมบูรณ์ของผู้ผลิต
5. การจัดการเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆและการบรรจุหีบห่อ	สัดส่วนมูลค่าสินค้าที่เสียหายต่อยอดขาย	รอบเวลาการถือครองและการบรรจุภัณฑ์สินค้า	อัตราความเสียหายของสินค้า
6. การเลือกสถานที่ตั้งของโรงงานและคลังสินค้า	สัดส่วนต้นทุนการบริหารคลังสินค้าต่อยอดขาย (LPI 3)	รอบเวลาการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูปในคลังสินค้า	อัตราความแม่นยำของสินค้าคงคลัง
7. การบริหารสินค้าคงคลัง	สัดส่วนต้นทุนการถือครองสินค้าต่อยอดขาย (LPI 4)	รอบเวลาการเก็บสินค้าสำเร็จรูปอย่างเพียงพอเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า (LPI 5)	อัตราจำนวนสินค้าสำเร็จรูปขาดมือ
8. การขนส่ง	สัดส่วนต้นทุนการขนส่งต่อยอดขาย (LPI 6)	รอบเวลาการจัดส่งสินค้า (LPI 7)	อัตราการส่งมอบอย่างสมบูรณ์ของแผนกขนส่ง (LPI 8)
9. โลจิสติกส์ย้อนกลับ	สัดส่วนมูลค่าสินค้าที่ถูกตีกลับต่อยอดขาย	รอบเวลาการรับสินค้าคืนจากลูกค้า	อัตราการถูกตีกลับของสินค้า (LPI 9)

อย่างไรก็ตามคู่มือการประเมินดังกล่าวได้แยกส่วนการประเมินตัวชี้วัดออกเป็นด้าน ๆอย่างชัดเจน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วตัวชี้วัดหนึ่งอาจสามารถส่งผลให้ตัวชี้วัดอื่น ๆเกิดการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ตรงกันข้ามได้ เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัดที่กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.2 แผนภูมิวงรอบเหตุและผล

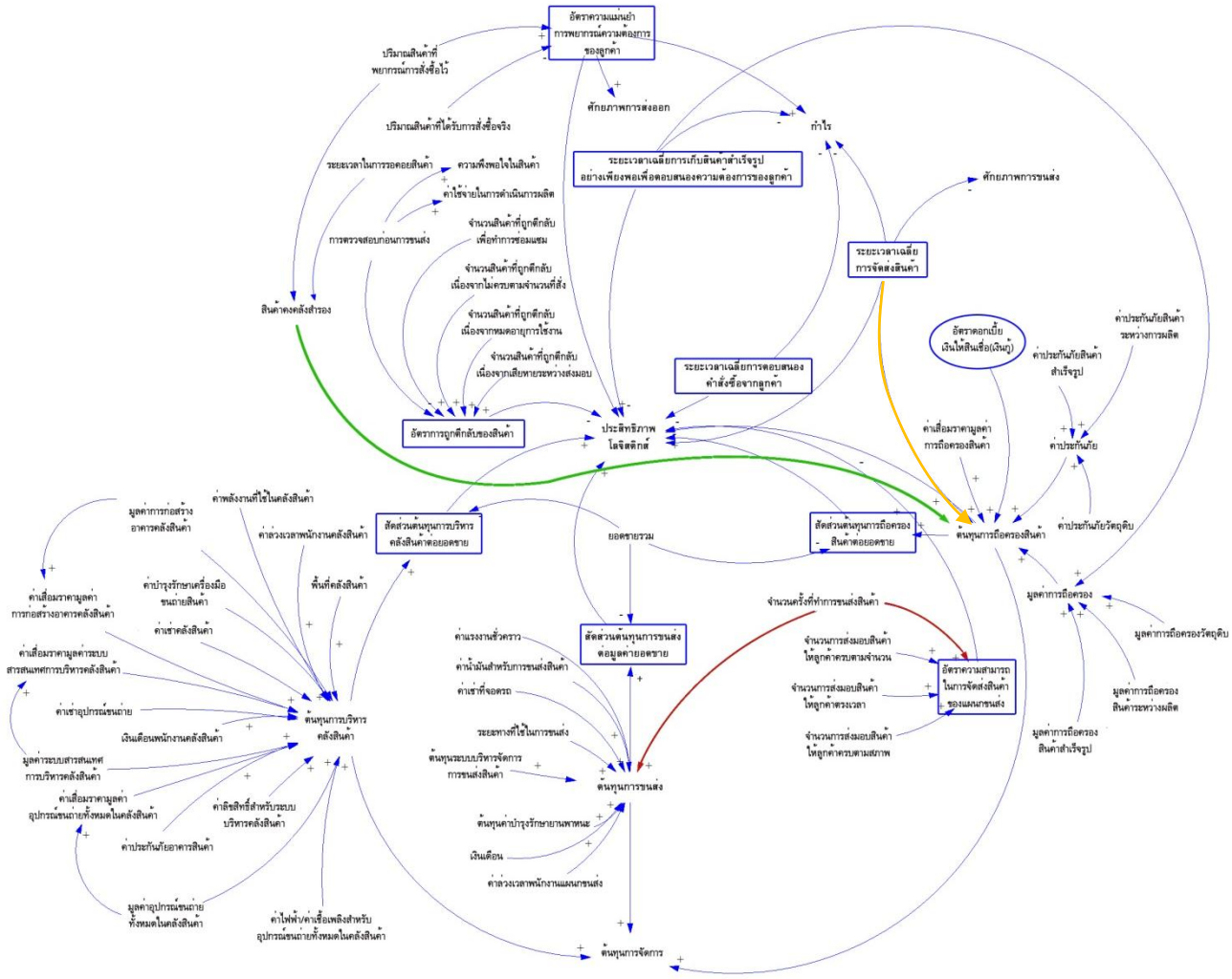
ภายหลังจากที่การทำความเข้าใจระบบการสนับสนุนการตัดสินใจที่อาศัยตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างกันของตัวชี้วัดได้แล้วนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้ในการสร้างแผนภูมิวงรอบเหตุและผล (Causal Loop Diagrams: CLDs) ดังรูปที่ 1 ที่จะช่วยให้เห็นภาพรวมของความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อผลการดำเนินงานโลจิสติกส์ทั้งปัจจัยภายในองค์กรและปัจจัยภายนอกที่แปรผันตามช่วงเวลา

ในแผนภูมิดังกล่าวจะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัดฯกับตัวแปรต่าง ๆที่เกี่ยวข้อง โดย 9 ตัวชี้วัดหลักนั้นจะถูกแสดงในกล่องสี่เหลี่ยม และตัวแปรที่มีการแปรผันตามระยะเวลาจะใช้สัญลักษณ์วงกลม ในส่วนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจะใช้เครื่องหมายลูกศรแสดงความที่เกี่ยวข้องจากเหตุไปสู่ผล โดยประจุบวกที่ปลายลูกศร หมายถึง เหตุที่ทำให้เกิดผลในทิศทาง

เดียวกัน อาทิเช่น สัดส่วนต้นทุนการขนส่งต่อมูลค่ายอดขายและประสิทธิภาพโลจิสติกส์ ยิ่งสัดส่วนต้นทุนการขนส่งต่อมูลค่ายอดขายมากขึ้นยิ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพโลจิสติกส์เพิ่มสูงขึ้นตาม และประจุลบคือเหตุส่งผลในทิศทางที่แปรผกผันกับผลที่ได้รับ เช่น การเพิ่มขึ้นของระยะเวลาเฉลี่ยในการตอบสนองคำสั่งซื้อของลูกค้าที่ยิ่งมากยิ่งทำให้ประสิทธิภาพโลจิสติกส์อุตสาหกรรมนั้นลดลง

3. อภิปรายผล

โดยทั่วไปแล้วการประเมินผลประสิทธิภาพโลจิสติกส์ของประเทศไทยถูกทำขึ้นบนพื้นฐานของตัวชี้วัดที่มีความสัมพันธ์กัน และใช้ตัวชี้วัดเหล่านั้นในการประกอบการตัดสินใจเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์ให้กับภาคอุตสาหกรรม แต่ในทางปฏิบัติตัวชี้วัดเหล่านั้นกลับถูกใช้เพิ่มประสิทธิภาพโดยการวิธีการลองผิดลองถูกเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวมิได้คำนึงถึงผลกระทบที่จะขึ้นกับตัวชี้วัดอื่นๆในระบบการสร้างแผนภูมิวงรอบเหตุและผลเพื่อช่วยอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัดจึงน่าจะเป็นเครื่องมีที่ช่วยประกอบการตัดสินใจเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพฯของตัวชี้วัดใดชี้วัดหนึ่งรวมไปถึงทั้งระบบโลจิสติกส์ให้ดีขึ้น



รูปที่ 1 แสดงแผนภูมิวงรอบเหตุและผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปแล้วนั้นในภาคอุตสาหกรรมมักจะมองกำไรเป็นเป้าหมายใหญ่ของธุรกิจเป็นหลัก ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลกว่า 20% ของต้นทุนของภาคอุตสาหกรรมนั่นก็คือ ต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์ (Logistics Administration Cost : LAC) จากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์นั้นเกิดจาก ต้นทุน 3 ส่วนด้วยกัน คือ ต้นทุนการบริหารคลังสินค้าต่อยอดขาย ต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลัง และต้นทุนการขนส่ง

$$LAC = LPI3 + LPI4 + LPI6 \quad (1)$$

ดังนั้นหากต้องการลดค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกี่ยวข้องกับทั้ง 3 LPI นี้ ดังภาพที่ 1 ก็จะสามารถสร้างกำไรที่สูงขึ้นในขณะที่รายได้เท่าเดิมได้

อย่างไรก็ตาม การลดต้นทุนอาจส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดในมิติอื่น ยกตัวอย่างเช่น การลดต้นทุนการขนส่ง (LPI6) นั้น เกิดจากการลดจำนวนเที่ยวของการขนส่ง หากแต่การลดจำนวนเที่ยวของการขนส่งกลับทำให้อัตราการส่งมอบสินค้า (LPI 8) อย่างสมบูรณ์ลดลง นั่นคือความน่าเชื่อถือในการส่งมอบสินค้าเต็มจำนวน ตรงเวลา และมีคุณภาพลดลง (ตามเครื่องหมายลูกศรสีแดง ดังภาพที่ 1) สามารถอธิบายเป็นสมการได้ ดังนี้

LPI6 = (ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนส่งต่อเดือน)*จำนวนการส่งมอบ*12 เดือน (2)

LPI8 = (จำนวนการส่งมอบที่ถูกต้อง ตรงเวลา/จำนวนการส่งมอบ)*100 (3)

นอกจากนี้การเพิ่มอัตราความแม่นยำในการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้านั้น(LPI1) เกิดจากการพยากรณ์คำสั่งซื้อใกล้เคียงกับคำสั่งซื้อจริง อันนำมาซึ่งการลดลงของต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลัง(LPI4) (ความสัมพันธ์ดังลูกศรสีเขียวในรูปที่ 1) เนื่องจากการถือครองสินค้าคงคลังนั้นจะได้รับผลกระทบจากการเก็บปริมาณสินค้าคงคลังสำรองไว้เพื่อรองรับกับปริมาณสินค้าที่คาดการณ์ไว้ว่าจะถูกสั่งซื้อ

ไม่เพียงแต่การเพิ่มอัตราความแม่นยำในการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้านั้น(LPI1)เท่านั้นที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบกับต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลัง แต่ระยะเวลาเฉลี่ยในการจัดส่งสินค้า(LPI7) ที่ใช้เวลานานขึ้นก็ส่งผลกระทบด้วยเช่นกัน (ความสัมพันธ์ดังลูกศรสีเหลือง)

นอกเหนือไปจากปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ทั้ง 9 แล้ว ก็ยังมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับประสิทธิภาพโลจิสติกส์อันมีลักษณะเฉพาะที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าไปตามระยะเวลา ยกตัวอย่าง เช่น อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ (ตัวแปรถูกแสดงโดยสัญลักษณ์วงกลมในรูปที่ 1) จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าไปตามระยะเวลา และสภาวะเศรษฐกิจ

ทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวส่งผลกระทบกับต้นทุนการถือครองสินค้าให้มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าในระบบโลจิสติกส์การปรับลดหรือเพิ่มขึ้นของตัวชี้วัดใดๆอาจส่งผลสืบเนื่องไปยังตัวชี้วัดอื่นๆให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้

4.สรุป

การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์สำหรับภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยภายใต้แนวคิดพลวัตระบบโดยใช้แผนภูมิวงรอบเหตุและผล(CLD) มาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ทำให้ภาคอุตสาหกรรมมองเห็นภาพรวมของระบบและสามารถคาดการณ์แนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างถูกต้องเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งในระบบ ซึ่งในท้ายที่สุดแล้วระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโลจิสติกส์จะช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมไทยสามารถเลือกปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับปรุงและสอดคล้องกับช่วงเวลาที่เกิดขึ้นเพื่อให้องค์กรของก้าวขึ้นมาเป็นผู้นำทางธุรกิจอีกทั้งยังสามารถดำรงอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมทางเศรษฐกิจที่มีการเปลี่ยนแปลงได้อยู่เสมอได้

เอกสารอ้างอิง

[1] E. Grosvenor Plowman : Lectures on Elements of Business Logistics, Stanford Transportation Series, private manuscript, 1964.

[2] The World Bank Organization. The Logistics Performance Index and Its Indicators, p.47-50.,2014.

[3] Grant, D.B. (2004), “UK and US management styles in logistics: different strokes for different folks?”, International Journal of Logistics: Research and Applications, Vol. 7 No. 3, p.181-97.

[4] Logistic Service Information Center : LSIC, Guide

to assessment the logistics performance :Standard criteria for entrepreneurs, Department of primary industries and mines, 2013, 3-12

[5] Graeml, A. R., Peinado, J.: Measuring Logistics Performance: the Effectiveness of Mmog/Le as Perceived by Suppliers in the Automotive Industry Journal of Operations and Supply ChainManagement 4 (1), pp 1 - 12.

[6] Smith, Darlene Brannigan and Fletcher, Harold D. , The Balanced Scorecard and Curriculum Integration in an Executive MBA Program,"*Journalof Executive Education*: Vol. 3: Iss. 1, Article 4, 2014.

[7] Enikö Legeza., MEASUREMENT OF LOGISTICS-QUALITY, Budapest University of Technology and Economics.

[8] Elgazzar, Sara H., Tipi, Nicoleta S., Hubbard, Nick J. and Leach, David Z., Linking supply chain processes' performance to a company's financial strategic objectives. European Journal of Operational Research, 223 (1). pp. 276-289. ISSN 0377-2217, 2012.

[9] Kuo-Chung Shang., The Effects of Logistics Measurement Capability on Performance, Asia Pacific Management Review (2004) 9(4), 671-687.

[10] E. Krauth, H. Moonen ., Performance Measurement and control In Logistics Service Providing, Rotterdam School of Management, Department of Decision and Information Sciences, 2015.

[11]K. Bichou and R. Gray, A Logistics and supply chain management approach to port performance measurement. Marit.POL.MGMT.,January-March, 20164.

[12] Boonsothonsatit, K., Kara, S. & Ibbotson, S. A generic simulation model for green supplier selection. The 19th CIRP Seminar on Life Cycle Engineering, 23 - 25 May 2012 California, USA.

Supply Chain Network Design to Reduce the Cost of the Supply Chain of Frozen Chicken Industry

Pitchayavee Maneekat[1*], Apichat Sopadang[2]
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering, Chiang Mai University
Chiang Mai University, Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai 50200
Email: Phitchylook@gmail.com**

Abstract

This research presents a mathematical model in activities Logistics industry supply chain network of frozen chicken. The objective is reduced total cost of the expenses incurred in the supply chain. This research began with an overview of the supply chain industry frozen chicken. The flow path of the chicken was inspected from the poultry farmers, chicken slaughterhouse, warehouse / distribution center and ends at the store (Customer tier 1) for the costs incurred. The research focused on the cost of the chicken, storage costs, cost of transportation, in order to determine the appropriate level of capability and cost. In this research, the mathematical model was created to determine the appropriate changes, activities logistics and transport routes of the supply chain. This aimed to provide an activity planning in logistics from poultry farmers to store many of the purchase cost and chicken slaughter of logistics appropriately. In order to analyzes and solve the problem Lingo equations was used to obtain the cost logistics overall supply chain. The results of a mathematical model shows that this model will be reduce the activity costs some of reduce total cost of the supply chain as well. It also can simplify and reduce the cost of Logistics includes over 20% of the supply chain

Keywords: Chain Network Design, Mathematical Model, Linear Programming

1. Introduction

More chicken meat consumption increased. Event it is popular to eat chicken for consumption in the market is not enough to increased price it has turn the production higher than the demand. For consumers as well as the occurrence of avian influenza in poultry meat (H5N1) allows consumers to have confidence in the product. Make an impact on the supply chain to stop it Jack and the imbalance in the supply chain.

At the present, the competition of manufacturers in the frozen chicken industry is intense since there are many manufacturers in this industry. The adaptation of each manufacturer is needed for surviving in this industry. A sustainable surviving is to improve frozen chicken supply chain performance. In each frozen chicken supply chain, there are many parts concerned, such as suppliers, manufacturer, distributors, retailers, and customers. They connect each other similarly to be a network. To improve the supply chain network performance is to redesign the supply chain network. Additionally, cost is an important factor that can reflect the performance of the supply chain. Hence, the authors redesign supply chain network for minimizing cost of frozen chicken supply chain by using mathematical models. In this paper, the authors focus the network in the supply chain. They have studied capacities, investment, and product flow on the link. The network flow optimization perspective for the supply chain network design present the modeling of the economic activities associate with Frozen Chicken Industry network. The supply chain network model [1] presents the supply chain network design optimal product flow and investment capacities for the minimized total cost and demand at the retail outlets. [2] This research has led to supply chain management. The present form of the mathematical model for the supply chain industry frozen chicken. The main objective is to reduce operating costs as well. Consider planning your purchases contents of the farm and the demand of the customers. Including the selection of vehicles to transport the frozen chicken and chicken different. By a special modeling linear programming (Linear Programming Model) to solve the problems mentioned above, and as a tool to manage the procurement of raw materials. Manufacturing and Processing And delivery in the supply chain of frozen chicken.

2. Literature Review

2.1 Supply Chain Network of Frozen Chicken

The network design is the strategic planning process for maximizes profit and help to improve performance each link in the supply chain. Objective for network design can be each financial targets, business targets or social and environmental targets. The network design can help to define the optimal number and location of facilities by deciding the optimal number of distribution center, so minimize total supply chain costs or improve delivery service levels [3] present network design project for a leading chemical company in the European supply chain before and after a redesign. Then, before redesign has manufacturing plants, central DC, local warehouse and result after redesign have manufacturing plants, central DC, local warehouse and a satellite. Demonstrate that, the network reduces central DC, local warehouse and adding a satellite. Overall, Supply chain cost reduced after the redesign.

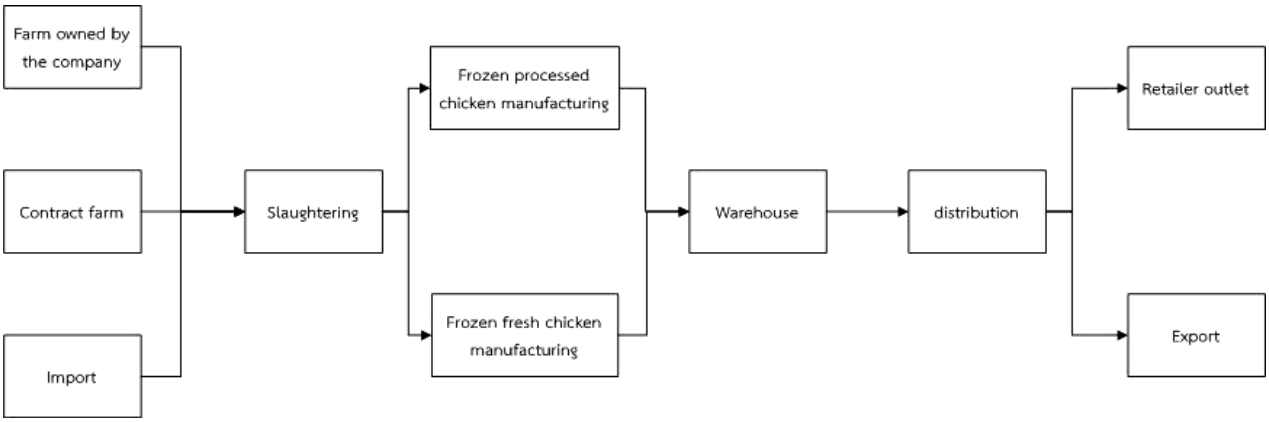


Figure 1: The supply chain network design of frozen chicken industry

2.2 Network Optimization

The supply chain network design model associate activities with product by network. The activities in the network include supplier, manufacturing, warehouse, distribution, customer. The chain have warehouse changed satellite for reduse costs. [5] We assume each supplier is represent an initial network of activities the supplier search for associated of link and node for minimizing cost. We assume the supplier is consisting n_M manufacturing facilities/plants; n_w warehouse; n_D distribution centers and serves the n_R retail outlets/demand markets with demand give by: $d_{R_1}, d_{R_2}, \dots, d_{R_n}$. Let the represent by graph G= [N,L], N denote the set of node and L the set of links. The link from firm connect manufacturing node are denoted by: $M_1^1, \dots, M_{n_M^i}^i$ and the link from manufacturing node connect to distribution center node joining with nodes $D_{1,1}^i, \dots, D_{n_{D,1}^i}^i$with nodes $D_{1,2}^i, \dots, D_{n_{D,2}^i}^i$ for $= 1, \dots, I$. Finally, The distribution node connects to the demand market node by: $R_1, \dots, R_{n_R}$ (as in Figure 2) [2] descript increase efficiency of supply chains by design, distribution network and design warehouse management, and [1] present game theory at control capacity of the warehouse. [5] The supply chain network provides the top tier node to represent each supplier and bottom tier node to represent demand with continuance of direct link corresponding to at least one path joining

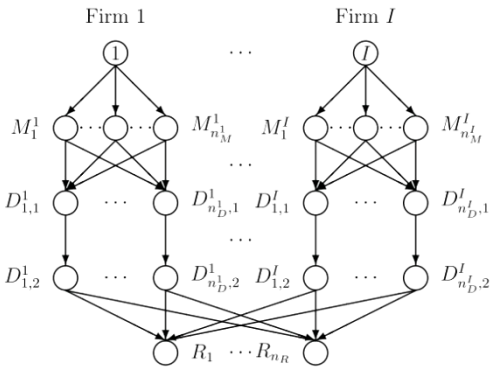


Figure 2: The supply chain network topology $G = [N, L]$
(Nagurney, 2009)

We associated with each link (as in Figure 2) the network corresponding to each firm is a total cost with each link. We denote the total cost operational cost on link a by $\hat{C}_a$ and the total design cost by $\hat{\pi}_a$ for all link.

3. Structure of Frozen Chicken

The researchers conducted a survey of research and inquiries from various organizations and bring new supply chain data application is based on a solution to reduce the costs of processes within the supply chain.

Processing factory have purchased broilers farm is divided into 3 sources from farm to factory farm is a network of factories farm outside. The Processing factory will be purchased from farmers outside when the broilers is not enough to meet demand.

Chicken and frozen chicken, it must be borne in transportation vehicles. Model vehicles to transport used car shuttlecock is a six-wheel truck, pickup trucks and a pickup truck carrying frozen chicken is cold. Trailer Refrigerated Container The vehicles dilate each type of

transport costs vary according to distance. Also consider restrictions on the transport vehicle of each type. When the chicken has surplus capacity to Gen. warehouse waiting to be processed into the finished products will be put in cold storage, waiting to be transported to various customers.

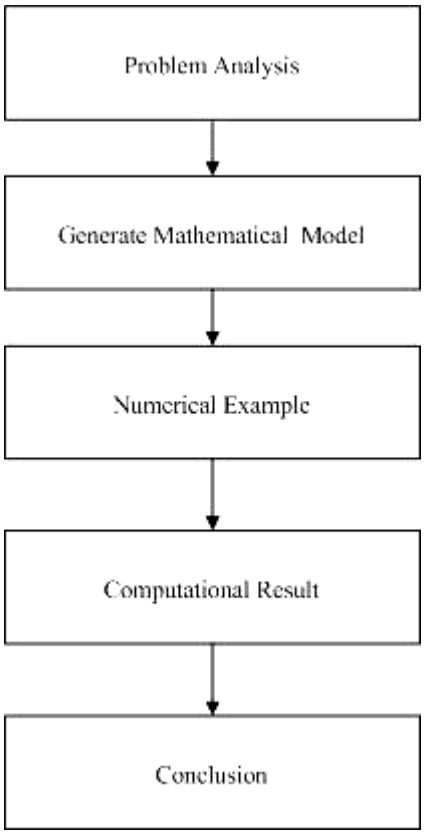


Figure 3: Research Methodology

The figure 3 describes the supply chain of frozen chicken the first problem was usually caused by an imbalance of the supply from customers demand and investment. We generate mathematical model for analyzing supply chain network and used numerical example and Lingo used to solve the model for result is minimized total cost.

3.1 Problem Mathematical Model

The mathematical model used Lingo for solving this problem. In this research, Researchers have assumptions to generate mathematical models.

A life chicken into the privatization process can last more than 45 days when not work in process at the beginning of the calculation.

Index

I set of farm owoned by the company
I set of contract farm
J set of warehouse for chicken
J set of warehouse for frozen chicken
V_z set of vehicles size z

Parameters

CapI	Volume of chicken in farm I
CapM	The capacity of the slaughter
CapV	The capacity of the vehicle
CapW	The capacity of the warehouse k
Demand	Demand of customer
Cinv	Holding costs of warehouse
CinC	Holding costs of contrainer
ClM	Costs of labor in slaughter
$C_{i,w}$	Transportation cost from fram I to warehouse
$C_{i,m}$	Transportation cost from fram I to slaughter
$C_{w,m}$	Transportation cost from warehouse to slaughter
Cm_w	Transportation cost from slaughter to warehouse
Cw_r	Transportation cost from warehouse to retailer
Cv_z	Cost of size vehicles
C_m	Costs manufactoring

Decision Variable

E_i	Volume of the chicken farm
Q	Disrance
Nv_z	The vehicles V_z used to transport chickens.
Ov_z	The vehicles V_z used to transport frozen chickens.
Fm	Volume chicken was sent to the slaughter house.
P_w	Volume chicken was sent to the warehouse.

F_m	Volume frozen chicken was sent the slaughter house.
P_m	Volume frozen chicken was sent to the warehouse.
Aw	Volume of chicken outstanding stock
B_m	Volume of frozen chicken outstanding stock

$$Y_w \begin{cases} 1 \text{ if stock chicken in warehouse} \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$Y_m \begin{cases} 1 \text{ if stock frozen chicken in warehouse} \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$Zv_z \begin{cases} 1 \text{ if use vehicles z transport} \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$U_i = \begin{cases} 1 \text{ if select farm i} \\ 0 \ otherwise \end{cases}$$

<u>Objective Function</u>

$$\text{Min Z} = C_{purshase} + C_{transport} + C_{invent} + C_{factory}$$

$$C_{purshase} = \sum_{i}^{I} C_i * demand$$

$$C_{transport} = \sum_{i}\sum_{w}\sum_{m}\sum_{r} C_{i,w} * Cv_z * Q_{i,w} + C_{w,m} * Cv_z * Q_{wm} + C_{m,w} * Cv_z * Q_{mw} + C_{w,r} * Cv_z * Q_{wr}$$

$$C_{invent} = \sum_{i}\sum_{w} Cinv * demand + Cinc * demand + A_w + B_m$$

$$C_{factory} = \sum_{m} C_m * \text{demand} + \text{Cim}$$

<u>Constrains</u>

$$U_i = 1 \ ; \ \forall i \epsilon I \quad (1)$$
$$U_i \leq 1 \ ; \ \forall i \epsilon I \quad (2)$$
$$\text{CapI} \leq capM \ ; \forall i \epsilon I \quad (3)$$
$$F_i \leq CapW \quad (4)$$
$$\sum_i C_{i,m} \leq CapM \quad \forall i \in I \quad (5)$$
$$\sum_i P_i \leq CapW \quad \forall i \in I \quad (6)$$
$$\sum_i E_i = Demand \quad \forall i \in I \quad (7)$$
$$\sum_z Nv_z \leq CapM \quad \forall z \in V_z \quad (8)$$
$$\sum_z Nv_z \leq Capw \quad \forall z \in V_z \quad (9)$$
$$\sum_z Ov_z \leq Capw \quad \forall z \in V_z \quad (10)$$
$$\sum_z Ov_z = Demand \quad \forall z \in V_z \quad (11)$$
$$\sum F_m = Demand \quad (12)$$
$$\sum P_m = Demand \quad (13)$$
$$Y_w A_w + P_w \leq CapW \quad (14)$$
$$Y_w A_w + F_w \leq CapM \quad (15)$$
$$Y_m B_m + P_m \leq CapW \quad (16)$$

investment capacity and product flow in the optimization problem in the supply chain network design.

5. Numerical Results

Performs research using Lingo 14.0 in writing, modeling, transportation and processing of frozen chicken in finding appropriate answers. Results of the model shows that operating costs 89,700 baht /lots output from the model reduces operating costs by up to 4,600 baht / lots. The analysis found that, when using this model will be able to manage the transport of the plant can be effective in reducing costs by 20% and steel.

6.Conclusion

Researchers have studied the problem of supply chain management and logistics which occurred in the processing of frozen chickens. The problem that is currently faced by this industry is the efficiency of transportation of live poultry, be it in term of vehicle size as well as transportation frequency. This finding has led to supply chain management, with the aim of planning and processing areas to meet the needs of consumers and Integer linear programming modeling.

Solfware Lingo The results were used to find the optimal integer. The results of the cost equation. 85,100 Baht / Furthermore, the researcher has also created a mathematical model to solve the problem. The model does not consider farms located outside the country where suitable vehicles need to be selected to transport frozen chicken. In the future,

there is a possibility for these farms to move its processing location to a forein country where the cost is lower than that of a local farm.

Acknowledgement

I would like to express my sincere thanks to my family and thesis advisor for their invaluable help and constant encouragement throughout the course of this research.

References

[1] Nagurney, A. (2010),"Optimal Supply Chain Network Design and Redesign at Minimal Total Cost and with Demand Satisfaction", International Journal of Production Economics 128: (2010) pp 200-208.

[2] Nagurney, A. (2009), "Supply Chain Network Design under Profit Maximization and Oligopolistic", Transportation Research E (2010) 46,281-294.

[3] Francas, management Consultants,2011.D and Simon,Z. Strateg Ic Network Design. Camelot

[4]Dong, J., Zhang, D., and Nagurney, A. (2002), "A Supply Chain Network Equilibrium Model with Random Demands," European Journal of Operational Research, in press.

[5]Francas,D and Simon,Z. Strateg Ic Network Design. Camelot management Consultants,2011.

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม สำหรับวางแผนการจัดหาวัตถุดิบและผลิตใน โซ่อุปทานน้ำผลไม้แปรรูป : กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำผลไม้

A Mixed-Integer Linear Programming Model for Purchasing and Production Planning in Fruits Juice Supply Chain : Case Study Fruits Juice Plant

เอกชัย แผ่นทอง* และ อภิศักดิ์ วิทยาประภากร
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
อ.เมือง จ.พะเยา 56000 E-MAIL: AEKACHAI.PA@UP.AC.TH*

Aekachai Pantong* and Aphisak Witthayapraphakorn
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Phayao,
Muang, Phayao, 56000, E-mail: aekachai.pa@up.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาปัญหาการเก็บเกี่ยวและผลิตในห่วงโซ่อุปทานน้ำผลไม้แปรรูปของโรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง ที่มีการผลิตน้ำผลไม้ 3 ชนิดคือ น้ำเสาวรส น้ำมัลเบอร์รี่ และน้ำลิ้นจี่ จากการศึกษาปัญหาเบื้องต้นพบว่าวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดนั้นมีช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ส่งผลให้เป็นการยากที่จะบริหารต้นทุนอันเกิดจาก การจัดซื้อ, การบริหารคลังสินค้าวัตถุดิบ, การผลิต และคลังสินค้าสำเร็จรูป

จากปัญหาที่เกิดขึ้น ทางผู้วิจัยจึงได้นำเสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับวางแผนห่วงโซ่อุปทานตั้งแต่การจัดซื้อจนถึงสินค้าพร้อมส่งมอบให้แก่ลูกค้า โดยมีการตั้งเป้าหมายให้ต้นทุนรวมมีค่าต่ำสุด จากการหาผลลัพธ์ของแบบจำลองผ่านโปรแกรม Gurobi Solver V.6 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถวางแผนการจัดการห่วงโซ่อุปทานได้ในภาพรวม พร้อมทั้งสามารถลดต้นทุนลงได้ 10.63 % เมื่อเทียบกับการดำเนินงานของโรงงานในปัจจุบัน

คำหลัก การเก็บเกี่ยว, การวางแผนการผลิต, โซ่อุปทานน้ำผลไม้แปรรูป, กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

Abstract

This research studies the problems of harvesting and processing of fruits juice with case study plant. The products consist by 3 types of fruits juice, the Passion fruit juice, Mulberry juice and Lychee juice. Period of these fruits are different. Currently, Plant has inefficient harvesting and production planning of fruits juice. Moreover, the production cost is high.

From the above problems, it can be seen that planning is very complex therefore, this research is developed a mixed-integer linear programming (MILP) model to solve these problems and used as a decision support tool for harvesting and production planning. As a result of Excel Premium Solver, it presented that total cost is reduced by 10.63 % when compared with current operation.

Keywords: Harvesting, Production planning, Fruits juice Supply, Mixed integer linear programming

1. บทนำ

โรงงานแปรรูปน้ำผลไม้แห่งหนึ่งได้ดำเนินกิจการผลิตน้ำผลไม้ 3 ชนิดคือ น้ำเสาวรส น้ำมัลเบอร์รี่ และน้ำลิ้นจี่ โดยในปัจจุบันการผลิตน้ำผลไม้ จำเป็นต้องจัดซื้อผลไม้ให้มากที่สุดเพื่อป้องกันการขาดแคลนวัตถุดิบ เนื่องจากผลไม้แต่ละชนิดมีช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดต้นทุนในส่วนของการจัดซื้อและคลังสินค้ามากเกินความจำเป็น

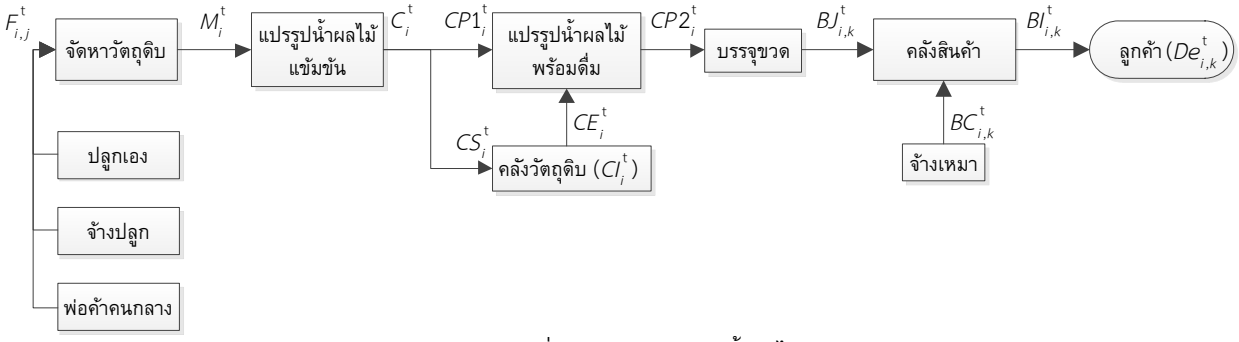
จากปัญหาดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยวางแผนการจัดหาวัตถุดิบและผลิตในโซ่อุปทานน้ำผลไม้แปรรูป ให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด และสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างเพียงพอ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดการห่วงโซ่อุปทาน คือ การจัดการกระบวนการทุกขั้นตอน นับตั้งแต่การนำเข้าวัตถุดิบสู่กระบวนการผลิต กระบวนการสั่งซื้อ จนกระทั่งส่งสินค้าถึงมือลูกค้าให้มีความต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูงสุด [1] โดยปัจจุบันแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาต่างๆ รวมถึงการวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร การเกษตร และเครื่องดื่ม [2] อาทิเช่น งานวิจัยของ ศนิ มิเดหวัน และประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา [3] ได้จัดทำงานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการคลังวัตถุดิบและลดต้นทุนการผลิต กรณีศึกษาโรงงานอาหารสัตว์ ได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา พบว่ามีค่าใช้จ่ายลดลงจาก 44,631,020.7 บาท เป็น 41,422,928.5 บาท งานวิจัยของเอกชัย แผ่นทอง และอภิศักดิ์ วิทยาประภากร [4] ได้นำแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม ไปประยุกต์ใช้กับ การวางแผนการผลิตในโรงงานน้ำแข็ง โดยแบ่งออกเป็น 4 ไตรมาส พบว่าต้นทุนการวางแผนการผลิตรวมลดลงร้อยละ 17.76, 22.57, 17.72 และ 21.69 ตามลำดับ หรือคิดเป็นร้อยละ 20.28 ต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตในปีเดียวกัน จากตัวอย่างงานวิจัยที่กล่าวมาพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกนำไปใช้แก้ปัญหาต่างๆ และยังเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจในการวางแผนต่างๆ ได้อีกด้วย

3. กระบวนการผลิตน้ำผลไม้แปรรูป

จากการศึกษากระบวนการผลิตน้ำผลไม้แปรรูป ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 นั้นเริ่มต้นจาก กระบวนการจัดหาวัตถุดิบ โดยโรงงานจะรับวัตถุดิบ($F_{i,j}^{t}$) คือ เสาวรส, ลิ้นจี่ และมัลเบอร์รี่ จาก 3 แหล่งหลักๆ ประกอบด้วย 1.แปลงที่ปลูกเอง 2.แปลกที่จ้างปลูก และ 3.พ่อค้าคนกลาง จากนั้นนำวัตถุดิบ ทั้งหมดที่จัดหาได้ (M_i^t) ไปตรวจสอบคุณภาพ, ล้างทำความสะอาด, ปอกเปลือกแล้วแปรรูปเป็นน้ำผลไม้เข้มข้น (C_i^t) ซึ่งน้ำผลไม้เข้มข้นที่ได้จะถูกส่งไปแปรรูป ($CP1_i^t$) เป็นน้ำผลไม้พร้อมดื่ม ($CP2_i^t$) ต่อไป แต่ถ้าน้ำผลไม้เข้มข้นมีมากเกินกำลังการผลิต (CS_i^t) ก็จะถูกนำไปเก็บไว้ในห้องเย็น (CI_i^t) ก่อนเพื่อรอการผลิตในวันถัดไป (CE_i^t) ส่วนน้ำผลไม้พร้อมดื่ม ($CP2_i^t$) ที่ผลิตได้จะเข้าสู่กระบวนการบรรจุขวด ($BJ_{i,k}^t$) โดยแยกออกเป็นขวดขนาด 420 มิลลิลิตร และขนาด 750 มิลลิลิตร แล้วบรรจุลงกล่องลังแล้วนำไปเก็บในคลังสินค้า ($BI_{i,k}^t$) เพื่อรอส่งมอบให้กับลูกค้า ($De_{i,k}^t$) ต่อไป ซึ่งในกรณีที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ ก็จะคิดเป็นต้นทุนค่าเสียโอกาส ($BC_{i,k}^t$)



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตน้ำผลไม้แปรรูป

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

จากการศึกษากระบวนการผลิตน้ำผลไม้แปรรูปของโรงงานกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยมีข้อสมมติ (Assumptions) ดังนี้

1. ผู้จัดหาวัตถุดิบมีความพร้อมในการหาวัตถุดิบตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา กำหนดให้ช่วงระยะเวลาในการวางแผนการผลิต คือ 365 วัน หรือรายปี
2. เครื่องจักรทุกเครื่องมีความพร้อมและสามารถผลิตได้เต็มกำลังการผลิตตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา
3. กำหนดให้แต่ละกระบวนการผลิตไม่มีสินค้าคงค้าง (WIP) อยู่ในกระบวนการ และไม่มีสินค้าคงคลังค้างอยู่ในตอนเริ่มต้นของกระบวนผลิต

4.1 ดัชนี (Indices and sets)

I	กลุ่มของผลิตภัณฑ์ i = {เสาวรส, ลิ้นจี่, มัลเบอร์รี่}
J	กลุ่มของรูปแบบในการจัดหาวัตถุดิบ j = {แปลงปลูกเอง, แปลงจ้างปลูก, พ่อค้าคนกลาง}
K	กลุ่มขนาดของขวด ที่ใช้ในการบรรจุ k = {420 มิลลิลิตร, 750 มิลลิลิตร}
T	กลุ่มของช่วงเวลาในการวางแผนการเก็บเกี่ยวและผลิต t = {1, 2, 3, …., 365}

4.2 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

เพื่อการวางแผนการเก็บเกี่ยว, จัดหาวัตถุดิบและตัดสินใจในกระบวนการผลิตน้ำผลไม้แปรรูป ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรตัดสินใจ ดังต่อไปนี้

		หน่วย
$F^t_{i,j}$	ปริมาณวัตถุดิบชนิดที่ i จากรูปแบบการจัดหาที่ j ในวันที่ t	กิโลกรัม
M^t_i	ปริมาณวัตถุดิบชนิดที่ i ทั้งหมดที่จัดหาได้ในวันที่ t	กิโลกรัม
C^t_i	ปริมาณน้ำผลไม้เข้มข้นชนิดที่ i ที่แปรรูปได้ ในวันที่ t	กิโลกรัม
CS^t_i	ปริมาณน้ำผลไม้เข้มข้นชนิดที่ i ที่ส่งไปเก็บไว้ในห้องเย็น ในวันที่ t	กิโลกรัม
$CP1^t_i$	ปริมาณน้ำผลไม้เข้มข้นชนิดที่ i ที่นำไปแปรรูป ในวันที่ t	กิโลกรัม
$CP2^t_i$	ปริมาณน้ำผลไม้พร้อมดื่มชนิดที่ i ที่ผลิต ในวันที่ t	กิโลกรัม
CI^t_i	ปริมาณน้ำผลไม้เข้มข้นชนิดที่ i ในห้องเย็น ในวันที่ t	กิโลกรัม
CE^t_i	ปริมาณน้ำผลไม้เข้มข้นจากห้องเย็นชนิดที่ i ที่นำไปแปรรูปในวันที่ t	กิโลกรัม
$BJ^t_{i,k}$	ปริมาณน้ำผลไม้พร้อมดื่มชนิดที่ i บรรจุขวดขนาดที่ k ที่ผลิตในวันที่ t	ลัง
$BI^t_{i,k}$	ปริมาณน้ำผลไม้พร้อมดื่มชนิดที่ i บรรจุขวดขนาดที่ k ที่จัดเก็บในคลังสินค้าในวันที่ t	ลัง
$BC^t_{i,k}$	ปริมาณน้ำผลไม้พร้อมดื่มชนิดที่ i ขนาดที่ k ที่เสียโอกาสในวันที่ t	ลัง

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ตัดสินใจ (Binary variables) สำหรับเลือกใช้ห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาน้ำผลไม้เข้มข้น ดังต่อไปนี้

$$WH^t \begin{cases} 1 & \text{เมื่อเลือกใช้ห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาน้ำผลไม้เข้มข้น ในวันที่ } t \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

4.3 ค่าพารามิเตอร์ (Parameters)

		หน่วย
$Cost1_{i,j}$	ต้นทุนการซื้อวัตถุดิบชนิดที่ i จากรูปแบบการจัดหาที่ j ในวันที่ t	บาท/กิโลกรัม
$Cost2_i$	ต้นทุนของการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นชนิดที่ i	บาท/กิโลกรัม
$Cost3_i$	ต้นทุนของการผลิตน้ำผลไม้พร้อมดื่มชนิดที่ i	บาท/กิโลกรัม
$Cost4_k$	ต้นทุนการบรรจุภัณฑ์น้ำผลไม้พร้อมดื่มขนาดที่ k	บาท/ขวด
$Cost5$	ต้นทุนของใช้ห้องเย็นเก็บรักษาน้ำผลไม้	บาท/วัน
$Cost6$	ต้นทุนการจัดเก็บผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้พร้อมดื่ม	บาท/ขวด/วัน
$Cost7_{i,k}$	ต้นทุนของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้พร้อมดื่มชนิดที่ i ขนาดที่ k ที่เสียโอกาส	บาท/ขวด
$Cap1_{i,j}$	ความสามารถในการจัดหาวัตถุดิบชนิดที่ i จากรูปแบบการจัดหาที่ j	กิโลกรัม
$Cap2$	ความจุของห้องเย็น	กิโลกรัม
$Rat1_i$	สัดส่วนของการผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นชนิดที่ i	%
$Rat2_i$	สัดส่วนของการผลิตน้ำผลไม้พร้อมดื่มชนิดที่ i	%
$Rat3_k$	สัดส่วนของบรรจุน้ำผลไม้พร้อมดื่มลงขวดขนาดที่ k	%
$De^t_{i,k}$	ปริมาณความต้องการน้ำผลไม้พร้อมดื่มชนิดที่ i ขนาดที่ k ในวันที่ t	ลัง

4.4 สมการเป้าหมาย (Objective function)

สมการเป้าหมายเพื่อหาต้นทุนในการจัดหาวัตถุดิบ การผลิต และบรรจุภัณฑ์ ให้มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด และได้ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

$$Z = C^{Procurement} + C^{Production} + C^{Packing} + C^{Inventory} + C^{Opportunity}$$

ต้นทุนการจัดหาวัตถุดิบ (Procurement cost)

ต้นทุนการจัดหาวัตถุดิบพิจารณาจากปริมาณเสาวรส, เมลเบอร์รี่ และลิ้นจี่ ที่ซื้อทั้งหมด อธิบายได้ดังนี้

$$C^{Procurement} = \sum_i \sum_j \left(Cost1_{i,j} \sum_t F_{i,j}^t \right)$$

ต้นทุนการผลิต (Production cost)

ต้นทุนการผลิตพิจารณาจากปริมาณ เสาวรส, เมลเบอร์รี่ และลิ้นจี่ ที่ผลิตเป็นน้ำผลไม้เข้มข้นและพร้อมดื่มที่ผลิต สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{Production} = \sum_i \left(Cost2_i \sum_t C_i^t \right) + \sum_i \left(Cost3_i \sum_t CP2_i^t \right)$$

ต้นทุนบรรจุภัณฑ์ (Packing cost)

ต้นทุนการบรรจุภัณฑ์พิจารณาจากปริมาณน้ำผลไม้พร้อมดื่มมุกชนิด ที่บรรจุลงขวดทั้งขนาด 420 มิลลิลิตร และ 750 มิลลิลิตร สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{Packing} = \sum_k \left(Cost4_k \sum_i \sum_t BJ_{i,k}^t \right)$$

ต้นทุนสินค้าคงคลัง (Inventory cost)

ต้นทุนสินค้าคงคลังประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการเปิดใช้ห้องเย็นเพื่อเก็บรักษาน้ำผลไม้เข้มข้น และต้นทุนการเก็บผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้พร้อมดื่มที่รอส่งมอบให้กับลูกค้า อธิบายได้ดังนี้

$$C^{Inventory} = Cost5 \sum_t WH^t + Cost6 \sum_i \sum_k \sum_t Bl_{i,k}^t$$

ต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity cost)

ต้นทุนค่าเสียโอกาสพิจารณาจากปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$C^{Opportunity} = \sum_i \sum_k \left(Cost7_{i,k} \sum_t BC_{i,k}^t \right)$$

สมการเป้าหมายของงานวิจัยนี้ คือ การวางแผนการผลิตให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_i \sum_j \left(Cost1_{i,j} \sum_t F_{i,j}^t \right) + \sum_i \left(Cost2_i \sum_t C_i^t \right) + \\ & \sum_i \left(Cost3_i \sum_t CP2_i^t \right) + \sum_k \left(Cost4_k \sum_i \sum_t BJ_{i,k}^t \right) + \\ & Cost5 \sum_t WH^t + Cost6 \sum_i \sum_k \sum_t Bl_{i,k}^t + \\ & \sum_i \sum_k \left(Cost7_{i,k} \sum_t BC_{i,k}^t \right) \end{aligned} \quad (1)$$

4.5 สมการข้อจำกัด (Constraints)

ข้อจำกัดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับกระบวนการผลิตน้ำผลไม้ชนิดต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ในซื้อวัตถุดิบเสาวรส, มัลเบอร์รี่ และลิ้นจี่ ต้องไม้เกินความสามารถของผู้จัดหา แสดงดังสมการที่ (2)

$$\sum_t F_{i,j}^t \le Cap1_{i,j} \qquad \forall_{i,j} \quad (2)$$

ปริมาณวัตถุดิบจาก แปลงปลูกเอง, แปลงจ้างปลูก และจากพ่อค้าคนกลาง รวมในแต่ละวัน แสดงดังสมการที่ (3)

$$\sum_j F_{i,j}^t = M_i^t \qquad \forall_{i,t} \quad (3)$$

เมื่อได้วัตถุดิบเสาวรส, มัลเบอร์รี่ และลิ้นจี่ แล้วก็จะนำไปผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ, ล้างทำความสะอาด, ปอกเปลือก แล้วแปรรูปเป็นน้ำผลไม้เข้มข้น แสดงดังสมการที่ (4)

$$Rat1_i M_i^t = C_i^t \qquad \forall_{i,t} \quad (4)$$

ซึ่งน้ำผลไม้เข้มข้นที่ได้จะถูกส่งไปแปรรูปเป็นน้ำผลไม้พร้อมดื่ม แต่ถ้าน้ำผลไม้เข้มข้นมีมากเกินกำลังการผลิตก็จะถูกนำไปเก็บไว้ในห้องเย็นเพื่อรอการผลิตในวันถัดไป แสดงดังสมการที่ (5)

$$C_i^t = CP1_i^t + CS_i^t \qquad \forall_{i,t} \quad (5)$$

โดยปริมาณน้ำผลไม้เข้มข้นที่ถูกเก็บไว้ในห้องเย็น แสดงดังสมการที่ (6)

$$CI_i^t = CI_i^{t-1} + CS_i^t - CE_i^t \qquad \forall_{i,t} \quad (6)$$

และปริมาณน้ำผลไม้เข้มข้นที่จัดเก็บ จะต้องไม่เกินความจุของห้องเย็น แสดงดังสมการที่ (7)

$$CI_i^t \le Cap2\, WH^t \qquad \forall_{i,t} \quad (7)$$

น้ำผลไม้เข้มข้นที่ผลิตได้ในแต่ละวัน รวมกับน้ำผลไม้เข้มข้นที่เก็บรักษาไว้ในห้องเย็น จะถูกนำไปแปรรูปเป็นน้ำผลไม้พร้อมดื่ม แสดงดังสมการที่ (8)

$$Rat2_i\,(CP1_i^t + CE_i^t) = CP2_i^t \qquad \forall_{i,t} \quad (8)$$

โดยปริมาณน้ำผลไม้พร้อมดื่มที่ผลิตได้ ต้องไม่เกินความสามารถในการผลิตของเครื่องจักร แสดงดังสมการที่ (9)

$$\sum_i CP2_i^t \le Cap3 \qquad \forall_t \quad (9)$$

จากนั้นนำน้ำผลไม้พร้อมดื่มที่ผลิตได้ ไปผ่านกระบวนการบรรจุภัณฑ์ลงขวด ซึ่งมีขนาด 420 มิลลิลิตร และขนาด 750 มิลลิลิตร แล้วบรรจุลงกล่องลัง แสดงดังสมการที่ (10)

$$Rat3_k\, CP2_i^t = BJ_{i,k}^t \qquad \forall_{i,k,t} \quad (10)$$

โดยน้ำผลไม้พร้อมดื่มที่ผลิตได้จะถูกนำไปเก็บในคลังสินค้า เพื่อรอส่งมอบให้กับลูกค้าต่อไป ซึ่งในกรณีที่ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ ก็จะคิดเป็นต้นทุนค่าเสียโอกาส แสดงดังสมการที่ (11)

$$BI_{i,k}^t = BI_{i,k}^{t-1} + BJ_{i,k}^t + BC_{i,k}^t - DE_{i,k}^t \qquad \forall_{i,t} \quad (11)$$

และปริมาณน้ำผลไม้พร้อมดื่มที่จัดเก็บ จะต้องไม่เกินความจุของคลังสินค้า แสดงดังสมการที่ (12)

$$\sum_i \sum_k BI_{i,k}^t \le Cap4 \qquad \forall_{i,t} \quad (12)$$

ชนิดของตัวแปรตัดสินใจ แสดงดังสมการที่ (13), (14) และ (15)

$$F_{i,j}^t, M_i^t, C_i^t, CS_i^t, CE_i^t, CI_i^t, CP1_i^t, CP2_i^t \ge 0 \qquad \forall_{i,j,t} \quad (13)$$

$$BJ_{i,k}^t, BI_{i,k}^t, BC_{i,k}^t \ge 0 \text{ and Integer} \qquad \forall_{i,k,t} \quad (14)$$

$$WH^t \in \{0,1\} \qquad \forall_{i,k,t} \quad (15)$$

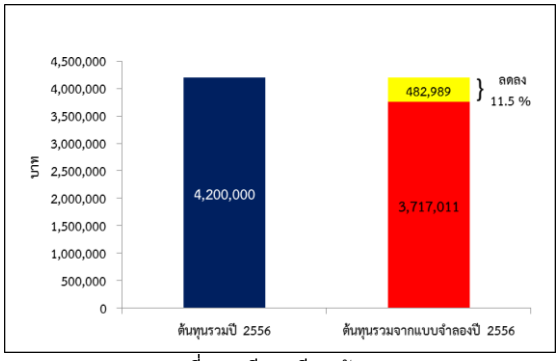
5. ผลลัพธ์การคำนวณ (numerical results)

หลังจากสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการจัดหาวัตถุดิบและผลิตน้ำผลไม้แปรรูปที่ต่ำที่สุดเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Gurobi solver engine version 6.0 [5] ในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) ผลลัพธ์การคำนวณแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ต้นทุนการจัดหาวัตถุดิบและผลิตน้ำผลไม้แปรรูป

ผลิตภัณฑ์	ต้นทุน (บาท/ปี)
น้ำเสาวรส	1,351,723
น้ำมัลเบอรี่	1,719,473
น้ำลิ้นจี่	645,813
รวม	**3,717,011**

จากตารางที่ 1 พบว่าผลลัพธ์จากการคำนวณต้นทุนรวมของแบบจำลองเท่ากับ 3,717,011 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินงานของโรงงาน จากเดิมซึ่งมีต้นทุนเท่ากับ 4,200,000 จะเห็นได้ว่าสามารถลดต้นทุนรวมได้ 482,989 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 11.5 % แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เปรียบเทียบต้นทุนรวม

จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยพบว่าต้นทุนที่ลดลงอย่างชัดเจนคือ ต้นในการจัดหาวัตถุดิบและต้นทุนสินค้าคงคลัง โดย ต้นทุนวัตถุดิบลดลง 472,072 บาท คิดเป็น 21.7 % และต้นทุนสินค้าคงคลังลดลง 10,349 บาท คิดเป็น 18.6 % โดยสาเหตุสำคัญที่ทำให้ต้นทุนทั้งสองส่วนนี้ลดลงคือ การวางแผนจัดซื้อวัตถุดิบและเก็บสินค้าผ่านตัวแบบทางคณิตศาสตร์จะมีการจัดซื้อและจัดเก็บสินค้าที่พอดีกับความต้องการ แตกต่างจากแบบเดิมที่จัดซื้อให้มากที่สุดเพื่อป้องกันการขาดวัตถุดิบ ส่วนต้นทุนอื่นๆ ไม่แตกต่างจากเดิม

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) สำหรับการวางแผนการจัดหาวัตถุดิบและผลิตในโซ่อุปทานน้ำผลไม้แปรรูป ซึ่งพบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้น สามารถวางแผนการจัดซื้อและผลิตน้ำน้ำผลไม้แปรรูปและมีต้นทุนรวมลดลง 11.5 % เมื่อเทียบกับรูปแบบการดำเนินงานของโรงงาน

สำหรับงานวิจัยในอนาคตที่ผู้วิจัยสนใจจะพัฒนาต่อคือ การวางแผนการปลูกและเก็บเกี่ยวผลผลิต และการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า

เอกสารอ้างอิง

[1] Chopra, S. and Meindl., P. (2012). Supply chain management (3rd ed.). New Jersey: Prentice Hall.

[2] มานพ วราภักดิ์, การวิจัยดำเนินการ, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552

[3] ศนิ มิเดหวัน และ ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา,การเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการคลังวัตถุดิบและลดต้นทุนการผลิต กรณีศึกษาโรงงานอาหารสัตว์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2556

[4] เอกชัย แผ่นทอง และอภิศักดิ์ วิทยาประภากร, แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการวางแผนการผลิตน้ำแข็ง กรณีศึกษา: โรงงานผลิตน้ำแข็ง พีแอนด์พี พีรพัทธ์ ลำปาง, การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2558

[5] Gurobi solver engine version 6.0,www.solver.com

การจัดเส้นทางสำหรับงานบริการซ่อมบำรุง กรณีศึกษาบริษัทให้บริการคำปรึกษาและซ่อมบำรุงระบบนิวเมติกส์และไฮดรอลิค

Routing maintenance service: A case study of company provides consulting and maintenance of pneumatic and hydraulic.

ชรินทร์รัตน์ เนตรสืบสาย* จารุพงษ์ บรรเทา
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 E-mail: cnetsuepsai@outlook.com*

Charinrat Netsuepsai*, Jarupong Banthao
Department of Industrial Engineering,Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakhonratchasima, 30000, E-mail: cnetsuepsai@outlook.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาแนวทางการจัดเส้นทางสำหรับงานซ่อมบำรุงของกรณีศึกษา ซึ่งเป็นบริษัทให้บริการคำปรึกษาและซ่อมบำรุงระบบนิวเมติกส์และไฮดรอลิค ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับการให้บริการคำปรึกษาและซ่อมบำรุงที่ได้กำหนดขึ้นในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นปัญหาเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) และมีลูกค้าที่ต้องให้บริการจำนวน 25 ราย วัตถุประสงค์ของปัญหานี้เพื่อกำหนดเส้นทางการให้บริการลูกค้าโดยมีระยะทางที่สั้นที่สุด เพื่อให้ต้นทุนเดินทางต่ำที่สุด สำหรับวิธีการแก้ปัญหาผู้วิจัยได้ทดลองแก้ปัญหา ด้วยวิธีฮิวริสติกส์ 2 แบบ คือ การหาคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Heuristics) และอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) ผลลัพธ์การแก้ปัญหาพบว่า คำตอบจากอัลกอริทึมแบบประหยัดและการหาคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด ให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีการจัดเส้นทางแบบเดิม โดยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและการหาคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด สามารถลดระยะทางการให้บริการจากเดิมมีระยะทาง 1198.30 กิโลเมตร เหลือ 464.31 กิโลเมตร และ 536.99 กิโลเมตร ตามลำดับ

คำสำคัญ : การจัดเส้นทางบริการ, ฮิวริสติกส์, อัลกอริทึมแบบประหยัด, วิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด

Abstract

This research study the guidelines for routing maintenance of case studies. This is the company provides consulting and maintenance of pneumatic and hydraulic. The routing for providing consulting and maintenance, as set forth in this research looks into the path of a salesman (Traveling Salesman Problem: TSP) and the customer quantity is 25 factories. The purpose of the issue routing to providing customers with the shortest distance possible for lowest-cost. The routing in a solution researchers have demonstrated to solve the problem with a heuristic series 2 model is to find answer the closest (Nearest Neighbor Heuristics) and algorithms for cheap (Saving Algorithm). The result solve the solution found answers is the Saving Algorithm and Nearest Neighbor Heuristics is a better answers than traditional routing methods. By the way the Saving Algorithm and Nearest Neighbor Heuristics. Can shorten the service from a distance 1198.30 kilometers, the Saving Algorithm is 464.31 kilometers and Nearest Neighbor Heuristics is 536.99 kilometers.

Keywords: Service routing, heuristics, Saving Algorithm, Nearest Neighbor Heuristic.

1. บทนำ

ในปัจจุบันการแข่งขันทางการค้ามีความเข้มข้นมากขึ้นอีกทั้งต้นทุนด้านพลังงานเชื้อเพลิงซึ่งเป็นต้นทุนสำคัญในการขนส่ง นับวันมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้บริษัทให้คำปรึกษา และจำหน่ายสินค้ามีความจำเป็นต้องวางแผนการขนส่งที่เหมาะสม เพื่อสามารถลดระยะทางในการเดินทาง ทั้งนี้เพื่อให้ต้นทุนในการเดินทางลดลง และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้สูงขึ้น [1] , [2]

บริษัทกรณีศึกษาตั้งอยู่ที่ จ. นครราชสีมา ให้บริการเกี่ยวกับงานให้คำปรึกษาและซ่อมบำรุงระบบนิวเมติกส์และไฮดรอลิค เพื่อให้บริการแก่โรงงานอุตสาหกรรมและบริษัทที่มีการใช้งานเกี่ยวกับอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ระบบนิวเมติกส์และให้ไฮดรอลิค บริษัทกรณีศึกษาได้มีทีมงานวิศวกรที่มีความชำนาญเกี่ยวกับงานซ่อมบำรุงและระบบนิวเมติกส์ไฮดรอลิคสามารถออกแบบระบบนิวเมติกส์และไฮดรอลิกและติดตั้งได้เป็นอย่างดี กรณีศึกษามีลูกค้าที่สำคัญอยู่ 25 ราย และตั้งอยู่ในเขตจังหวัดนครราชสีมา การบริการหลังการขายเป็นกิจกรรมหนึ่งที่สำคัญของบริษัทกรณีศึกษาคือ การให้คำปรึกษาและการบำรุงรักษาแก่ลูกค้า แต่จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่า กรณีศึกษาไม่มีการจัดแผนการเดินทางการบริการอย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือการจัดทำแผนเส้นทางการออกบริการลูกค้า บริษัทกรณีศึกษาจะอาศัยประสบการณ์ในการกำหนดลำดับและเส้นทาง จึงส่งผลให้การจัดเส้นทางดังกล่าวมีระยะทางไกล ใช้ระยะเวลาในการเดินทางนาน และบางครั้งจะต้องแบ่งเส้นทางการบริการออกเป็นสองกลุ่ม จึงส่งผลให้ปัจจัยด้านระยะทางในการให้บริการเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อต้นทุนของบริษัท ดั้งนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาด้วยวิธีการที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการจัดเส้นทางการบริการให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและต้นทุนต่ำที่สุด

จากการศึกษาปัญหาดังกล่าว จัดได้ว่าเป็นปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling salesman problem : TSP) ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาที่เป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนานในการพัฒนาวิธีการในการหาคำตอบให้ดีและรวดเร็ว โดยปัญหา TSP นี้เป็นปัญหาที่ทำการตัดสินใจหาเส้นทางการเดินทางเมื่อมีเมืองหรือสถานที่ที่ต้องเดินทางไปจำนวน N เมืองการเดินทางจะเดินทางจากเมืองใดเมืองหนึ่งในจำนวน N เมือง โดยเส้นทางการเดินทางนั้นๆ จะต้องเดินทางผ่านเมืองทุกเมืองใน N และกลับมาที่เมืองที่ทำการเริ่มต้นในการเดินเหมือนการเดินวนรอบ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางบริการของบริษัทกรณีศึกษา โดยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) และการหาคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Heuristics) เพื่อให้บริษัทกรณีศึกษา สามารถเลือกเส้นทางการขนส่งที่มีต้นทุนต่ำที่สุด

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling salesman problem : TSP) เป็นการเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปยังตำแหน่งที่กำหนดและกลับมายังตำแหน่งเริ่มต้นอีกครั้งโดยจะวิเคราะห์เพื่อหาเส้นทางการเดินทางที่สั้นที่สุด [6] ซึ่งในอดีตมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาดังรายละเอียดต่อไปนี้

ปภัสสร สุขาบูรณ์ [3] ได้วิเคราะห์และออกแบบการกระจายโลหิต โดยใช้ระบบการจัดเส้นทางเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์ จากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ ให้กับโรงพยาบาลต่างๆ ในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล การวิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบัน พบว่าในแต่ละวันมีโรงพยาบาลประมาณ 80 แห่ง ส่งยานพาหนะนานาชนิดมาขอรับโลหิตจากศูนย์ฯ วันละหลายเที่ยว แต่ละเที่ยวได้รับโลหิตไประหว่าง 1 ถึง 300 ถุง จึงเห็นได้ชัดเจนว่าทุกวันจะมีปริมาณรถเที่ยวเปล่าเกิดขึ้นมากมายทั้งขาไปและขากลับ ซึ่งบรรทุกได้น้อยมากเมื่อเทียบกับความจุของยานพาหนะ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาโปรแกรมสำหรับจัดเส้นทางการกระจายโลหิต ด้วยวิธีฮิวริสติกแบบ Saving algorithm ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนมากนักและใช้เวลาในการประมวลผลน้อย โดยกำหนดข้อจำกัดทางด้านระยะทาง และความจุของรถขนส่งโลหิตได้ตามที่ต้องการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ระยะทางการขนส่งโดยรวมต่ำที่สุด ผลการวิเคราะห์พบว่าการจัดเส้นทางใหม่ด้วยวิธีการ Heuristic นั้นสามารถลดระยะทางลงได้ถึง 246.84 กิโลเมตร/วัน และมีประสิทธิภาพในการขนส่ง

เพิ่มขึ้น 24.70% ซึ่งมีผลให้ต้นทุนการขนส่งลดลง อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงาน และเชื้อเพลิงในการขนส่งได้เป็นอย่างมาก

ฐิตินนท์ ศรีสุวรรณดค์กร [4] ได้ศึกษาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะการขนส่งกรณีศึกษาบริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี พบว่ากิจกรรมหลักอย่างกรณีศึกษาบริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจัดการด้านการขนส่งที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการ ของลูกค้าและสร้างความพึงพอใจในการบริการ อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนให้กับองค์กรอีกด้วย ผู้วิจัยจึงได้ทำการ ออกแบบอัลกอริทึมโดยประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมด และการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการย้ายลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Crossover-Move) การสลับสองตำแหน่ง (2-Opt) และการย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One-Move) เพื่อแก้ปัญหา การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ให้กับบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งมีรูปแบบปัญหา เป็นแบบเอ็นพี-ฮาร์ด (NP-HARD) โดยความจุของยานพาหนะมีจำนวนจำกัดและลูกค้า แต่ละรายมีความต้องการ สินค้าไม่แน่นอน ดังนั้นผู้วิจัยจึงจัดการความไม่แน่นอนด้วยหลักทางสถิติคือฐานนิยมและค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ โดยเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางของผู้ประกอบการพบว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดีโดย สามารถลดระยะทางจากเดิม 584.25 กิโลเมตรเป็น 441.35กิโลเมตร หรือคิดเป็น 24.46%

เสกสรรค์ วินยางค์กูล [5] ได้ศึกษาการประยุกต์ตัวแบบปัญหาการเดินทางของเซลส์แมน กรณีศึกษาการจัดเส้นทางรถรางนำเที่ยวของเทศบาลนครเชียงราย งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยการประยุกต์ใช้ตัวแบบปัญหาการเดินทางของเซลส์แมน โดยมีรถรางนาเที่ยวของเทศบาลนครเชียงรายเป็นกรณีศึกษา โดยข้อมูลระยะทางและเส้นทางทั้งหมดหามาจาก Google Earth และการออกสำรวจ ซึ่งในขั้นตอนแรกจะเป็นการนำเอาตัวแบบปัญหาวิถีสั่นสุดเข้ามาหาระยะทางระหว่างจุดท่องเที่ยวแต่ละแห่ง โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นหาคำตอบ จากนั้นนำเอาตัวแบบปัญหาการเดินทางของเซลส์แมนเข้ามาหาเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับรถรางนำเที่ยว โดยจะใช้โปรแกรมเชิงเส้น มาหาคำตอบของตัวแบบและทาการนำเอาการจัดเส้นทางโดยใช้ค่าประมาณเข้ามาหาคำตอบอีกโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบการประหยัด เพื่อเป็นการเปรียบเทียบวิธีการที่เหมาะสม ผลการศึกษาวิจัยพบว่า วิธีการที่ใช้โปรแกรมเชิงเส้น ได้คำตอบของระยะทางรวมที่ 5,510 เมตร ส่วนการใช้วิธีการเปรียบเทียบการประหยัดได้คำตอบของระยะทางรวมที่ 5,850 เมตร ซึ่งวิธีการใช้โปรแกรมเชิงเส้น ในการหาคำตอบ สามารถให้คำตอบที่ดีกว่า ซึ่งจะมีระยะทางรวมที่สั้นกว่า 550 เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 9.075 และเมื่อเปรียบเทียบระยะทางรวมของเส้นทางเดิมที่รถรางใช้วิ่งในปัจจุบันคือ 6,060 เมตร ซึ่งจะได้คำตอบของเส้นทางที่สั่นกว่าเส้นทางเดิมโดยที่ผ่านจุดท่องเที่ยวครบทุกจุดเหมือนเดิม

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ยังไม่มีผู้วิจัยท่านใดได้ศึกษาการเดินทางของการให้บริการคำปรึกษาและซ่อมบำรุงระบบนิวเมติกส์และไฮดรอลิค ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเรื่องนี้ เพื่อนำไปแก้ปัญหาในบริษัทกรณีศึกษาต่อไป

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การรวบรวมข้อมูล

3.1.1 ตำแหน่งพิกัดทางผู้วิจัยได้ทำการสืบค้นข้อมูลพิกัดกลุ่มลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษา จากข้อมูลพิกัดจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้ขอขึ้นเลขทะเบียน จาก http://www.diw.go.th/ และข้อมูลพิกัดจาก Google Map จาก https://maps.google.co.th/ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พิกัดตำแหน่งของกลุ่มลูกค้า

ลำดับ	Code	X	Y
Office	0	14.96	102.04
1	C-CA001	14.87	101.92
2	C-CH001	15.12	101.63
3	C-CH002	15.08	102.23
4	C-CP001	14.93	101.97
5	C-CP002	14.85	101.65
6	C-EI001	14.73	102.39
7	C-FU001	14.76	101.45
8	C-GE001	15.07	101.58
9	C-HE001	14.93	102.14
10	C-JH001	15.07	102.12
11	C-KA001	14.80	102.17
12	C-KT001	14.90	101.85
13	C-PC001	14.92	102.17
14	C-PE001	14.92	102.17
15	C-PR001	14.64	101.29
16	C-RO001	14.90	101.90
17	C-SA001	14.92	102.16
18	C-SH001	14.89	101.90
19	C-SI001	14.88	101.91
20	C-TH001	15.07	101.58
21	C-TK001	14.82	101.46
22	C-UN002	15.21	102.50
23	C-VA001	14.89	101.72
24	C-SH002	14.94	102.20
25	C-MA001	14.78	101.48

3.1.2 ระยะทางไปหาลูกค้า

จากข้อมูลตำแหน่งพิกัดในข้อ 3.1.1 นำมาวิเคราะห์หาระยะทาง (Distance Matrix) จากสูตร สมการที่ 1 [6]

$$Dist(A,B) = \sqrt{(X_A.X_B)^2+(Y_A.Y_B)^2} \quad (1)$$

ผลลัพธ์จากการคำนวณหาระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางระยะทาง (Distance Matrix)

	DC	1	2	3	4	5	6	7	...	25
DC	0	14.62	43.25	22.64	7.42	40.85	42.46	62.62	47.28	58.67
1	14.62	0	38.12	37.18	7.46	27.90	49.00	49.09	39.95	45.33
2	43.25	38.12	0	59.77	38.83	27.23	85.25	40.97	7.61	37.07
3	22.64	37.18	59.77	0	30.04	62.99	38.56	84.90	65.40	80.86
4	7.42	7.46	38.83	30.04	0	33.62	46.49	55.30	41.98	51.39
5	40.85	27.90	27.23	62.99	33.62	0	75.65	21.93	23.26	17.87
6	42.46	49.00	85.25	38.56	46.49	75.65	0	94.68	88.37	91.56
7	62.62	49.09	40.97	84.90	55.30	21.93	94.68	0	34.02	4.25
...	47.28	39.95	7.61	65.40	41.98	23.26	88.37	34.02	0	30.30
25	58.67	45.33	37.07	80.86	51.39	17.87	91.56	4.25	30.30	0

3.2 วิธีการฮิวริสติก

เพื่อหาคำตอบของปัญหา TSP ดังที่กล่าวมาแล้ว ผู้วิจัยได้พิจารณาวิธีแก้ปัญหาจากงานวิจัยในอดีต พบว่าวิธีการที่นำมาใช้แก้ปัญหาและให้ผลลัพธ์ที่ดี คือ Nearest Neighbor Heuristics และ Saving Algorithm ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะนำทั้งสองวิธีมาใช้ในการแก้ปัญหาครั้งนี้ และมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 วิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Heuristics)

ฮิวริสติกส์เริ่มต้นด้วยการกำหนดลูกค้า 1 รายขึ้นในเส้นทาง แล้วพยายามหาลูกค้าจากบัญชีรายชื่อลูกค้าเข้ามาแทรกในเส้นทางซึ่งมีลำดับขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเส้นทางจากบริษัทไปยังลูกค้าตามโรงงาน (DC) และเลือกเดินทางไปยังโรงงานที่มีระยะทางใกล้ที่สุด

ขั้นตอนที่ 2 ค้นหาโรงงานที่ยังไม่ได้ถูกจัดเข้าในเส้นทางจากบัญชีรายชื่อที่มีระยะทางใกล้ที่สุดกับโรงงานที่เลือกก่อนหน้านี้

ขั้นตอนที่ 3 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 จนครบตามจำนวนลูกค้าทั้ง 25 โรงงาน

3.2.2 อัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm)

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ เพื่อให้บริการลูกค้า โดยพิจารณาหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมจากระยะทางที่ประหยัดที่สุด (Saving) ของการกำหนดเส้นทางการเดินรถเพื่อไปหาลูกค้าที่ประหยัดที่สุดสามารถทำได้ 4 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 สร้าง เมตริกซ์ระยะทาง(Distance Matrix)

ขั้นตอนที่ 2 สร้าง เมตริกซ์การประหยัด(Saving Matrix)

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดลูกค้าให้กับพาหนะและเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 4 จัดลำดับลูกค้าในเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 1-3 ใช้กำหนดลูกค้าให้กับพาหนะที่ใช้วิ่ง

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดเส้นทางให้ยานพาหนะเพื่อให้ใช้ระยะทางในเส้นทางการเดินรถน้อยที่สุด [7]

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลจากวิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Heuristics)

วิธีการ nearest neighbor หรือการเลือกเดินทางไปเมืองที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากเมืองปัจจุบัน โดยสามารถดำเนินการได้ดังนี้

1. เลือกตัวเลขที่น้อยที่สุดในตาราง และให้เมืองในตำแหน่งแถวเดินทางไปในตำแหน่งหลักนั้น (ยกเว้นเมื่อ i = j เมื่อ i คือ แถว j คือหลัก)

2. เลือกเมืองในตาแหล่งหลักในข้อ 1 ให้เป็นในตำแหน่งแถว แล้วเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดจากเมืองนั้น (เมืองที่เดินทางผ่านมาแล้วให้ตัดออกไม่นามารวมในการคำนวณ)

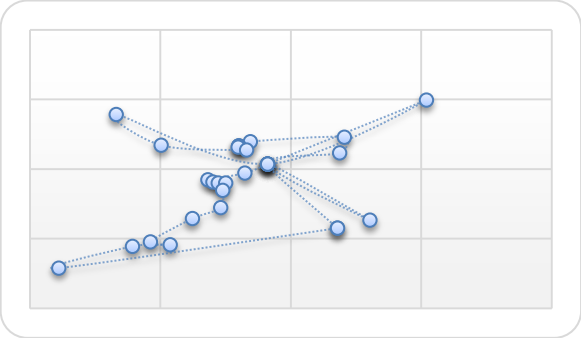
3. ดำเนินการซ้ำ ข้อ 2 จนกระทั่งทุกเมืองถูกเดินทางผ่าน

4. เชื่อมเส้นทางจากเมืองสุดท้ายไปเมืองในข้อ 1

5. คำนวณระยะทางรวมทั้งหมด

ตารางที่ 3 แสดงผลการค้นหาคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด(Nearest Neighbor Heuristics)

ลำดับที่	เส้นทาง	ระยะทางรวม (km.)
1	0 4 1 19 18 16 12 23 5 25 21 7 15 8 20 0	157.51
2	0 2 0	162.41
3	0 10 3 24 13 14 17 9 11 6 0	99.73
4	0 22 0	117.35



รูปที่ 1 แสดงผลการค้นหาคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Heuristics)

ผลจากวิธีวิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด(Nearest Neighbor Heuristics) จะได้เส้นทางในการเดินทาง 4 เส้นทาง ใช้เวลาในการเดินทางทั้งหมด 4 วัน ระยะทางรวม 536.99 กิโลเมตร

4.2 ผลจากวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm)

การดำเนินการแก้ปัญหาด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดมีรายละเอียดดังนี้

1) การคำนวณค่า saving S_{ij}

$$S_{ij} = d_{oi} + d_{jo} - d_{ij} \qquad (2)$$

โดยกำหนดให้

0 = จุดเริ่มต้น (บริษัทกรณีศึกษา)

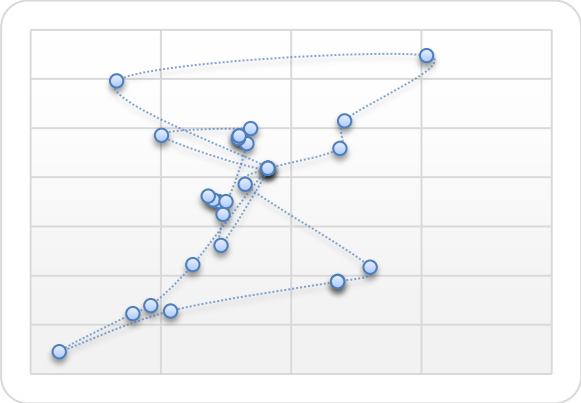
d_{oi} = ระยะทางจากบริษัทกรณีศึกษาไปยังโรงงานลูกค้าที่ i

d_{jo} = ระยะทางจากโรงงานลูกค้าที่ i ไปยังบริษัทกรณีศึกษา

d_{ij} = ระยะทางจากโรงงานลูกค้าที่ i ไปยังโรงงานลูกค้าที่ j

ตารางที่ 4 ผลการค้นหาคำตอบอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm)

ลำดับที่	เส้นทาง	ระยะทางรวม (km.)
1	0 4 2 20 8 21 15 7 25 5 0	157.86
2	0 23 12 18 19 1 16 9 17 13 14 24 11 0	160.99
3	0 6 22 3 10 0	145.46



รูปที่ 2 ผลการค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm)

ผลจากวิธีผลการค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) จะได้เส้นทางในการเดินทาง 3 เส้นทาง ใช้เวลาในการเดินทางทั้งหมด 3 วัน ระยะทางรวม 464.31 กิโลเมตร

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลศึกษาแนวทางการจัดเส้นทางสำหรับงานซ่อมบำรุงของกรณีศึกษา บริษัทให้บริการคำปรึกษาและซ่อมบำรุงระบบนิวเมติกส์และไฮดรอลิคเพื่อจัดการปัญหาเส้นทางสำหรับการให้บริการคำปรึกษาและซ่อมบำรุงที่ได้กำหนดขึ้นในงานวิจัยนี้ มีลักษณะเป็นปัญหาเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem : TSP) และที่มีลูกค้า 25 ราย โดยใช้วิธีฮิวริสติกส์ ทั้ง 2 แบบ สามารถลดระยะทางได้ดีที่สุด โดยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและการหาคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด สามารถลดระยะทางการให้บริการจากเดิมมีระยะทาง 1,198.30 กิโลเมตร เหลือ 464.31 กิโลเมตร และ 536.99 กิโลเมตร ตามลำดับ

จากผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณาปัจจัยด้านเวลานัดหมาย ระยะเวลาในการให้บริการ และระยะเวลาในการเดินทาง ดังนั้นการวิจัยในอนาคตหากมีการพิจารณาปัจจัยดังกล่าวจะทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] วรลักษณ คุณทะสงห์, ศิโรจน์ ปรีชาไว. 2555. การวิเคราะห์ต้นทุนด้านการขนส่งสินค้า กรณีศึกษา: กิจการค้ำน้ำดื่ม เค แอนด์ เค.การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9: 1743 – 1749.

[2] พัฒนพงศ์ อริยสิทธิ์, สุทธิศักดิ์ เฉยสวัสดิ์. การศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธภาพเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำดื่มโดยปัญหาการเดินทางของพนักงานขายด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางเดินสั้นที่สุดแบบคำตอบใกล้เคียงที่สุดกรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่มพีโก้เครื่องเย็น. วารสาร Thai VCMLเครือข่ายนักวิจัยไทยด้านการจัดการโซ่คุณค่าและโลจิสติกส์. วารสาร Thai VCML ปีที่2 ฉบับที่ 2 ธันวาคม 2552 : 119-129.

[3] ปภัสสร สุขาบูรณ์,2554. การจัดเส้นทางการกระจายโลหิตในเขตกรุงเทพและปริมณฑลกรณีศึกษา: ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย.ประชุมวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 4.

[4] ฐิตินนท์ ศรีสุวรรณค์กร,2554.การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ การขนส่งกรณีศึกษาบริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม อำเภอวารินชำราบจังหวัดอุบลราชธานีประชุมวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 4.

[5] เสกสรรค์ วินยางค์กูล, 2557. การประยุกต์ตัวแบบปัญหาการเดินทางของเซลล์แมน กรณีศึกษาการจัดเส้นทางรถรางนาเที่ยวของเทศบาลนครเชียงราย.

[6] นายคำ อภิปรัชญาสกุล, การบริหารเส้นทางการขนส่งสินค้า 2556 บริษัท โฟกัสมีเดีย แอนด์ พับลิชชิ่ง จำกัด ครั้งที่ 1.

การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสมุนไพรสำหรับวิสาหกิจขนาดกลาง

Logistics Management and Supply Chain of Herbal Products for Medium Enterprise

นิธิวดี โฉมยา* อรอุไร แสงสว่าง
ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อ.เมือง จ. ปราจีนบุรี 25230 E-mail: niteewadee@gmail.com*

Niteewadee Chomya*, Ornurai Sangsawang
Department of Industrial Management, Faculty Industrial Technology and Managemnt, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Muang, Prachinburi, 25230, E-mail: niteewadee@gmail.com*

บทคัดย่อ

การตระหนักถึงความสำคัญด้านสุขภาพของประชาชนในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์สมุนไพรมียอดขายในประเทศและต่างประเทศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการส่งเสริมศักยภาพการผลิตสมุนไพรไทย การวิเคราะห์ศักยภาพโซ่อุปทานสมุนไพรสามารถส่งผลดีต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสมุนไพร งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ศักยภาพโซ่อุปทานสมุนไพร โดยใช้แบบจำลองอ้างอิงการดำเนินงานโซ่อุปทาน (SCOR Model) กรณีศึกษาใน จ.สุพรรณบุรี โดยพิจารณาการวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบ ปัญหาวัตถุดิบคงคลังหมดอายุ การจัดซื้อจัดหา ปัญหาวัตถุดิบไม่มีตามฤดูกาล ค่าใช้จ่ายในการจัดหา ต้นทุนในการผลิต การจัดหาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ค่าขนส่งต่อหน่วยและรอบเวลาในการส่งคืนผลิตภัณฑ์สมุนไพร เพื่อวัดประสิทธิภาพการจัดการโซ่อุปทานของสมุนไพร และเสนอแนวทางการพัฒนาโซ่อุปทานสมุนไพรกรณีศึกษา

คำสำคัญ การจัดการโซ่อุปทานสมุนไพร, ตัวแบบจำลองอ้างอิงการดำเนินงานโซ่อุปทาน

Abstract

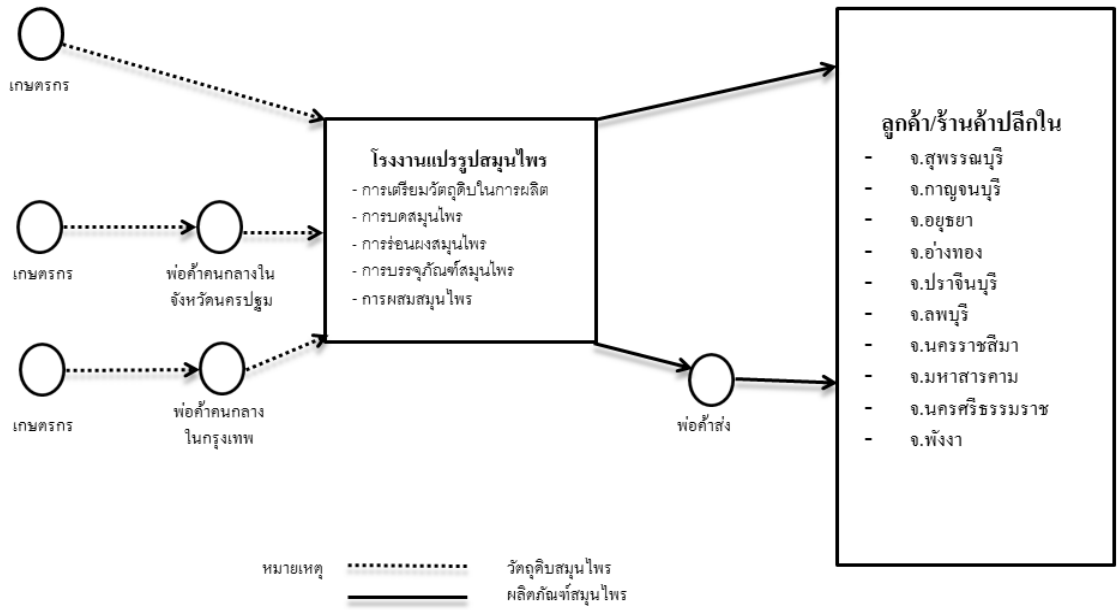
Recognizing of the importance of public health in the present. Herbal medicines are increasingly sold domestically and abroad. As a result, there is the potential for promoting the production of Thai herbs. Analysis of the potential herbal supply chain leads to improve performance of the herbal supply chain. To evaluate the effectiveness of the herbal supply chain management, this research analyzes the performance of the herbal supply chain using the supply chain operations reference model (SCOR Model) with two case studies. Suphanburi province, considering the plan to purchase raw materials, inventory procurement, raw material expiration , lack of raw materials according to the season, overhead costs, manufacture cost, transportation cost, and return of herbal products.

Keywords : Supply Chain Management, Supply Chain Operation Reference Model

1.บทนำ

ปัจจุบันมีความนิยมผลิตภัณฑ์ที่มาจากธรรมชาติมากขึ้น ทำให้คนจำนวนมากที่เจ็บป่วยได้หันมานิยมใช้ยาจากธรรมชาติหรือสมุนไพรทดแทนยาแผนตะวันตกที่มาจากการสังเคราะห์ทางเคมีซึ่งมีราคาแพงและมีฤทธิ์ข้างเคียงสูงกว่ายาจากสมุนไพรดังนั้นจึงนับเป็นเรื่องที่ดีที่คนไทยจะหันมาใช้ยาหรือผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพจากสมุนไพรกันมากขึ้น แทนการพึ่งพายาแผนปัจจุบันเพียงอย่างเดียวอย่างเมื่อก่อน จะช่วยลดการนำเข้ายาจากต่างประเทศและลดการเสียดุลย์การค้าของประเทศลงได้ และการที่ตลาดโลกมีความต้องการผลิตภัณฑ์สุขภาพจากสมุนไพรในปริมาณมากน่าจะเป็นโอกาสอันดีที่ประเทศไทยซึ่งมีทรัพยากรสมุนไพรที่มีคุณภาพดีอยู่เป็นจำนวนมาก จะได้วิจัยและพัฒนาห่วงโซ่อุปทานสมุนไพรของเราให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก แทนการส่งออกแต่วัตถุดิบสมุนไพรซึ่งมีมูลค่าการตลาดต่ำ เพื่อช่วยนำรายได้เข้าประเทศอีกทางหนึ่งด้วย

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งที่จะวัดประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสมุนไพร โดยพิจารณาผู้ประกอบการสมุนไพรตามแบบจำลองการดำเนินงาน SCOR Model เพื่อวิเคราะห์ปัญหา และเสนอแนะแนวทางการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสมุนไพร



รูปที่ 1. ส่วนประกอบของห่วงโซ่อุปทานสมุนไพร

2. ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Management; SCM) หมายถึงการออกแบบ การวางแผนปฏิบัติ การควบคุมติดตามกิจกรรมในห่วงโซ่อุปทาน โดยมีวัตถุประสงค์ในการสร้างคุณค่า ในการแข่งขัน และยกระดับงานสากล และการปรับปรุงอุปทาน (Supply) ให้สอดคล้องกับอุปสงค์ (Demand) และการวัดการปฏิบัติงาน [1]

แบบจำลองที่ใช้ใช้ประเมินผลการปฏิบัติงานของโซ่อุปทาน (SCOR Model)

แบบจำลองที่ใช้ใช้ประเมินผลการปฏิบัติงานของโซ่อุปทาน (Supply Chain Operation Reference Model ,SCOR Model) พัฒนามาจาก Supply Chain Council (SCC) โดยแบบจำลองอ้างอิง SCOR model ประกอบด้วย 5 กิจกรรม ได้แก่

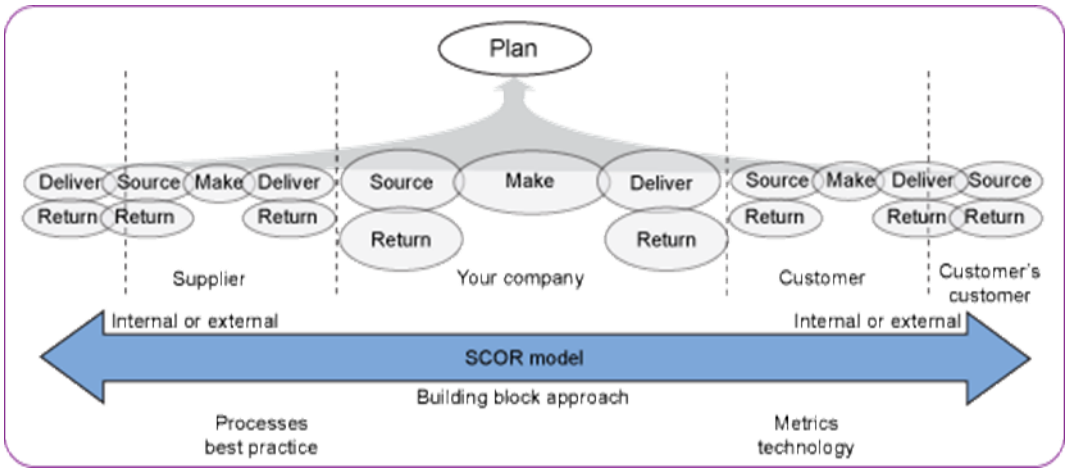
1.การวางแผน (Plan) เกี่ยวข้องกับการวางแผนทั้งระบบห่วงโซ่อุปทาน ได้แก่ การพยากรณ์ความต้องการ จัดหาวัตถุดิบ แผนการผลิต การควบคุมสินค้าคงคลัง

2.การจัดหาวัตถุดิบ (Source)กระบวนการในการจัดหาประกอบด้วย การจัดหาวัตถุดิบที่ต้องการใช้ในการผลิตล่วงหน้า และการจัดหาผู้จัดส่ง ที่น่าเชื่อถือหรือมีสมรรถนะความพร้อมในการผลิตที่ดีพอ

3.การผลิต (Make) โดยจะมีกระบวนการผลิตคือ จำแนกประเภทสินค้าที่จะผลิตตามรูปแบบขั้นต้น ทาการผลิตสินค้าให้ได้ปริมาณและคุณภาพตามมาตรฐาน

4.การจัดส่ง (Deliver) การจัดการวางแผนเลือกวิธีจัดส่งเส้นทางให้ความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้น ต้นทุนลดลง

5.การส่งคืน (Return)ในกรณีที่สินค้ามีความเสียหายระหว่างขนส่ง หรือการผลิต



รูปที่ 2 :โครงสร้าง Supply Chain Operation Reference Model (SCOR Model)

ที่มา : http://www.ibm.com/developerworks/websphere/library/techarticles/1202_ren/1202_ren.html, April 28, 2015 [2]

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการจัดการห่วงโซ่อุปทานด้านสมุนไพร

งานวิจัยนี้ได้เลือกตัวชี้วัดสำหรับประเมินประสิทธิภาพการจัดการห่วงโซ่อุปทานสมุนไพร ได้แก่ อัตราการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ (Space Utilization) การใช้ประโยชน์ในการจัดเก็บวัตถุดิบจากพื้นที่, การวางแผนรอบเวลาการจัดซื้อ (Purchasing Plan), ความถี่ในการตรวจสอบวัตถุดิบ (Quality Control), อัตราวัตถุดิบขาดมือ (Inventory out of stock rate), ปริมาณวัตถุดิบคงคลังเฉลี่ย (Average Inventory), ปริมาณที่สั่งซื้อวัตถุดิบ (Quantity), อัตราการส่งคืน (Rate of Return) เป็นตัวชี้วัดสัดส่วนการส่งคืนวัตถุดิบหรือสินค้าที่ไม่เป็นไปตามความต้องการหลังจากผู้จัดส่งได้ทำการจัดส่งวัตถุดิบให้แล้ว, เวลานำในการสั่งซื้อวัตถุดิบหลัก (Lead time purchasing) , วัตถุดิบที่เสียหายระหว่างการจัดเก็บ ความเสียหายที่

เกิดขึ้นภายในคลังระหว่างการจัดเก็บ, รอบเวลาการแปรรูปวัตถุดิบ (Cycle Time), ค่าใช้จ่ายในการจัดส่ง (Transportation Cost) หรือต้นทุนค่าขนส่งสินค้าจากผู้ขายไปยังผู้ซื้อ, อัตราความสามารถในการจัดส่งสินค้าได้ตรงเวลา (On time rate) เป็นตัวชี้วัดความสามารถของผู้ขายในการตอบสนองคำสั่งซื้อของลูกค้าได้ทันเวลาตามข้อตกลง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันได้มีการค้นคว้าวิจัยด้านโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตและการเกษตรหลายประเภท ดังนี้

จงกลบดินทร์ และคณะ [3] ได้ศึกษาถึงสมรรถภาพโซ่อุปทานของลำไย และปัญหาในการดำเนินงานในโซ่อุปทาน โดยการนำ SCOR Model มาใช้พัฒนาตัวแบบที่จะใช้ประเมินประสิทธิภาพโซ่อุปทานของลำไย เพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของผู้ประกอบการไทย

จิรศักดิ์ และคณะ [4] ได้วิเคราะห์โครงสร้างโซ่อุปทานและกระบวนการทางธุรกิจของบริษัทผู้ผลิตอาหารพร้อมรับประทานกรณีศึกษาแบบครบวงจรตามแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการดำเนินงานในโซ่อุปทาน และกำหนดแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจ จุดแข็งได้แก่ การวางแผนครอบคลุมตลอดทุกกิจกรรม และพบปัญหาเบื้องต้น เช่น มีการพยากรณ์ซ้ำซ้อนกันระหว่างหน่วยงานภายในองค์กรส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์แส้ม้า (Bullwhip effect)

ปรารถนา และคณะ [5] ได้พัฒนาระบบการจัดการห่วงโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง โดยการวัดประสิทธิภาพการจัดการโซ่อุปทานด้วยตัวแบบ SCOR Model ใช้ 3 มาตรวัด ได้แก่ คุณภาพ ต้นทุนและการขนส่ง และโซ่คุณค่า (Value Chain) ทำให้ได้แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพโซ่อุปทาน และได้เสนอปรับปรุงระบบขนส่งด้วยระบบรางและถนน

พิริยะ และคณะ [6] ได้ศึกษาสภาพการเลี้ยงกุ้งขาวและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตในภาคใต้และภาคตะวันออก โดยวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างภาคและรูปแบบการดำเนินงานแบบจำลองโซ่อุปทาน (SCOR Model) พบว่าเกษตรกรทั้งสองภาคมีรูปแบบการจัดการฟาร์มที่คล้ายกัน ได้แก่ การวางแผนการเลี้ยงที่คำนึงถึงฤดูกาล ภูมิอากาศ และการจัดซื้อปัจจัยการผลิต

สนั่น [7] ได้นำ SCOR Model และการวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์โดยวิธีต้นทุนฐานกิจกรรมมาพัฒนาตัวแบบที่จะใช้วัดประสิทธิภาพของโซ่อุปทานข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของผู้ประกอบการข้าวไทย

เสาวนิตย์ [8] ได้ประเมินสมรรถนะของโซ่อุปทานสำหรับอุตสาหกรรมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลและวิเคราะห์การจัดหาวัตถุดิบจากกระบวนการในการจำลองโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล โดยการประยุกต์ใช้ตัวแบบจาลองอ้างอิงการดำเนินงานโซ่อุปทาน พบว่ากลุ่มผู้ผลิตมีสมรรถนะที่ต่ำกว่าผู้จัดหาวัตถุดิบ และกลุ่มลูกค้า ส่งผลให้เกิดของเสียเป็นจำนวนมากในกระบวนการผลิต

Maziyar and et al. [9] ได้ศึกษานำเสนอกรอบการทำงานสำหรับห่วงโซ่อุปทาน การจัดการประสิทธิภาพ บริษัทผลิตน้ำมันในประเทศอิหร่าน โดยอาศัยแบบจำลอง SCOR Model ในการดำเนินงานและได้พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เพื่อลดความซับซ้อนในระบบ และการพัฒนาห่วงโซ่อุปทานน้ำมัน

Chenand et al. [10] ได้พัฒนาเกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพของห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มโดยใช้ SCOR Model ทำให้เห็นว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมกับการพัฒนาห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มมีซับซ้อนในการวิเคราะห์สถานะปัจจุบัน

3.วิธีการดำเนินงาน

3.1 สร้างแบบสอบถาม เพื่อใช้สัมภาษณ์ผู้ประกอบการร้านสมุนไพร

3.2 เก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากเว็บไซต์ของผู้ประกอบการและการสัมภาษณ์ ร้านสมุนไพรกรณีศึกษา และเก็บข้อมูลปฐมภูมิจากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ประกอบการร้านสมุนไพร

3.3 วิเคราะห์ศักยภาพ และสรุปผล

4.ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาผู้ประกอบการร้านสมุนไพร 2 รายคือ ร้านจำปีเภสัช และร้านอู่ทองสมุนไพร ตามหลักของ SCOR Modelได้แก่ การวางแผน การจัดซื้อ-จัดหา การแปรรูปวัตถุดิบ การจัดส่ง และการส่งคืน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์การจัดการโซ่อุปทานสมุนไพร

ตัวชี้วัด	ร้านจำปีเภสัช	ร้านอู่ทองสมุนไพร
Plan		
อัตราการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ (%)	75%	71.43%
การวางแผนรอบเวลาการจัดซื้อ (วัน)	7 วัน	5 วัน
ความถี่ในการตรวจสอบวัตถุดิบสมุนไพร (ครั้ง/เดือน)	1 ครั้ง	1 ครั้ง
อัตราวัตถุดิบสมุนไพรขาดมือ (%)	33.30%	13.30%
Source		
ปริมาณวัตถุดิบคงคลังเฉลี่ย (กิโลกรัม)	10,000 กก.	25,000 กก.
อัตราการตีกลับของวัตถุดิบสมุนไพร	0.16%	0.14%
เวลานำในการสั่งซื้อวัตถุดิบหลัก	7 วัน	3-5 วัน
วัตถุดิบที่เสียหายระหว่างการจัดเก็บ (%)	0.10%	0.08%
Make		
รอบเวลาการแปรรูปวัตถุดิบสมุนไพร (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	5 กก./ชม.	10 กก./ชม.
ผลิตภาพด้านแรงงาน (กิโลกรัม/ชั่วโมง/คน)	1.25 กก./ชม./คน	1.67 กก./ชม./คน
ผลิตภาพด้านการใช้วัตถุดิบสมุนไพร (กิโลกรัม)	0.97 กก.	0.99 กก.
กำลังการผลิตโดยเฉลี่ย (กิโลกรัม/เดือน)	1,000 กก./เดือน	6,000 กก./เดือน
Delivery		
เวลาเฉลี่ยหลังจากรับคำสั่งซื้อจนส่งมอบสินค้า (วัน)	7 วัน	5 วัน
ค่าใช้จ่ายในการจัดส่ง (บาท/กิโลกรัม)	20 บาท/กก.	25 บาท/กก.
อัตราความสามารถในการจัดส่งสินค้าได้ตรงเวลา (%)	89.30%	97.50%

5.สรุปผลการดำเนินงาน

ในการศึกษาห่วงโซ่อุปทานสมุนไพรตามแบบจำลองการดำเนินงาน SCOR Model เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานสมุนไพร โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบสถานประกอบการแปรรูปสมุนไพรขนาดกลาง 2 แห่ง ในจังหวัดสุพรรรณบุรี พบว่าร้านอู่ทองสมุนไพรมีจุดเด่น

ในเรื่องการวางแผนรอบเวลาในการจัดซื้อ รอบเวลาในการแปรรูป ทำให้สัดส่วนวัตถุดิบขาดมือค่อนข้างน้อย ผลิตภาพด้านแรงงาน ผลิตภาพด้านการใช้สมุนไพร กำลังการผลิตสูง เวลาเฉลี่ยที่ใช้หลังจากคำสั่งซื้อจนถึงเวลานัดรับสินค้า อัตราความสามารถในการจัดส่งสินค้าทันเวลาสูง และอัตราการตีกลับของวัตถุดิบสมุนไพรต่ำ ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงได้แก่ การลดต้นทุนค่าขนส่งโดยเพิ่มวิธีการขนส่งสินค้าสมุนไพรที่หลากหลาย หรือพิจารณาการใช้บริการขนส่งสินค้าโดยบริษัทขนส่งในพื้นที่ อัตราการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ และลดปริมาณวัตถุดิบที่เสียหายระหว่างการจัดเก็บ ในขณะที่ร้านจำปีเภสัช สัดส่วนวัตถุดิบสมุนไพรขาดมือสูงกว่า ใช้เวลาในการแปรรูปนานกว่า เนื่องจากกำลังการผลิตที่มีอัตราการผลิตต่อเดือนในปริมาณที่น้อย เวลาเฉลี่ยที่ใช้หลังจากคำสั่งซื้อจนถึงเวลานัดรับสินค้า อัตราความสามารถในการจัดส่ง โดยภาพรวมแล้วร้านอู่ทองสมุนไพรมีประสิทธิภาพการจัดการโซ่อุปทานสมุนไพรที่ดี เนื่องจากสมุนไพรไม่มีสารตกค้างในร่างกายจึงเป็นที่นิยม ในการเตรียมเข้าสู่ AEC ผลิตภัณฑ์สมุนไพรไทยมีแนวโน้มยอดขายที่สูงขึ้น ทั้งด้านความน่าเชื่อถือ ผลิตภัณฑ์สมุนไพรไทยเป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภคในระดับหนึ่ง นอกจากผลิตภัณฑ์สมุนไพรปลอดภัยเมื่อเทียบกับยาเคมีทางวิทยาศาสตร์ที่มีสารตกค้างในร่างกาย และผลิตภัณฑ์สมุนไพรไทยได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์สมุนไพรไทยมีโอกาสถูกลอกเลียนแบบจากผู้ซื้อประเทศอื่นๆ หากได้รับการส่งเสริมการผลิต การแปรรูปสมุนไพรไทยให้มีประสิทธิภาพสูงจะเป็นแหล่งสร้างรายได้ที่สำคัญของประเทศ

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2546. การจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Management; SCM).แหล่งที่มา: www.dip.go.th/Default.aspx?tabid=55. 17 เมษายน 2558.

[2] คู่มือการประเมินประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์. สมการเกณฑ์ตัวชี้วัดมาตรฐานสำหรับผู้ประกอบการ. 28 เมษายน 2558.

[3] จงกลบดินทร์ แสงอาสภวิริยะ และคณะ. 2553. สมรรถนะของโซ่อุปทานการผลิตลำไยเพื่อการส่งออกของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[4] จิรศักดิ์ พัดทอง. 2555. การวิเคราะห์กระบวนการทางธุรกิจของโซ่อุปทานอาหารพร้อมรับประทาน กรณีศึกษา บริษัทประกอบธุรกิจครบวงจร. วารสารประจำปีด้านการจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์22-23 ธันวาคม 2555.

[5] ปรารถนา ปรารถนาดี. 2552.การจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในประเทศไทย. สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.).

[6] พิริยะ แสนรักษ์ และคณะ. 2553. การศึกษาการจัดการฟาร์มเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในประเทศไทยและวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งขาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.

[7] สนั่น เถาชารี. 2555. การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

[8] เสาวนิตย์ จันทนโรจน์ . 2553. การประยุกต์แบบจำลองโซ่อุปทานเพื่อการประเมินสมรรถนะของโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล กรณีศึกษาโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ปีที่ 30 ฉบับที่ 4 เดือนตุลาคม - ธันวาคม 2553.

[9] MaziyarGolparvar, Mehdi Seifbarghy, 2009. Application of SCOR Model in an Oil-producing Company.Journal of Industrial Engineering 4 (2009) 59- 69.

[10] Rong-Chang Chen, Shun-Chin Du, Yueh-Feng Hu, Siao-Bei Lin, Shiue-Shiun Li, 2006. Measuring Supply Chain Performance Based on Scor:A Case Study of a Garment Company in Taiwan

การวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างการวัดความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทาน

The Analysis of Structural Equation Model of Supply Chain Risk Assessment

ปัญญา สำราญหันต์* เปรมพร เขมาวุฒฒ์
*สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 E-mail: sumranhun@gmail.com

Panya Sumranhun*, Premporn Khemavuk
*Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Thonburi, Bangkok, 10600
Department of Industrial Engineer, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North
Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800
E-mail: sumranhun@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างความเสี่ยงห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งได้นำหลักการสามวิธีการร่วมกัน คือหลักการจัดการความเสี่ยง(RM) จัดการความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทาน (SCRM) และโมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) เพื่อสร้างวิธีการวัดความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานและศึกษาความสัมพันธ์ของความเสี่ยง 4 ประเภท คือ ความเสี่ยงกลยุทธ์ ความเสี่ยงการปฏิบัติงาน ความเสี่ยงด้านการเงิน การรายงาน และความเสี่ยงด้านกฎหมายหรือกฎเกณฑ์ต่างๆ ที่มีผลต่อการหยุดชะงักในการดำเนินการของตัวแทนในห่วงโซ่อุปทาน คือ อุปสงค์ อุปทาน กระบวนการผลิต และข้อมูลข่าวสาร

ผลของงานวิจัยพบว่าโมเดลสมการโครงสร้างดังกล่าว มีตัวแปรแฝง จำนวน 5 ตัวแปร และตัวแปรสังเกต จำนวน 17 ตัวแปร มีองศาอิสระเป็นบวก นอกจากนั้น ผลต่างจำนวนค่าแปรปรวน และค่าแปรปรวนร่วม เท่ากับ 153 และมีจำนวนพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า 43 ค่า ดังนั้นทำให้องศาความเป็นอิสระการทดสอบ เท่ากับ 110 หรือมีองศาอิสระเป็นบวก กล่าวคือโมเดลที่สร้างขึ้น มีความเป็นโมเดลที่สามารถระบุความเป็นค่าเดียวได้ ทำให้สามารถทดสอบสมมุติฐานทางสถิติได้

คำหลัก โมเดลสมการโครงสร้าง โมเดลการวัดความเสี่ยงห่วงโซ่อุปทาน การจัดการความเสี่ยงห่วงโซ่อุปทาน

Abstract

The aims of this researched to analysis of supply chain risk management. The research methodology can be subdivided into Risk Management (RM), Supply Chain Risk Management (SCRM) and Structural Equation Model (SEM) for supply chain risk assessment and studied relationship of risk four type. It is strategic risk, operation risk, financial and report risk and compliance risk at operation disruption in supply chain organization is supply demand process and information.

This researched was found that the structural equation model has to five factors for latent variable and seventeen factors for observed variable and degree of freedom more than zero. Moreover, The

difference between the variance and covariance is 153 and the unknown parameters is forty three factors. The degree of freedom testing into 110 or more than zero. The empirical results of structure model is to just identified model and can testing for statistical hypothesis of model in the next research.

Keywords: Structural Equation Model, Supply chain risk Assessment Model, Risk Management

1. บทนำ

การจัดการห่วงโซ่อุปทาน ในยุคที่มีความซับซ้อนและไม่แน่นอนที่เพิ่มมากขึ้น[1],[2] ส่งผลต่อความไม่ต่อเนื่องในการดำเนินงาน หรือการหยุดชะงักขึ้น ของผู้เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทาน เช่น ผู้จัดหาปัจจัยการผลิต, ผู้บริการ,ลูกค้า เป็นต้น [3],[4],[5],[6],[7],[8] ส่งผลต่อโอกาสการทำกำไร และอาจสูญเสียส่วนแบ่งในตลาดได้[9] การจัดการความเสี่ยงจึงเข้ามามีบทบาทในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว[10],[11] ซึ่งมีผู้สนใจศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบของการจัดการความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานตามรูปแบบ และเครื่องมือที่แตกต่างกัน [12],[13],[14] งานวิจัยส่วนใหญ่มีเป้าหมายเพื่อลดการหยุดชะงัก เพิ่มความยืดหยุ่น และเพิ่มประสิทธิภาพ [15] โดยในการดำเนินการต้องมีความต่อเนื่อง และแก้ปัญหาให้ตรงจุด การปรับปรุงจึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์ผู้เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในห่วงโซ่อุปทานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบห่วงโซ่อุปทานได้ แต่ต้องมีความเกี่ยวโยงเป็นโครงข่าย[16] และอาศัยความสัมพันธ์ที่ดีของผู้ที่เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทาน เพื่อทำให้เห็นจุดที่ปิดกั้นหลักที่จะส่งผลถึงการหยุดชะงักในห่วงโซ่อุปทาน[17] ดังนั้นการให้ความสำคัญของความสัมพันธ์ และการร่วมมือกันของผู้เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทาน[18] จึงถูกนำมาใช้เป็นหลักการในการบริหารห่วงโซ่อุปทาน

งานวิจัยด้านการจัดการความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานในปัจจุบันมุ่งเน้นการศึกษาความเสี่ยงที่เกิดจากความไม่แน่นอน ในการดำเนินงาน ที่จะส่งผลต่อการหยุดชะงัก ของการไหลในการดำเนินงาน เช่น ความเสี่ยง ของอุป-สงค์, ความเสี่ยงของอุปทาน, ความเสี่ยงต่อการหยุดชะงัก และความเสี่ยงในการแลกเปลี่ยน เป็นต้น[13] แต่เนื่องจากการวัดความเสี่ยงจากประสิทธิภาพของการดำเนินการ ยังขาดการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เป็นผลกระทบหรือตัวขับเคลื่อนต่อความเสี่ยงในการดำเนินการ เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ความเสี่ยงการหยุดชะงัก ในการดำเนินการเท่านั้น [19] ซึ่งตัวขับเคลื่อนความเสี่ยงสามารถเกิดขึ้นมาจากสภาพแวดล้อมภายนอก มาจากในภาคอุตสาหกรรม มาจากรูปแบบในห่วงโซ่อุปทาน จากความสัมพันธ์กับคู่ค้า หรือมาจากกิจกรรมภายในองค์กรเอง[20] และกระบวนการจัดการความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทาน ยังระบุว่าตัวขับเคลื่อนให้เกิดการจัดการความเสี่ยงอย่างเป็นระบบ แบ่งออกเป็น ปัจจัยภายใน คือประสบการณ์ของผู้สนับสนุน (History-Past) สภาพปัจจุบันที่ช่วยในการสนับสนุน (Current Environment – Present) และเป้าหมาย (Goal-Future) ส่วนปัจจัยภายนอก คือ สัญญาณเตือนของตลาดใหม่, การเปลี่ยนแปลงในองค์กร, และการเปลี่ยนแปลงในการควบคุมทางการเมือง และสภาพแวดล้อมทางเศรษฐกิจ [21]

ดังนั้นถ้าเราสามารถนำปัจจัยความเสี่ยงด้านอื่น เช่นความเสี่ยงด้านกลยุทธ์ ความเสี่ยงด้านการเงิน และความเสี่ยงด้านการปฏิบัติตามกฎระเบียบ เข้ามาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกับความเสี่ยงในการดำเนินงานด้วย จะทำให้สามารถทราบปัจจัยเสี่ยง ในด้านที่มีผลกระทบ(ปัจจัยเข้า) ที่มีต่อระบบห่วงโซ่อุปทานโดยภาพรวม หรือกล่าวได้ว่า สามารถวัดความสัมพันธ์ของผู้ที่เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทานกับประเภทของความเสี่ยงได้ ซึ่งจะทำให้การวัดความเสี่ยงมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับสมการความเสี่ยง ถ้าเราทราบถึงผลกระทบภายนอกที่มีต่อความเสี่ยง จะทำให้เราสามารถวางแผนรองรับกับความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานได้ ซึ่งสอดคล้องกับ [5] ที่ได้อ้างถึงคำพูดในงานวิจัยของ U.Juttner(2005) ที่ได้กล่าวไว้ว่า *"ความเสี่ยงไม่ได้เกิดขึ้นแค่ในการดำเนินการภายใน*

แต่ยังขึ้นอยู่กับหน่วยงานอื่นในห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานมักถูกตีความว่าเป็นความไม่น่าเชื่อถือของทรัพยากรและเป็นความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น" และยังสอดคล้องกับแนวโน้มการจัดการความเสี่ยงในอนาคตที่มีผลกระทบต่ออุตสาหกรรม คือการมองเห็นและสอบย้อนกลับในห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งโมเดลสมการโครงสร้างสามารถวิเคราะห์ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกันได้ [22]

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยส่วนแรก เพื่อนำไปประกอบงานวิจัยแบบชุดโครงการ ซึ่งในงานวิจัยส่วนนี้มีวัตถุประสงค์คือ

1.เพื่อกำหนดข้อมูลเฉพาะของโมเดล และสร้างโมเดลวัด และโมเดลโครงสร้าง สำหรับการวัดความสัมพันธ์ของความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทาน

2.เพื่อทดสอบความกลมกลืนของโมเดล ด้วยการตรวจสอบการระบุความเป็นค่าเดียวของโมเดล

3.เพื่อตั้งสมมุติฐานและนำเสนอแนวทางในการทดสอบสมมุติฐานของโมเดลต่อไป

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดการความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทาน และโมเดลสมการโครงสร้าง และทฤษฎีการจัดการความเสี่ยง ดังนี้

ความเสี่ยง หมายถึงโอกาสหรือเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นและอาจส่งผลกระทบต่อวัตถุประสงค์ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{ความเสี่ยง} = \text{โอกาส} \times \text{ความรุนแรง} \qquad (1)$$

ประเภทความเสี่ยงสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1.ความเสี่ยงด้านกลยุทธ์ (Strategic Risk)

2.ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติงาน (Operation Risk)

3.ความเสี่ยงด้านการเงินและการรายงาน (Financial and Report Risk)

4.ความเสี่ยงด้านกฎหมายและกฎเกณฑ์ต่างๆ (Compliance Risk)

4. โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Model)

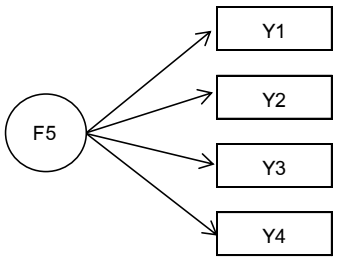
รูปแบบของโมเดลสมการโครงสร้างนี้ มีรูปแบบโมเดลการวิเคราะห์เชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis : CFA) เนื่องจากโครงร้างของโมเดลได้มีการทบทวนจากวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทบทวนตามหลักทฤษฎีการจัดการความเสี่ยง และหลักการบริหารห่วงโซ่อุปทานมีความจำเป็นต้องมีโครงสร้าง[6],[13],[21],[23] เพื่อให้เกิดขั้นตอนที่มีความสัมพันธ์ในแต่ละขั้นตอนอย่างเป็นระบบ

4.1 โมเดลวัด (Measure Model)

โมเดลวัด เป็นโมเดลที่ทางผู้วิจัยต้องการยืนยันตัวแปรสังเกตหลายๆตัวแปร มาใช้ในการบ่งชี้ตัวแปรแฝง ซึ่งในงานวิจัยนี้มีตัวแฝงจำนวน 5 ตัวแปร คือ ความเสี่ยงด้านกลยุทธ์, ความเสี่ยงด้านการเงิน, ความเสี่ยงด้านกฎหมายข้อบังคับ ความเสี่ยงด้านการดำเนินการ และความเสี่ยงจากสภาพแวดล้อม ซึ่งมีโมเดลการวัดของตัวแปรแฝง จำนวน 5 ตัวแปร ดังนี้

1.โมเดลการวัดความเสี่ยงห่วงโซ่อุปทานด้านการดำเนินการ ทางผู้วิจัยได้นำตัวแปรสังเกตจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของห่วงโซ่อุปทาน [24]การจัดการความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทาน คือความเสี่ยงด้านการดำเนินงาน หรือความเสี่ยงในการหยุดชะงัก ด้วยการวัดโครงสร้างปัจจัยพื้นฐาน คือการบริหารอุปทาน การบริหารอุปสงค์ การบริหารสินค้าและการบริหารข้อมูล [5]วัดความเสี่ยงในการดำเนินการของ ผู้จัดหาปัจจัยการผลิต กระบวนการผลิต ปริมาณความต้องการ ที่จะส่งผลต่อความยืดหยุ่นและบริการลูกค้า [25]ใช้โมเดลสมการโครงสร้างในการเลือกผู้จัดหาปัจจัยการผลิต โดยโมเดลสมการโครงสร้างการบริหารห่วงโซ่อุปทานให้สำเร็จต้องมีปัจจัยมาจากความสัมพันธ์ที่ดี และการแบ่งปันข้อมูลข่าวสาร [8]สภาพแวดล้อมทางธุรกิจในอนาคตอาจรวมไปถึง ผู้จัดหาปัจจัยการผลิต ทำเล การผลิต ผู้รับจ้างช่วง ตลาดและการขนส่ง ซึ่งสอดคล้องต่อปัจจัยในการเลือกผู้จัดหาปัจจัยการผลิต[16],[18]วิเคราะห์ความสัมพันธ์ความน่าเชื่อถือในการส่งมอบ คือความสัมพันธ์ที่ดีต่อกันของ ผู้หาปัจจัยการ

ผลิต ลูกค้า การแบ่งปันและคุณภาพข้อมูลข่าวสาร [26]ผู้จัดหาปัจจัยการผลิตส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพสินค้า ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายหลักของการบริหารความเสี่ยงห่วงโซ่อุปทาน คือต้องการกำไรสูงสุด และความเสี่ยงต่ำสุด เป้าหมายทั้งสองนี้ มีความสัมพันธ์มาจากผู้เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทาน เช่นผู้จัดหาปัจจัยการผลิต ,ผู้ผลิต, ศูนย์กระจายสินค้า เป็นต้น [4] สามารถสรุปตัวแปรสังเกตดังนี้



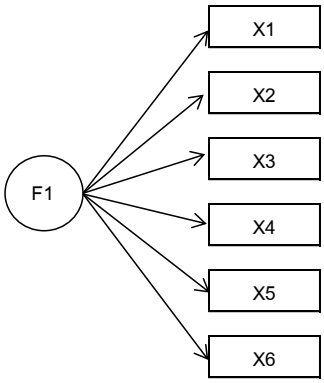
รูปที่ 1 โมเดลวัดความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานด้านการดำเนินงาน

โมเดลวัดของตัวแปรแฝง การวัดความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานด้านการดำเนินงาน มีตัวแปรสังเกตจำนวน 4 ตัวแปร ตามตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ความหมายโมเดลตามรูปที่ 1

สัญลักษณ์	ความหมาย	อ้างอิง
F5	ความเสี่ยงด้านการดำเนินงาน	[17],[24],[27],[28]
Y1	ความเสี่ยงด้านอุปทาน	[1],[5],[8],[9]
Y2	ความเสี่ยงด้านอุปสงค์	[18],[21],[25],[29]
Y3	ความเสี่ยงด้านการผลิต	
Y4	ความเสี่ยงด้านข้อมูลข่าวสาร	

2.โมเดลวัดความเสี่ยงห่วงโซ่อุปทานด้านความเสี่ยงด้านกลยุทธ์ ซึ่งในโมเดลการวัดนี้มีตัวแปรสังเกตจำนวน 6 ตัวแปร มาจากผลกระทบของกลยุทธ์ในการจัดการความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทาน ที่จะส่งผลต่อสภาพแวดล้อมโดยรวมที่มีต่อ ความเสี่ยงในการดำเนินการ [32]ใช้กล-ยุทธ์การจัดการความเสี่ยง 6 ชนิด ในการประเมินผลกระทบที่มีต่อห่วงโซ่อุปทาน [29]ความสัมพันธ์ของกล-ยุทธ์ในระบบโลจิสติกส์ ที่มีต่อลูกค้า และการแข่งขัน คือกลยุทธ์การผลิต กลยุทธ์การตลาด และกลยุทธ์ข้อมูลข่าวสาร [30]ความแข็งแกร่งของกลยุทธ์ในการห่วงโซ่อุปทาน คือกลยุทธ์ผู้จัดหาปัจจัยการผลิต และกลยุทธ์ความสัมพันธ์ต่อลูกค้า [31]ให้ความสัมพันธ์การบริหารห่วงโซ่อุปทาน ความรับผิดชอบการขนส่ง และการแข่งขัน [32]วิเคราะห์ความสัมพันธ์จากกลยุทธ์การจัดการความเสี่ยง ของโดยมีกลยุทธ์ตามตารางที่ 2 และสามารถเขียนโมเดลการวัด ดังรูปที่ 2 ต่อไปนี้



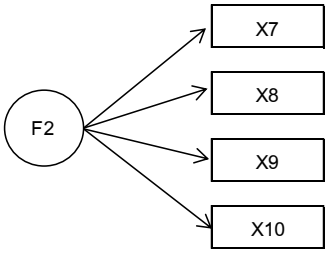
รูปที่ 2 โมเดลวัดความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานด้านกลยุทธ์

ตารางที่ 2 ความหมายโมเดลตามรูปที่ 2

สัญลักษณ์	ความหมาย	อ้างอิง
F1	ความเสี่ยงจากกลยุทธ์	[14],[21],[24]
X1	การเลื่อน	[27],[29],[30]
X2	การเก็งกำไร	[32]
X3	การควบคุมดูแลคุณภาพ	
X4	การควบคุม/ ถ่ายโอน	
X5	รักษาความปลอดภัย	
X6	การหลีกเลี่ยง	

3.โมเดลวัดความเสี่ยงห่วงโซ่อุปทานด้านความเสี่ยงด้านการเงิน [23]ประสิทธิภาพและความเสี่ยงที่สมดุลในห่วงโซ่อุปทานในการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ ตามตัวขับเคลื่อนความเสี่ยง มี 3 ปัจจัย คือ ผลตอบแทนและกำไร การใช้ประโยชน์จากทุนและการดำเนินการด้านกระแสเงินสด [28]การวัดความสัมพันธ์ของผู้เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทาน คือผล

จากการลดต้นทุน [33]การบริหารความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานในวิกฤติการเงิน ซึ่งในโมเดลการวัดนี้มีตัวแปรสังเกตจำนวน 4 ตัวแปร ดังนี้



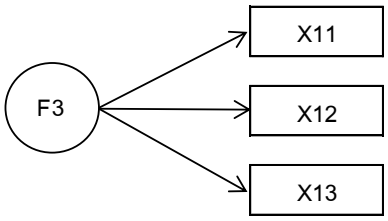
รูปที่ 3 โมเดลวัดความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานด้านการเงิน

ตารางที่ 3 ความหมายโมเดลตามรูปที่ 3

สัญลักษณ์	ความหมาย	อ้างอิง
F2	ความเสี่ยงด้านการเงินและการรายงาน	[28],[33],
X7	การดำเนินการให้เกิดผลตอบแทนและกำไร	[23],[34],
X8	การใช้ประโยชน์จากทุน	[5],[9]
X9	การดำเนินการกระแสเงินสด	
X10	การบริหารในช่วงวิกฤติการเงิน	

โมเดลวัดของตัวแปรแฝง ความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานด้านการเงิน มีตัวแปรสังเกตจำนวน 4 ตัวแปร ดังแสดงความหมายไว้ในตารางที่ 3

4.โมเดลวัดความเสี่ยงห่วงโซ่อุปทานด้านความเสี่ยงด้านกฎหมายและกฎเกณฑ์ต่างๆ สิ่งสำคัญคือการปฏิบัติตาม และการปฏิบัติได้ [20]ให้ปัจจัยการขับเคลื่อนการหยุดชะงักการจัดการความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทาน คือความร่วมมือ ความรับผิดชอบ การเชื่อฟังอำนาจ การมีส่วนร่วมของกลุ่มและลูกค้า [35]วิเคราะห์ประสิทธิภาพผู้รับเหมาที่มีต่อความเสี่ยงและข้อบังคับกฎหมายที่มีการประสานงาน และการดำเนินตามสัญญา [36]ในการบริหารความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานให้สำเร็จ ต้องมีการประยุกต์ระบบเตือนข้อผิดพลาด และผลกระทบโปรแกรมฉุกเฉิน [12],[14]ความสำคัญของความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานเพื่อสิ่งแวดล้อมเป็นเกณฑ์ที่จะส่งผลต่อความสัมพันธ์ในห่วงโซ่ ซึ่งในโมเดลการวัดนี้มีตัวแปรสังเกตจำนวน 3 ตัวแปร ดังนี้



รูปที่ 4 โมเดลวัดความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานด้านกฎหมายและกฎเกณฑ์ต่างๆ

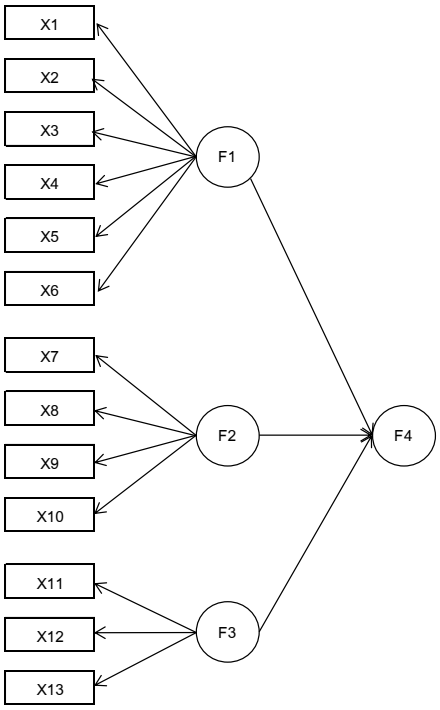
ตารางที่ 4 ความหมายโมเดลตามรูปที่ 4

สัญลักษณ์	ความหมาย	อ้างอิง
F3	ความเสี่ยงจากกฎหมายและกฎเกณฑ์ต่างๆ	[20],[22],[35],
X11	คู่ค้าไม่ปฏิบัติตามสัญญา	[5],[14],[21],
X12	มาตรฐานอ้างอิงผลิตภัณฑ์	[36]
X13	ความน่าเชื่อถือกฎหมายและรัฐบาล	

จากโมเดล ตามรูปที่ 2, 3 และ 4 เป็นโมเดลการวัดความเสี่ยงในแต่ละประเภทความเสี่ยง ซึ่งจะมีผลต่อปัจจัยแฝง ตามรูปที่ 1

4.2 โมเดลแบบ Second Order Confirmatory Factor

จากรูปที่ 5 ความหมายของ F4 หมายถึงความเสี่ยงจากสภาพแวดล้อมที่มีต่อความเสี่ยงด้านการดำเนินการในห่วงโซ่อุปทาน ดังนี้

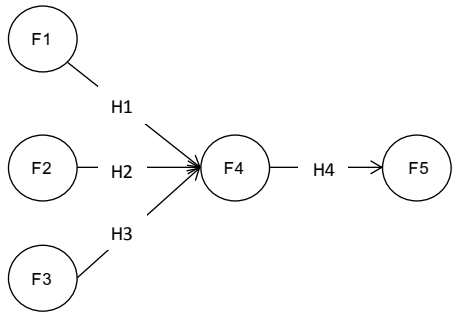


รูปที่ 5 โมเดลการวิเคราะห์การยืนยันความเสี่ยงจากสภาพแวดล้อมที่มีต่อความเสี่ยงด้านการดำเนินการในห่วงโซ่อุปทาน

สภาพแวดล้อมมาจากความเสี่ยง 3 ประเภท คือความเสี่ยงด้านกลยุทธ์ (Strategic Risk), ความเสี่ยงด้านการเงินและการรายงาน (Financial and Report Risk), ความเสี่ยงด้านกฎหมายและกฎเกณฑ์ต่าง ๆ (Compliance Risk) ที่จะส่งผลและมีความสัมพันธ์ต่อความเสี่ยงในการดำเนินการ ของโมเดลวัดตามรูปที่ 1

5. โมเดลโครงสร้าง (Structural Model)

เป็นโมเดลการหาสาเหตุโดยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของตัวแปรแฝงระหว่าง F1, F2, F3 กับ F4 ตามโมเดลรูปที่ 5 และ ระหว่างโมเดลรูปที่ 5 กับ F5 หรือโมเดลรูปที่ 1 ซึ่งสามารถแสดงเป็นโมเดลได้ดังรูปที่ 6 ดังนี้



รูปที่ 6 โมเดลสมการโครงสร้างความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทาน

จากรูปที่ 6 สามารถตั้งสมมุติฐานงานวิจัยได้ 4 สมมุติฐานดังนี้

H1 : ตัวแปรความเสี่ยงด้านกลยุทธ์มีอิทธิพลทางตรงต่อความเสี่ยงจากสภาพแวดล้อม

H2 : ตัวแปรความเสี่ยงด้านการเงินมีอิทธิพลทางตรงต่อความเสี่ยงจากสภาพแวดล้อม

H3 : ตัวแปรความเสี่ยงด้านกฎหมายมีอิทธิพลทางตรงต่อความเสี่ยงจากสภาพแวดล้อม

H4 : ตัวแปรความเสี่ยงจากสภาพแวดล้อมมีอิทธิพลทางตรงต่อความเสี่ยงการดำเนินการ

6. การยืนยันความกลมกลืนสมการ ด้วยการตรวจสอบการระบุความเป็นค่าเดียวของโมเดล

การระบุค่าความเป็นไปได้ค่าเดียวของโมเดลคือการระบุว่าโมเดลนั้นสามารถนำมาประมาณค่าพารามิเตอร์ได้ออกมาเป็นค่าเดียวหรือไม่ ซึ่งการทดสอบในงานวิจัยนี้ใช้สูตรในการคำนวณค่าองศาอิสระได้ผลดังนี้

จำนวนค่าแปรปรวน-ค่าแปรปรวนร่วม = $\frac{p(p+1)}{2}$ (2)

$$= \frac{17(17+1)}{2}$$

$$= 153$$

จำนวนพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า มีจำนวน 43 ค่า มาจากเส้นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงกับตัวแปรสังเกต จำนวน 17 ค่า, มาจากค่าส่วนเกินของตัวแปร

สังเกต จำนวน 17 ค่า, มาจากตัวแปรแฝง จำนวน 5 ค่า และมาจากเส้นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝง จำนวน 4 ค่าดังนั้น

องศาอิสระการทดสอบ = 153-43

= 110

7. สรุปผลการวิจัย

ผลการทดสอบค่าองศาอิสระมีค่ามากกว่าศูนย์ แสดงว่า โมเดลระบุเกินพอดี(Over identified model) หรือกล่าวได้ว่า โมเดลสมการโครงสร้างตามรูปที่ 6 สามารถหาผลลัพธ์ได้เพียงคำตอบเดียวจึงทำให้สามารถทดสอบสมมุติฐานทางสถิติต่อไปได้

ซึ่งงานวิจัยต่อไป แบบสอบถามจะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล เพื่อทดสอบสมมุติฐานทั้ง 4 สมมุติฐาน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโมเดลสมการโครงสร้างด้วยวิธีทางสถิติเพื่อสร้างสมการการวัดความเสี่ยงในห่วงโซ่อุปทานต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Hans, C.,Philipp, G., David, T. (2011), "Interpretive structural modeling of supply chain risks", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 41 Iss. 9, pp. 839-859.

[2] Iris, H., Tina, C., Stefan, N. (2015), "A critical review on supply chain risk - Definition, measure and modeling", Journal of Omega, Vol.52, pp. 119-132.

[3] Faisal, A., Sarah, S. (2015), "A fuzzy-based integrated framework for supply chain risk assessment", Internation Journal of Production Economics, Vol. 161, pp.54-63.

[4] Jose, M., Zugang, L. (2011), "Modeling and analysis of the multiperiod effects of social relationship on supply chain networks", European Journal of Operation Research, Vol. 214, pp.39-52.

[5] L. Avelar-Sosa., J.L. García-Alcaraz., J.P. Castrellón-Torres. (2014), "The Effects of Some Risk Factors in the Supply Chains Performance: A Case of Study", Journal of Applied Research and Technology, Vol. 12, October 2014.

[6] Oliver, L., Angappa, G., Alain, S. (2012), "Supply chain risk management in French companies", Journal of Secision Support System, Vol. 52, pp. 828-838.

[7] S. Vahid N., Mahour, M.P. (2015), "A multi-objective approach to supply chain risk management: Integratingv isibility with supply and demand risk", Internation Journal of Production Economics,Vol. 161, pp. 192-200.

[8] Walid, K., Alain, M. (2012), "Scenario based Supply Chain Network risk modeling", European Journal of Operational Research, Vol.223, pp. 644-658.

[9] Ou Tang., S. Nurmaya. (2011), "Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management", Internation Journal of Production Economics,Vol. 133, pp. 25-34.

[10] Arief, A., Rajagopalan, S., I.A. Karimi. (2008), "Supply Chain Risk Management through HAZOP and Dynamic Simulation", European Symposium on Computer Aided Process Engineering, 18th, 1-4 June 2008, pp.37-42"

[11] Hans, C., Philipp, G., David, T. (2011), "Interpretive structural modeling of supply chain risks", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 41 Iss. 9, pp. 839 - 859.

[12] Hsin-Hung, W., Shin-Yu, C. (2015), "A case study of using DEMATEL method to identify critical factors in green supply chain management", Journal of Applied Mathematics and Computation, Vol.256, pp.394-403.

[13] Mark, G., Joseph Y.S. Lim, Fanwen, M. (2007), "A stochastic model for risk management in global supply chain networks", European Journal of Operational Research, Vol.182, pp. 164-173.

[14] Sachin, K.M., Pradeep, K., Mukesh, K.B. (2015), "Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach: A case study", Journal of Resources, Conservation and Recycling, 2015.

[15] Shan Lin., Lin, W. (2014), "Understanding the impact of risk on performance in internal and outsourced information technology project: The role of straegic importance", International Journal of Project management, 2014.

[16] De. X., Bo., C. (2011), "A comprehensive decision-making model for risk management of supply chain", International Journal of Expert System with Application, Vol. 38, pp. 4957-4966.

[17] Andra, B., Gabriela, P., Gilles, G., Hamid, A. (2014), "Assessing risk factors in collaborative supply chain with the analytic hierarchy process (AHP)", Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol.124, pp. 114-123.

[18] Suhong, L., S. Subba, R., T.S. Ragu, N., Bhanu, R. (2005), "Development and validation of a measurement instrument for studying supply chain management practices", Journal of Operations Management, Vol.23, pp. 618-641.

[19] Sudeep, K.P., Srikanta, R. (2014), "Analyzing the supply chain risk issues for an Indian manufacturing company", Journal of Advances in Management Research, Vol. 11 Iss. 2, pp. 144- 162.

[20] David L.O., Desheng, D.W. (2010), "A review of enterprise risk management in supply chain", Kybernetes, Vol. 39 Iss. 5, pp. 694 - 706.

[21] Rao, T., Tobias, S. (2011), "Assessing and managing risks using the supply chain management process (SCRMP)",Internatioal Journal of Supply Chain Management, Vol. 16 Iss. 6, pp. 474-483.

[22] Abhijeet, G., Samir, D. (2012), "Supply chain risk management: present and future scope", The International Journal of Logistics Management, Vol. 23 Iss. 3, pp. 313 - 339.

[23] G.J. Hahn,H.Kuhn. (2012), "Value-based performance and risk management in supply chains : A robust optimizatio napproach", International Journal of Production Economics, Vol. 139, pp. 135-144.

[24] Christopher S. Tang. (2006), "Perspectives on risk management in supply chains", Internation Journal of Production Economics,Vol. 103, pp. 451-488.

[25] M. Punniyamoorthy, P. Mathiyalagan, P. Parthiban. (2011), "A strategic model using structural equation modeling and fuzzy logic in supplier selection", Journal of Expert Systems with Applications, Vol. 38, pp. 458-474.

[26] Chinho, L., Wing S., Christian, N., Chu-Hua, K., Pei Pei, Y. (2004), "A structural equation model of supplychain quality management and organizational performance", International Journal Production Economics, Vol.96, pp. 355-365.

[27] Abhijeet, G., Samir, D., Michael, C., Roy, K. (2013), "A systems approach for modelling supply chain risks", International Journal of Supply Chain Management, Vol. 18 Iss. 5, pp. 523 - 538.

[28] "Fu, J., Christine, R. (2010), "Mitigation of supply chain relational risk caused by cultural differences between China and the West", The International Journal of Logistics Management, Vol. 21 Iss. 2, pp. 251-270.

[29] Kohn. Jonathan, W., McGinnis, Michael, A., Ali. Kara. (2011). "A structural equation model assessment of logistics strategy", The International Journal of Logistics Management,

Vol. 22 Iss. 3, pp. 284 – 305.

[30] Wisner, Joel D. (2011), "A structural equation model of supply chain management strategies and firm performance", Journal of Business Logistics Vol. 24 Iss. 1, pp. 1–26.

[31] Ashish, A., Rao, S., Eagu, N. (2013), "Impact Of SCM Practices Of A Firm On Supply Chain Responsiveness And Competitive Advantage Of A Firm", Journal of Applied Business Research (JABR), Vol. 29 No. 2. (2013)

[32] Cigdem, S., Burak. (2012), "The selection of global supply chain risk management strategies by using fuzzy analysis hierarchy process-a case from Turkey", International Strategic Management Conference, Vol 58, pp. 1448-1457.

[33] Constantin, B,. Tobias, S. (2011), "Supply chain risk management in financial crises—A multiple case-study approach", The International Journal of Production Economics, Vol. 134, pp.43-57.

[34] Gang Li., Huan, F., Peter K.C., L., T.C.E. Chang. (2015), "Joint supply chain risk management: An agency and collaboration perspective", Internation Journal of Production Economics, Vol. 164, pp.83-94.

[35] Frank, W., Mark, P., Brian, F. (2013), "The importance of contextual factors in the success of outsourcing contracts in the supply chain environment: the role of risk and complementary practices", Supply chain management: An International Journal, Vol. 18 Iss. 6, pp. 630-643.

[36] Frank, W., Paul, H., Cristina, G., Ronan, M. (2015), "Risk, risk management practices, and the success of supply", The International Journal of Production Economics, (2015).

การศึกษาความเป็นไปได้ของการขนส่งสินค้าทางบกจากไทยไปเวียดนาม

A feasibility Study of Ground Transportation for Product Delivery from Thailand to Vietnam

เชิง พรมทอง ชัยพร วงศ์พิศาล นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร* สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร ยุทธชัย บรรเทิงจิตร
ศูนย์นวัตกรรมสำหรับวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์และการยศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

Cherng Promthong, Chaiporn Vongpisal, Nantakrit Yodpijit*, Somkiat Jongprasithpron,
Yuthachai Bunterngchit
Center for Innovation in Human Factors Engineering and Ergonomics (CIHFE^2)
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), Bangsue, Bangkok 10800
E-mail: nantakrit@gmail.com*, ntk@kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อตัดสินใจคัดเลือกเส้นทางส่งสินค้าอุตสาหกรรมประเภทชิ้นส่วนและอะไหล่รถจักรยานยนต์จากประเทศไทย ไปนครโฮจิมินห์ สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม ภายใต้ปัจจัยรวมทางด้านต้นทุน เวลาและความเสี่ยงของเส้นทางในการขนส่งที่ต่ำที่สุด ขอบเขตการตัดสินใจด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process : AHP) ใช้การเปรียบเทียบเส้นทางต่อเส้นทาง เป็นคู่ ทีละคู่ ศึกษาเส้นทางขนส่งสินค้าทางถนนโดยรถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 20 ฟุตทั้งหมด 5 เส้นทางโดยเลือกเส้นทางเริ่มต้นที่กรุงเทพมหานคร ประเทศไทยไปตามถนนหมายเลข 36 ผ่านอำเภอแกลง จังหวัดระยอง ไปทางทิศตะวันออกผ่านจังหวัดตราด ข้ามจุดผ่านแดนถาวรที่บ้านหาดเล็ก-จามเยียม เข้าสู่ราชอาณาจักรกัมพูชา ผ่านจังหวัดเกาะกง กรุงพนมเปญ ผ่านจังหวัดสวายเรียงไปที่จุดผ่านแดนบ่าเวียต-ม็อกไบ เข้าสู่สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนามสู่นครโฮจิมินห์ โดยเส้นทางนี้มีต้นทุนการขนส่งสินค้าเท่ากับ 22,268.76 บาท เวลาในการขนส่งสินค้า 14.43 ชั่วโมง และค่าความเสี่ยงของเส้นทางการขนส่งสินค้าอยู่ที่ระดับ 0.17 ซึ่งผลการศึกษานี้ ช่วยให้ผู้ประกอบการ นักธุรกิจหรือผู้สนใจทั่วไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนในอนาคตได้

คำหลัก กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ เส้นทางการขนส่งสินค้าโดยทางบก นครโฮจิมินห์

Abstract

The purpose of this study was to find the truck transportation route with 20 feet container of accessories, parts and spare parts of motorcycles from Bangkok, Thailand to Ho Chi Minh City, Vietnam with the lowest time, cost and risk. Analytic Hierarchy Process (AHP) was used for selecting from 5 routes by pairwise comparison. The result from AHP indicated that the route starting from Bangkok on road no.36 eastern of Thailand through Klaeng, Rayong and Trad province, cross border at Ban Hat Lek in Thai – Jam Yeam in Cambodia. Next, go through Panompenh and SvayRieng crossing Vietnam Mocbai border to Ho Chi Minh City was selected as the optimal route. This route has cost of 22,268.76 THB and takes 14.43 hours. Risk of transportation route is 0.17 risk scale. This study will help entrepreneur, business owner and interested people for their information to make decision for their business.

Keywords: Analytic Hierarchy Process, ground transportation route, Ho Chi Minh City

1. บทนำ

ในสภาวะปัจจุบันมีการแข่งขันทางด้านเศรษฐกิจกันอย่างมาก ทั้งในระดับเอเชียและทั่วโลก การที่ประเทศไทยจะพัฒนาเศรษฐกิจภายในและภายนอกประเทศเพื่อช่วยให้ให้ประชาชนมีรายได้เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาและวิจัยเส้นทางเพื่อทำการขนส่งสินค้าไปยังต่างประเทศ เช่น การค้าชายแดน รวมทั้งส่งเสริมการคมนาคมทั้งทางบกและทางน้ำกับประเทศเพื่อนบ้าน ซึ่งจะเป็นผลดีต่อภาครัฐในการกำหนดนโยบายเพื่อพัฒนาประเทศไทยให้มีความทัดเทียมกับประเทศที่พัฒนาแล้วได้ และการค้ากับสาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนามซึ่งเป็นประเทศที่อยู่ในกลุ่มอาเซียนและที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในแง่ของเศรษฐกิจ โดยความน่าสนใจคือจำนวนประชากรที่มีจำนวนมากถึงมากกว่า 89 ล้านคน ถือเป็นประเทศที่มีประชากรมากที่สุดเป็นอันดับ 13 ของโลกและเป็นประเทศในกลุ่มอาเซียนน่าจะมีโอกาสอันดีในการที่จะทำการค้าด้วย

2. การทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนิต โสรัตน์ (2551) [1] ได้ศึกษากระบวนการของโลจิสติกส์ให้ได้มาซึ่งสินค้าและบริการ รวมถึงการเคลื่อนย้าย จัดเก็บ และกระจายสินค้าจากแหล่งที่ผลิต (Source of Origin) จนสินค้าได้มีการส่งมอบไปถึงแหล่งที่มีความต้องการ (Source of Consumption) โดยมีเป้าหมายในการส่งมอบแบบทันเวลา (Just in Time) และเพื่อลดต้นทุน โดยมุ่งให้เกิดความพอใจแก่ลูกค้า (Customers Satisfaction) และส่งเสริมเพื่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่สินค้าและบริการ

อรรถกร (2553) [2] การตรวจสอบความสอดคล้องกันของการตัดสินใจจะพิจารณาจากค่าเวกเตอร์เฉพาะ (Eigen Vector) สามารถวัดได้จากอัตราส่วนความสอดคล้องกัน (Consistency Ratio: C.R.) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างดัชนีความสอดคล้องกันของข้อมูล (Consistency Index: C.I.) และดัชนีความสอดคล้องกันของข้อมูลเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) ค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกัน (Consistency Ratio: C.R.) สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (2-1)

$$C.R.=\frac{C.I.}{R.I.} \qquad (2\text{-}1)$$

เมื่อ C.I. คือ ดัชนีความสอดคล้องกันที่วัดจากความแปรปรวนของ max จาก N สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-2)

$$C.I.=\frac{(\lambda_{max}-N)}{(N-1)} \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อ λ_{max} = ผลรวมของผลคูณระหว่างผลรวมของสมาชิกในแต่ละหลักของเมทริกซ์กับน้ำหนัก

Normal Form = ค่าไอเกนของแต่ละแถวต่อผลรวมของค่าไอเกนของทุกสดมภ์

N = จำนวนสมาชิกในแถวหรือหลัก

วรพจน์ (2552) [3] ได้ทำการออกแบบระบบการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างไทยกับเวียดนาม โดยใช้กระบวนการลาดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ในการให้น้ำหนักความสำคัญของปัจจัย ได้แก่ เวลาในการเดินทาง ค่าใช้จ่ายในการเดินทางและความเสี่ยงของเส้นทางซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อคำนวณหาเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสม

ทิชาลักษณ์ และคณะ (2554) [4] ได้พัฒนาวิธีการเพื่อเลือกเส้นทางที่ปลอดภัยที่ดีที่สุดสำหรับการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่น ด้วยการใช้อัลกอริทึมของ Dijkstra เป็นพื้นฐานแล้วเพิ่มปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับอุบัติเหตุบนท้องถนน คือค่าดัชนีความรุนแรงของถนนและทางแยก จากนั้นจึงทาการวิเคราะห์เพื่อให้ได้เส้นทางที่เหมาะสมที่สุด

เกรียงศักดิ์ และ ณกร (2556) [5] ได้ศึกษาและปรับปรุงการนำอัลกอริทึม Dijkstra มาประยุกต์ใช้หาคำตอบของปัญหาการค้นหาเส้นทาง โดยมีวัตถุประสงค์ของปัญหา คือ ต้องการหาเส้นทางที่มีระยะทางและระยะเวลาน้อยที่สุด

Beresford and Dubey (1990) [6] ได้ทำการเสนอตัวแบบต้นทุนเพื่อช่วยผู้ทำการตัดสินใจทางด้านโลจิสติกส์ในการเลือกช่องทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยการทำให้ต้นทุน ความเสี่ยงน้อยที่สุด และการขนส่งที่ตรงต่อเวลา

Effat and Hassan (2013) [7] ได้ทำการออกแบบการประเมินการเลือกเส้นทางแถบคาบสมุทรไซนายประเทศอียิปต์ โดยใช้ (Analytical Hierarchy Process: AHP) เข้ามาเป็นส่วนช่วยในการให้น้ำหนักปัจจัยเพื่อหา

เส้นทางที่ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

Saaty, T.L., (1990) [8] ดัชนีความสอดคล้องของข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่าง ได้มาจากการสร้างเมทริกซ์ของการเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ ในทำนองเดียวกันจากชุดตัวเลข 1 ถึง 9 ด้วยการสร้างเมทริกซ์ในทำนองเดียวกันหลายๆ ชุดจึงเรียกว่า ดัชนีความสอดคล้องของข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่าง (R.I.) ซึ่งดัชนีนี้ถูกสร้างขึ้น โดย Oak Ridge Laboratory ค่าเฉลี่ย R.I.ที่ใช้กับจำนวนสมาชิกในการเปรียบเทียบความสำคัญ 1-10 จำนวน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

นำทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองมาประยุกต์ใช้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของเส้นทางการขนส่งสินค้าประเภทชิ้นส่วนและอะไหล่รถจักรยานยนต์จากประเทศไทยไปนครโฮจิมินห์ สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม เพื่อให้งานวิจัยดำเนินไปได้อย่างถูกต้องและบรรลุวัตถุประสงค์งานวิจัยในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกคัดเลือกการขนส่งสินค้าทางบกโดยรถยนต์มาทำการศึกษาวิจัยเท่านั้น เนื่องจากพบการขนส่งทางบกเป็นขนส่งที่มีการใช้ระยะเวลาสั้นมากและมีค่าใช้จ่ายไม่สูงเมื่อเทียบกับทางเรือและทางอากาศ อีกทั้งยังเป็นการวิเคราะห์เส้นทางโดยการเปรียบเทียบเส้นทางที่น่าสนใจหลายเส้นทาง

3.1.1 ศึกษาข้อมูลที่สำคัญและจำเป็นต่อการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาข้อมูลที่สำคัญและจำเป็นต่อการดำเนินงานวิจัยเป็นขั้นตอนเริ่มต้นที่เตรียมความพร้อมก่อนจะเริ่มทำงานวิจัย ข้อมูลของเส้นทางขนส่งสินค้าทางบกการขนส่งสินค้าโดยทางบก (รถยนต์) จากประเทศไทยไปนครโฮจิมินห์ สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม ทั้งหมด

3.1.2 ศึกษาและกำหนดเส้นทางขนส่งสินค้าทางบก

ศึกษาเส้นทางที่สำคัญเพื่อทำการกำหนดเส้นทางที่สนใจ จากประเทศไทยไปนครโฮจิมินห์ สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนามทั้งหมด 5 เส้นทาง ดังนี้

3.1.2.1 เส้นทางที่ 1 กรุงเทพ-สระแก้ว (ปอยเปต)-ศรีโสภณ-เสียมราฐ-กัมปงจาม-พนมเปณ-บ่าเวียต- ม็อกไบ-โฮจิมินห์ และมีระยะทางรวมทั้งหมด 1068.5 กิโลเมตร

3.1.2.2 เส้นทางที่ 2 กรุงเทพ- สระแก้ว (ปอยเปต)-ศรีโสภณ-พตะบอง-พนมเปญ-บ่าเวียต-ม็อกไบ-โฮจิมินห์ และมีระยะทางรวมทั้งหมด 945.2 กิโลเมตร

3.1.2.3 เส้นทางที่ 3กรุงเทพ-ตราด-เกาะกง-พนมเปญ-บ่าเวียต-ม็อกไบ-โฮจิมินห์ และมีระยะทางรวมทั้งหมด 1031.2 กิโลเมตร

3.1.2.4 เส้นทางที่ 4 กรุงเทพ-ตราด-เกาะกง-พนมเปญ-เกินเทอ-โฮจิมินห์ และมีระยะทางรวมทั้งหมด 1141 กิโลเมตร

3.1.2.5 เส้นทางที่ 5กรุงเทพ-ตราด-เกาะกง-สีหนุวิลล์-กัมโป้ท-เกียนอาง-เกินเทอ-โฮจิมินห์ และมีระยะทางรวมทั้งหมด 1136 กิโลเมตร

3.2 ออกแบบเส้นทางโดยการกำหนดตามเส้นทางที่เป็นไปได้

กำหนดเส้นทางการขนส่งเริ่มต้นเส้นทางที่กรุงเทพมหานคร และกำหนดปลายทางที่นครโฮจิมินห์ในสาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนามเป็นจุดเป้าหมาย โดยการกำหนดเส้นทางขนส่ง 5 เส้นทาง

3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่ง

ในการเลือกเส้นทางการขนส่งส่วนใหญ่ในจะเน้นการศึกษาที่ใช้เกณฑ์ต้นทุนในการขนส่งต่ำที่สุดหรือเวลาในการขนส่งต่ำที่สุด ซึ่งใช้ปัจจัยเชิงปริมาณเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ แต่การศึกษาของ (วรพจน์, 2552) ใช้ความเสี่ยงของเส้นทางการขนส่งเป็นปัจจัยเชิงคุณภาพมาช่วยในการตัดสินใจด้วย โดยเปลี่ยนแปลงจากต้นทุนค่าขนส่งเป็นงบประมาณในการขนส่งที่ผู้ตัดสินใจต้องการเวลากำหนดให้เป็นแบบตรงต่อเวลาที่สุดและไม่เกินเวลาที่ลูกค้ากำหนด และความความเสี่ยงซึ่งเป็นปัจจัยเชิงคุณภาพต่ำที่สุดแต่ไม่เกินระดับที่ผู้ตัดสินใจกำหนดไว้โดยระบบการตัดสินใจจะรวมกันเป็นระบบเดียว

3.3.1 ปัจจัยเชิงปริมาณ

ปัจจัยเชิงปริมาณสำหรับงานวิจัยนี้ หมายถึงงบประมาณในการขนส่งและเวลาที่ใช้ในการขนส่งของเส้นทางแต่ละเส้นทาง นำมาศึกษาต้นทุนและเวลาในการ

ขนส่งของเส้นทางในโครงข่ายที่กำหนดขึ้นมาดังที่กล่าวมาข้างต้น สำหรับการใช้ ต้นทุนและเวลาของแต่ละเส้นทางทำการวิเคราะห์ เนื่องจากทั้งสองค่ามีค่าที่สามารถคิดวิเคราะห์ ออกมาเป็นตัวเลขได้ทำให้ผู้วิจัยสามารถที่จะวิเคราะห์เปรียบเทียบได้อย่างชัดเจน

3.3.2 ปัจจัยเชิงคุณภาพ

ปัจจัยเชิงคุณภาพสำหรับงานวิจัยนี้ หมายถึงปัจจัยที่ส่งผลหรือส่งผลถึงความสำเร็จของการขนส่งสินค้าทางถนน ปัญหาหรืออุปสรรคระหว่างเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนมีหลายหลาก ซึ่งคือความเสี่ยงของการขนส่งสินค้าในเส้นทางนั้นมีความแตกต่างกันไป ทำให้ผู้วิจัยใช้การกำหนดค่าความเสี่ยงแบบองค์รวมมาทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงเพื่อสามารถที่จะเปลี่ยนปัจจัยเชิงคุณภาพออกมาเป็นตัวเลขให้ได้เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบให้ชัดเจน และสรุปได้ดียิ่งขึ้น

3.4 ระบบการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่ง

ระบบการตัดสินใจสร้างขึ้นมามีเพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนภายใต้เกณฑ์ตัดสินใจเชิงปริมาณ คือ ต้นทุนในการขนส่งและเวลาที่ใช้ในการขนส่ง และปัจจัยเชิงคุณภาพ คือ ความเสี่ยงของเส้นทาง โดยองค์ประกอบระบบการตัดสินใจนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 คือ ส่วนของฐานข้อมูลของระบบการตัดสินใจ ซึ่งจะประกอบไปด้วย ข้อมูลของปัจจัยเชิงปริมาณ คือ ต้นทุนและเวลาในการขนส่งแต่ละเส้นทาง และปัจจัยเชิงคุณภาพ คือ ความเสี่ยงของเส้นทางการขนส่งแต่ละเส้นทาง

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของการกำหนดความสำคัญของปัจจัยเชิงปริมาณและปัจจัยเชิงคุณภาพ ผู้ตัดสินใจสามารถกำหนดน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ในการตัดสินใจแต่ละปัจจัยได้ตามสถานการณ์ และความพึงพอใจของผู้ตัดสินใจโดยใช้การเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ ตามขั้นตอนวิธีของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) เป็นเครื่องมือที่นำมาปรับใช้

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่ใช้ในการคำนวณหาเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนที่เหมาะสมกับข้อจำกัดของปัจจัยเชิงปริมาณ และปัจจัยเชิงคุณภาพ

4. ผลของการวิจัย

4.1 การรวบรวมข้อมูลของเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน

รวบรวมข้อมูลของเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนระหว่างประเทศไทยไปนครโฮจิมินห์ สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม ผู้วิจัยได้ทำการค้นหาเส้นทางทางบกที่สามารถขนส่งสินค้า ได้ทั้งหมด 5 เส้นทาง โดยผู้วิจัยได้แบ่งการรวบรวมข้อมูลออกเป็น 2 ด้าน คือ ข้อมูลเชิงปริมาณของเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน ได้แก่ ต้นทุนในการขนส่งสินค้าและเวลาในการขนส่งสินค้าและข้อมูลเชิงคุณภาพของเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน ในที่นี้หมายถึง ระดับความน่าจะเป็นและระดับความรุนแรงของความเสี่ยงต่อเส้นทางการขนส่งสินค้า

4.1.1 ข้อมูลเชิงปริมาณของเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน

ผู้วิจัยทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณต้นทุนการขนส่งสินค้าและเวลาในการขนส่งสินค้าสำหรับเส้นทางภายในประเทศจาก 4 แหล่งข้อมูลเชิงปริมาณสามารถนำมาประกอบกับงานวิจัยนี้ได้แสดงในตารางที่ 4-1 แสดงข้อมูลเชิงปริมาณของเส้นทางการขนส่งสินค้าทางบกระหว่างไทย-โฮจิมินห์

4.1.2 ข้อมูลเชิงคุณภาพของเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน

ผู้วิจัยทำการรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพคือ ระดับความน่าจะเป็นและระดับความรุนแรงของความเสี่ยงต่อเส้นทางการขนส่งสินค้า ผลที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญประเมินระดับความน่าจะเป็นและระดับความรุนแรงของความเสี่ยงต่อเส้นทางการขนส่งสินค้าช่วงการขนส่งภายในประเทศ

4.2 การให้น้ำหนักความสำคัญปัจจัยและการประยุกต์ใช้โปรแกรม Expert Choice เลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า

การให้น้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของปัจจัยในประกอบการตัดสินใจเลือกเส้นทาง ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์เปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยเป็นคู่ๆ จากผู้เชี่ยวชาญจาก 3 หน่วยงาน ได้แก่

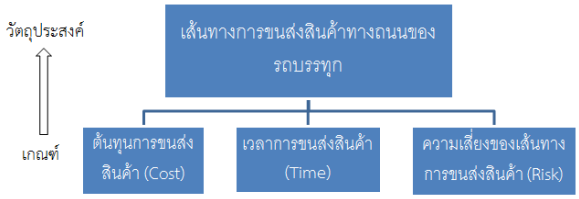
ผู้เชี่ยวชาญในมุมมองผู้ผลิตสินค้าชิ้นส่วนอะไหล่รถจักรยานยนต์ ผู้เชี่ยวชาญในมุมมองของผู้ขนส่งสินค้าทางถนน และผู้เชี่ยวชาญตัวแทนจากหน่วยงานภาครัฐ อธิบายดังนี้

4.2.1) ผู้เชี่ยวชาญในมุมมองผู้ผลิตสินค้าชิ้นส่วนอะไหล่รถจักรยานยนต์

4.2.2) ผู้เชี่ยวชาญในมุมมองของผู้ขนส่งสินค้าทางถนน

4.2.3) ผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานภาครัฐ

จากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวมา ผู้วิจัยได้นำโปรแกรมมาประกอบการสัมภาษณ์การเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยจากผู้เชี่ยวชาญมากระทำตามแนวทางของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Expert Choice 11 ในการคำนวณ เพื่อนำมาให้ได้น้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ ของปัจจัยที่ใช้นการตัดสินใจ ในรูปที่ 1 จุดเด่นของ AHP คือน้ำหนักความสำคัญที่ได้จากการเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ (Pairwise Comparison) ของ AHP สามารถยืนยันความสอดคล้องของการเปรียบเทียบความสำคัญ โดยอัตราส่วนความไม่สอดคล้องกัน (Inconsistency Ratio) ซึ่งถูกกำหนดว่าควรน้อยกว่า 0.1, Saaty (1980) เพราะฉะนั้นผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ผู้ตัดสินใจมีความมั่นใจในน้ำหนักความสำคัญที่ได้จากเครื่องมือนี้



รูปที่ 1 โครงสร้างลำดับชั้นการให้น้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ

4.2.4) โปรแกรม Expert Choice

โปรแกรม Expert Choice มีลักษณะการทำงานแบบแขนงการตัดสินใจแต่วางตัวอยู่ในลักษณะ Hierarchical กล่าวคือ เรียงลำดับความสำคัญลงมา จึงมักนิยมเรียกวิธีการของ E.C. ว่า Analytical Hierarch Approach ; AHP ซึ่งมีขั้นตอนสำคัญเรียงลำดับกันดังนี้

ขั้นที่ 1 เป็นการระบุปัญหา และกำหนดวัตถุประสงค์ (Identification Problem and setting objectives)

ขั้นที่ 2 เป็นการกำหนดเกณฑ์ต่างๆที่จะใช้เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์นั้น (Determination of Criteria)

ขั้นที่ 3 เป็นการกำหนดทางเลือกต่างๆ เพื่อให้ระบบช่วยตัดสินใจเลือกให้ (Determination of Alternatives) จากนั้นโปรแกรมจะ Implement ให้ได้คำตอบในเบื้องต้น ถ้าเราต้องการปรับสัดส่วน ต่างๆ ของเกณฑ์ที่กำหนดก็จะสามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างคล่องตัว จึงเป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นสูงและใช้งานง่ายมากในปัจจุบัน

การนำข้อมูลการจัดลำดับความสำคัญปัจจัยของผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ผลิตสินค้าชิ้นส่วนอะไหล่รถจักนยานยนต์ ผู้ขนส่งสินค้าชิ้นส่วนอะไหล่รถจักนยานยนต์ และตัวแทนจากหน่วยงานภาครัฐ จากข้อมูลทั้งหมดจะถูกเฉลี่ยออกมาเป็นน้ำหนักความสำคัญค่าเดียว โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในโปรแกรม Expert choice 11 โดยจะสร้างตารางเมทริกซ์ของค่าเฉลี่ยเลขคณิตเพื่อหาค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเฉลี่ยของปัจจัย

4.3 เลือกเส้นทางขนส่งสินค้าที่เหมาะสม

ผลจากการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนของระบบการตัดสินใจสามารถแปลผลกลับเพื่อหาปริมาณของปัจจัยต้นทุนการขนส่งสินค้า เวลาในการขนส่งสินค้าและความเสี่ยงของเส้นทางในการขนส่งสินค้าทางถนน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณของปัจจัยสำหรับเส้นทางการขนส่งที่ถูกเลือกจากระบบการตัดสินใจ

เส้นทาง	ปริมาณของปัจจัย		
	ต้นทุน (บาท)	เวลา (ชั่วโมง)	ความเสี่ยง (น้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ)
เส้นทางที่ 1	25,688.76	15.06	33.30
เส้นทางที่ 2	24,936.36	15.00	33.30
เส้นทางที่ 3	22,268.76	14.43	17.00
เส้นทางที่ 4	26,014.80	15.05	8.10
เส้นทางที่ 5	25,900.80	16.56	8.10

5. สรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลงานวิจัยการออกแบบระบบการตัดสินใจเลือกเส้นทางที่เหมาะสมต่อการขนส่งสินค้าทางถนนโดย

รถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 20 ฟุต จากประเทศไทยไปนครโฮจิมินห์ สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม คือ เส้นทางขนส่งสินค้า เส้นทางที่ผู้วิจัยกำหนดเส้นที่ 3 เริ่มต้นที่กรุงเทพมหานคร ไปตามถนนหมายเลข 36 ผ่านอำเภอแกลง จังหวัดระยอง ไปทางเทศตะวันออกผ่านจังหวัดจันทบุรี จังหวัดตราด ข้ามจุดผ่านแดนถาวรที่บ้านหาดเล็ก-จามเยียม เข้าสู่กัมพูชา จากนั้นตรงไปทิศตะวันออกเฉียงใต้ผ่านจังหวัดเกาะกง จากนั้นมุ่งไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือผ่านกรุงพนมเปญ จากนั้นไปทางทิศตะวันออกผ่านจังหวัดสวายเรียง ออกไปที่จุดผ่านแดนบ่าเวียต-ม็อกไบ เข้าสู่สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม จากนั้นตรงไปทางทิศตะวันออกมุ่งตรงเข้าสู่นครโฮจิมินห์ โดยเส้นทางนี้ที่มีต้นทุนการขนส่งสินค้าเท่ากับ 22,268.76 บาท เวลาในการขนส่งสินค้า 14.43 ชั่วโมง และความเสี่ยงของเส้นทางการขนส่งสินค้าเท่ากับร้อยละ 17.00 เส้นทางการขนส่งสินค้าเป็นผลสรุปจากระบบการตัดสินใจการเลือกเส้นทางการขนส่งทางถนน ภายใต้ปัจจัยรวมทางด้านต้นทุน เวลาและความเสี่ยงของเส้นทางในการขนส่งที่ต่ำที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่าปัญหาและอุปสรรคที่สำคัญที่ทำให้การวิจัยล่าช้า คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่สำคัญสำหรับงานวิจัยนี้ เช่น ต้นทุนในการขนส่ง ต้นทุนในการดำเนินงาน ข้อมูลทางสถิติเกี่ยวกับอุบัติเหตุหรือความเสียหายที่เกิดขึ้นในระหว่างการขนส่งที่จะใช้เป็นข้อมูลในเชิงคุณภาพ นอกจากนี้การหาต้นทุนในการขนส่งแต่ละเส้นทางนั้นไม่สามารถสร้างรูปแบบโดยรวมได้ เนื่องจากแต่ละประเทศต่างมีวิธีการคิดต้นทุนที่ต่างกัน และต้นทุนในการขนส่งสินค้านั้นขึ้นกับความพอใจของผู้ประกอบการที่เป็นผู้กำหนด อีกทั้งข้อมูลบางประเภทไม่เป็นแบบปัจจุบัน ทำให้การวิเคราะห์ผลที่ได้อาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้จึงควรมีการรวบรวมข้อมูลที่เป็นปัจจุบันที่สุดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์คำนวนหาเส้นทาง

เอกสารอ้างอิง

[1] ธนิต โสรัตน์, การประยุกต์ใช้โลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, ประชุมทอง พริ้นติ้ง กรุ๊ป จำกัด, กรุงเทพมหานคร, 2550.

[2] วรพจน์ มีถม และ อรรถกร เก่งพล, การออกแบบระบบการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ: กรณีศึกษาไทยกับเวียดนาม, การประชุมเสนอวิจัยผลงาน ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 14 กรุงเทพมหานคร, 2552

[3] Kengpol, A., Design of decision support system to evaluation logistics distribution network in Greatest Mekong Sub region Countries. International Journal of Production Economic, 2008.

[4] ทิชาลักษณ์ และ คณะ, the development of an optimal safe path for trip planning, 2554.

[5] เกรียงศักดิ์ และ ณกร, A multi-objective reliable path finding with temporal-correlated link travel times, 2556.

[6] Banomyong, R., and Beresford, K.C.A., Multimodal transport: the case of Laotian garment exporters, Faculty, http://www.emerald-library.com/ft, 2001.

[7] Effat and Hassan, Designing and evaluation of three alternatives highway routes using the Analytical Hierarchy Process and the least - cost path analysis, application in Sinai Peninsula, Egypt, 2013.

[8] Saaty, T.L., Decision Marking: The Analytic Hierarchy Process. RWS Publications, Pittsburgh, USA., 1990.

กลุ่มที่ 3

Work Study, Ergonomics and Design Engineering

การศึกษาการเกิดอุบัติเหตุจากการลื่นหกล้มในผู้สูงอายุ ใน จังหวัดนครปฐม

A study of accident occurrence from fall in The Elderly in Nakhon Pathom

นพคุณ ทิวาพัฒน์ นันท์นภัส สุขแก้ว จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ. นครปฐม 73000 E-mail: j_pen2000@hotmail.com*

Noppakun Tiwapat, Nannaphat Suk-keaw, Janpen Anurattananon*
Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Muang, Nakornpathom, 73000, E-mail: j_pen2000@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ภาวะที่ผู้สูงอายุหกล้ม เป็นสิ่งที่ลูกหลานหรือผู้ที่ใกล้ชิดไม่อยากให้เกิดขึ้นแต่ปัญหาเหล่านี้ก็อาจเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ที่มีอายุมากกว่า 60 ปีขึ้นไป และสุขภาพไม่ค่อยแข็งแรง การศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ ในจังหวัดนครปฐม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุและเพื่อหาแนวทางการป้องกันการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ ศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุในจังหวัดนครปฐม จำนวน 398 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถามและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS จากการศึกษาพบว่า (1) ผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีโรคประจำตัว มีอาการปวดตามไขข้อกระดูก มีอาการนอนไม่เพียงพอ/นอนไม่หลับ เครียด เคยได้รับหรือกำลังรับประทานยาเกี่ยวกับความดัน มีพฤติกรรมการสวมรองเท้าที่ไม่พอดีเท้า หรือรองเท้าที่ไม่มีดอกยางและใช้โถส้วมแบบนั่งยอง (2) เพศหญิงเป็นเพศที่มีสถิติการหกล้มมากกว่า เพศชาย โดยเพศหญิงที่มีสถิติการหกล้มมากที่สุดอยู่ในช่วงอายุ 60 – 65 ปีจำนวน 22 คนคิดเป็นร้อยละ 26.19 (3) ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้สูงอายุในด้านเพศมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นกับปัจจัย การมีอาการซึมเศร้า การสวมใส่เสื้อผ้ารุ่มร่าม วางสิ่งของไม่เป็นระเบียบ (4) ข้อมูลส่วนบุคคลในด้านอายุมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นกับปัจจัย ทางสถานภาพ เขตที่อยู่อาศัย ตาเป็นต้อกระจก ตาเป็นต้อหิน ตาฝ้า ขุ่นขาว การเดินผิดปกติ ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยเดินหรือรถเข็น การมีอาการหลง ลืม ความจำเสื่อม การดื่มสุรา บันไดชำรุด ไม่มีราวบันได การใช้โถส้วมแบบนั่งยอง (5) ข้อมูลส่วนบุคคลในด้านสภานภาพมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นกับปัจจัยการได้รับยาเกี่ยวกับโรคอื่นๆ (6)ข้อมูลส่วนบุคคลด้านเขตที่อยู่อาศัยที่ความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นกับด้วยปัจจัย อาการหลง ลืม ความจำเสื่อม การดื่มสุรา บันไดชำรุด ไม่มีราวบันได การใช้โถส้วมแบบนั่งยอง

คำหลัก อุบัติเหตุ ผู้สูงอายุ หกล้ม

Abstract

The elderly falls are descendants or those close did not want to happen, but these problems can occur at any time. Especially in those older than 60 years and health was strong. Therefore, this study aimed to identify factors affecting the fall of the elderly. In Nakhon Pathom to determine the relationship between the factors that affect the fall of the elderly and to find ways to prevent slipping of the elderly. Study of a representative sample of the elderly in Nakhon Pathom Province were 398 used in the study

was a questionnaire and statistical analysis is used to program SPSS. The study found that (1) Most seniors are diseases, Rheumatic pain, Sleepless, Been eating and eating drug pressure, Shoe Does not Fit and use a squatting toilet . (2) Female gender, the statistics of falls than males by females recorded a fall the most in the age range 60-65 years 22 persons or 26.19 percent. (3) Personal data of the elderly regarding gender relations in Fig. linear factors The Depression, wearing togas, placing disorder. (4) The age of personal data in relation to the form of linear factors. The status, residential area, eye cataracts, glaucoma eye is milky white translucent eyes, gait abnormalities. Need to use a walker or wheelchair, and have long forgotten memory loss, binge Stepladder worn no railing, use toilet squatting (5)Personal information in the Council 's images are correlated in Fig. linear factors to get a drug on other diseases. (6) Personal information in a residential area in a linear relationship with symptomatic factors amnesia struck me drinking damaged stairs without railing. Using a squat toilet

Keywords: Accident, Elderly, Fall

1. บทนำ

ภาวะที่ผู้สูงอายุหกล้ม และเกิดอันตราย เป็นสิ่งที่ลูกหลานหรือผู้ที่ใกล้ชิดที่ดูแลไม่อยากให้เกิด แต่ปัญหาเหล่านี้ก็เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ที่มีอายุมากกว่า 60 ปีขึ้นไป และสุขภาพไม่ค่อยแข็งแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้หญิง การหกล้มที่ก่อให้เกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตเลยทันทีมีน้อย แต่พบว่ามีมากกว่าร้อยละ 50 ที่ป่วยและเสียชีวิตภายหลังจากการหกล้มนายแพทย์ณรงค์ สหเมธาพัฒน์ ปลัดกระทรวงสาธารณสุข เปิดเผยว่า ในวันที่ 13 เมษายน ทุกปี เป็นวันผู้สูงอายุแห่งชาติ กระทรวงสาธารณสุขมีความเป็นห่วงสุขภาพของผู้สูงอายุ ซึ่งเป็นกลุ่มที่จะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะปัญหาการหกล้มซึ่งเป็นสาเหตุของการบาดเจ็บในผู้สูงอายุที่พบบ่อย และอาจเป็นการบาดเจ็บรุนแรงและเสียชีวิต จากการศึกษาในต่างประเทศเช่น สหรัฐอเมริกา พบว่าการเสียชีวิตที่เกิดจากการบาดเจ็บในผู้สูงอายุที่มีอายุมากกว่า 75 ปีขึ้นไปร้อยละ 70 มีสาเหตุจากการหกล้ม และยังพบว่าร้อยละ 90 ของปัญหากระดูกสะโพกหักในผู้สูงอายุที่มีอายุมากกว่า 70 ปีเป็นผลจากการหกล้มเช่นกัน ดังนั้นการหกล้มในผู้สูงอายุจึงเป็นปัญหาทางสุขภาพที่มีความสำคัญที่ต้องมีมาตรการป้องกันอย่างชัดเจน ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ทำให้เกิดการลื่นหกล้มเพื่อนำผลที่ศึกษาได้มาหาแนวโน้มความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น และหาแนวทางการป้องกันการลื่นหกล้มในผู้สูงอายุเป็นข้อมูลในการให้ความรู้ ให้ผู้สูงอายุและผู้ดูแลให้มีความรู้ความเข้าใจและมีพฤติกรรมในการป้องกันการลื่นหกล้มเพิ่มมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ ในจังหวัดนครปฐม

2.เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

3.เพื่อแนวทางการป้องกันการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ

3.วิธีการวิจัย

1.กำหนดขอบเขตการศึกษา โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ได้แก่ ผู้สูงอายุในชุมชนในจังหวัดนครปฐม จำนวน 398 คน ซึ่งได้มาจากการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้สูตรของยามาเน่

2.วิธีการศึกษาที่นำมาใช้ในครั้งนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 คือ การวิจัยเชิงเอกสารและการวิจัยเชิงสำรวจ

3.เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถามผู้สูงอายุ ในจังหวัดนครปฐม ในการดำเนินงานสำรวจและเก็บข้อมูล

4.การทดสอบแบบสอบถาม ทำการทดสอบก่อนนำไปใช้สอบถามกับกลุ่มประชากรที่ทำการวิจัย [1]

5.ศึกษากลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง [2]

6.การเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งแบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ

7.การประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

(Statistical Package for the Social Sciences) [3]

4.ผลการวิจัย

ผลการรวบรวมข้อมูลที่ได้รับจากการทำแบบสอบถาม จากกลุ่มประชากรตัวอย่าง จำนวน 398 คน

4.1ผลการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้สูงอายุ สรุปได้ดังต่อไปนี้ ผลการศึกษาลักษณะส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 398 คน พบว่าในด้านของเพศเป็นเพศชาย คิดเป็น ร้อยละ 46.5 และ เพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 53.5 มีในด้านอายุ คืออายุ 60 – 65 ปีคิดเป็นร้อยละ 26.1 รองลงมา อายุ 71 – 75 ปี คิดเป็น ร้อยละ 20.1 อายุ 66 – 70 ปี คิดเป็นร้อยละ 18.1 อายุ 81 - 85 ปี คิดเป็น ร้อยละ 14.1 และ อายุ 86 ปีขึ้นไปคิดเป็น ร้อยละ 4.8 ในด้านสถานภาพ พบว่า สถานภาพการสมรสคิดเป็น ร้อยละ 61.6 สถานภาพหม้าย คิดเป็นร้อยละ 24.6 สถานภาพหย่าร้าง/แยกร้อยละ 8.0 และสถานภาพโสดคิดเป็นร้อยละ 5.8 และจากผู้สูงอายุในกลุ่มตัวอย่างอยู่ในเขตอำเภอเมืองนครปฐมคิดเป็น ร้อยละ 53.0 และนอกเขตอำเภอเมืองนครปฐมคิดเป็นร้อยละ 47.0

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนและร้อยละ ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้สูงอายุ

ลักษณะส่วนบุคคล		จำนวน	ร้อยละ
เพศ	ชาย	185	46.5
	หญิง	213	53.5
	รวม	398	100.0
อายุ	60 – 65 ปี	104	26.1
	66 – 70 ปี	72	18.1
	71 – 75 ปี	80	20.1
	76 – 80 ปี	67	16.8
	81 – 85 ปี	56	14.1
	86 ปีขึ้นไป	19	4.8
	รวม	398	100.0
สถานภาพ	สมรส	245	61.6
	โสด	23	5.8
	หม้าย	98	24.6
	หย่าร้าง/แยก	32	8.0
	รวม	398	100
เขตที่อยู่อาศัย	อำเภอเมือง	211	53.0
	นอกอำเภอ	187	47.0
	รวม	398	100.0

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับประวัติสุขภาพ กระบวนการชรา ปัจจัยทางสุขภาพจิต ประวัติการใช้ยา ปัจจัยทางพฤติกรรมที่เป็นอันตราย ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตราย ผลการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับประวัติสุขภาพจากข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 398 คนพบว่าด้านประวัติสุขภาพของผู้สูงอายุส่วนใหญ่แล้วพบว่าเป็นผู้สูงอายุที่มีโรคประจำตัวคิดเป็นร้อยละ 61.1 ไม่มีโรคประจำตัวเป็นร้อยละ 38.9 ผู้สูงอายุที่เคยหกล้มมาก่อนคิดเป็นร้อยละ 41.0 ไม่เคยหกล้มมาก่อน คิดเป็นร้อยละ 59.0 และผู้สูงอายุมีประวัติเป็นล้มหน้ามืดคิดเป็นร้อยละ 36.9 ไม่มีประวัติเป็นล้มหน้า คิดเป็นร้อยละ 63.1 ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยทางด้านกระบวนการชราของผู้สูงอายุ พบว่าผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีอาการปวดตามไขข้อกระดูกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 62.8 มีอาการตาเป็นต้อกระจก/ตาเป็นต้อหิน/ตาฝ้า ขุ่นขาวคิดเป็นร้อยละ 40.5 มีอาการหลง ลืมความจำเสื่อมคิดเป็นร้อยละ 39.7 มีอาการเดินผิดปกติต้องใช้อุปกรณ์ช่วยเดินหรือรถเข็นคิดเป็นร้อยละ 25.9 มีปัญหาการลุกนั่งหรือลุกนั่งลำบากต้องมีคนช่วยพยุงคิดเป็นร้อยละ 21.6 ไม่สามารถดำเนินชีวิตประจำวันปกติได้ด้วยตัวเอง คิดเป็นร้อยละ 3.5 และมีผู้สูงอายุที่ยังไม่มีกระบวนการชราคิดเป็นร้อยล่ะ 6.5 ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยทางสุขภาพจิตของผู้สูงอายุพบว่าผู้สูงอายุส่วนใหญ่ นอนไม่เพียงพอ / นอนไม่หลับ เครียด คิดเป็นร้อยละ 39.7 รองลงมาคือผู้สูงอายุมีอาการซึมเศร้า วิตกกังวลเป็นร้อยละ 28.9 มีอาการหวาดกลัวการหกล้มซ้ำ ในกรณีที่เคยหกล้มคิดเป็นร้อยละ 20.6 ผู้สูงอายุรู้สึกด้อยค่าคิดเป็นร้อยละ 11.8 และผู้สูงอายุที่ไม่มีปัจจัยทางสุขภาพจิตคิดเป็นร้อยละ 26.9 ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยทางการใช้ยาของผู้สูงอายุ พบว่าผู้สูงอายุส่วนใหญ่เคยได้รับหรือกำลังรับประทานยาเกี่ยวกับความดันจำนวน คิดเป็นร้อยละ 43.2 เคยได้รับหรือกำลังรับประทานยาเกี่ยวกับโรคเบาหวาน เช่น ยาลดไขมัน ยาลดน้ำตาล คิดเป็นร้อยละ 42.7 เคยได้รับหรือกำลังรับประทานยากล่อมประสาท ระงับประสาท คิดเป็นร้อยละ 16.6 และผู้สูงอายุไม่มีประวัติทางการใช้ยาเป็นร้อยละ 15.8 ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยพฤติกรรมที่เป็นอันตรายของผู้สูงอายุ พบว่าผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการสวมรองเท้าที่ไม่พอดีเท้า หรือรองเท้าที่ไม่มีดอกยางคิดเป็นร้อยละ 41.0 มีพฤติกรรมการดื่มสุรา คิดเป็นร้อยละ 36.4 มีพฤติกรรม

การสวมใส่เสื้อผ้ารุ่มร่ามคิดเป็นร้อยละ 32.2 และผู้สูงอายุที่ไม่มีปัจจัยพฤติกรรมที่เป็นอันตราย คิดเป็นร้อยละ 19.3 ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตรายของผู้สูงอายุ พบว่าผู้สูงอายุส่วนใหญ่ใช้โถส้วมแบบนั่งยองคิดเป็นร้อยละ 43.2 รองลงมาคือวางสิ่งของเครื่องใช้ไม่เป็นระเบียบคิดเป็นร้อยละ 37.9 พื้นบ้านชำรุด พื้นต่างระดับ พื้นบ้านลื่น คิดเป็นร้อยละ 36.9 บริเวณบ้านแสงสว่างไม่เพียงพอ คิดเป็นร้อยละ 28.9 พื้นที่รอบบริเวณบ้านเป็นหลุมเป็นบ่อ คิดเป็นร้อยละ 28.4 บันไดชำรุด ไม่มีราวบันไดคิดเป็นร้อยละ 22.4 และผู้สูงอายุที่ไม่มีปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตรายคิดเป็นร้อยละ 7.8

4.3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับสาเหตุการลื่นหกล้ม ผลการศึกษา ความคิดเห็นเกี่ยวกับสาเหตุการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุในภาพรวม พบว่า มีความคิดเห็นอยู่ในระดับมากมีค่าเฉลี่ย 3.69 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.92 มีความคิดเห็นอยู่ในระดับมากถึง 5 สาเหตุ ได้แก่ สาเหตุที่เกิดจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตรายมี, สาเหตุที่เกิดจากปัจจัยทางกระบวนการชรา, สาเหตุที่เกิดจากปัจจัยพฤติกรรมที่เป็นอันตรายมี, สาเหตุที่เกิดจากปัจจัยทางสุขภาพมี, สาเหตุที่เกิดจากปัจจัยทางสุขภาพจิต และระดับปานกลาง จำนวน 1 สาเหตุได้แก่ สาเหตุที่เกิดจากปัจจัยทางการใช้ยา ด้านสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยทางสุขภาพ พบว่า มีความคิดเห็นในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 3.76 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.03 ในรายด้าน พบว่า มีความคิดเห็นในระดับมากทั้ง 3 ด้าน โดยสูงสุดคือ มีโรคประจำตัว รองลงมาคือเคยหน้ามืด และเคยหกล้ม ด้านสาเหตุที่เกิดจากกระบวนการชรา พบว่า มีความคิดเห็นในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.01 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.84 ในแต่ละด้าน พบว่ามีความคิดเห็นในระดับมากทั้ง 3 ด้าน โดยสูงสุดคือ มีปัญหาทางสายตา รองลงมาคือปวดตามไขข้อ กระดูก และไม่สามารถลุกนั่งเองได้มีค่าเฉลี่ย 3.81 ด้านสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยทางสุขภาพจิต พบว่า มีความคิดเห็นในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 3.72 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.93 ในรายด้านพบว่ามีความคิดเห็นในระดับมากทั้ง 3 ด้าน โดยสูงสุดคือ นอนไม่เพียงพอ รองลงมาคือมีอาการซึมเศร้า และมีอาการหวาดกลัวการหกล้มซ้ำ ด้านสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยทางการใช้ยา พบว่า มีความคิดเห็นในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ย 2.58 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.07 ในรายด้าน พบว่ามีความคิดเห็นในระดับปานกลาง 2 ด้าน โดยสูงสุดคือ การได้รับยาเกี่ยวกับโรคเบาหวาน รองลงมาคือการได้รับยาเกี่ยวกับความดัน และมีความคิดเห็นในระดับน้อยคือการได้รับยาระงับประสาท ด้านสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยพฤติกรรมที่เป็นอันตราย พบว่า มีความคิดเห็นในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.01 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.90 ในรายด้าน พบว่ามีความคิดเห็นในระดับมากทั้ง 3 ด้าน โดยสูงสุดคือ การสวมรองเท้าไม่พอดีเท้า หรือไม่มีดอกยาง รองลงมาคือการดื่ม และการสวมเสื้อผ้ารุ่มร่าม ด้านสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตราย พบว่า มีความคิดเห็นในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.05 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.78 ในรายด้าน พบว่ามีความคิดเห็นในระดับมากทั้ง 3 ด้าน โดยสูงสุดคือ ห้องน้ำลื่น หรือโถส้วมแบบนั่งยอง รองลงมาคือภายในบ้านมีสิ่งของวางไม่เป็นระเบียบ และบริเวณรอบบ้านเป็นหลุมเป็นบ่อ

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความคิดเห็นเกี่ยวกับสาเหตุการลื่นหกล้ม ในภาพรวม

ความคิดเห็นเกี่ยวกับสาเหตุการลื่นหกล้ม	$\bar{x}$	SD.	แปลค่า	อันดับ
ปัจจัยทางสุขภาพ	3.76	1.03	มาก	4
ปัจจัยทางกระบวนการชรา	4.01	0.84	มาก	2
ปัจจัยทางสุขภาพจิต	3.72	0.93	มาก	5
ปัจจัยทางการใช้ยา	2.58	1.07	ปานกลาง	6
ปัจจัยพฤติกรรมที่เป็นอันตราย	4.01	0.90	มาก	2
ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตราย	4.05	0.76	มาก	1
ภาพรวม	**3.69**	**0.92**	**มาก**	

4.4 ความคิดเห็นต่อการป้องกันการลื่นหกล้ม ผลการศึกษา ความคิดเห็นต่อการป้องกันการลื่นหกล้ม ในภาพรวม พบว่า มีความคิดเห็นในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.09 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.80 ในรายด้าน พบว่า มีความคิดเห็นในระดับมากทั้งหมดคือทั้ง 16 ด้าน โดยสูงสุด คือ การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มกล้ามเนื้อ รองลงมาคือ การให้ความช่วยเหลือผู้ที่มีปัญหาทางสายตา ,การดูแลอย่างใกล้ชิด ในกรณีที่ผู้สูงมีสภาวะทางจิต ,การสวมรองเท้าที่พอดีเท้า มีดอกยาง , การสวมเสื้อผ้าขนาดพอดีไม่, การจัดเก็บสิ่งของให้เป็นระเบียบ ไม่วางสายไฟเกะกะ , การดูแลพื้นห้องและห้องน้ำให้สะอาดและแห้งอยู่เสมอ , การใช้โถส้วมแบบชักโครก , การจัดให้มีแสงสว่าง

เพียงพอ , การห้ามไม่ให้ผู้สูงอายุดื่มสุรา, การปรับปรุงพื้นบริเวณรอบบ้านให้เรียบสม่ำเสมอ , การซ่อมแซมบันไดให้มีความมั่นคงแข็งแรง มีราวจับ, การเปิดอบรมญาติหรือผู้ที่ดูแลใกล้ชิดผู้สูงอายุ , การป้องกันผลข้างเคียงจากการใช้ยา ,การเคลื่อนไหวร่างกาย ควรเคลื่อนไหวช้าๆ เดินช้าๆ , และการหลีกเลี่ยงการแหงนหน้า เพราะจะเกิดอาการหน้ามืดได้ง่าย การเหลียวซ้ายแลขวาต้องทำช้ำ

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความคิดเห็นต่อการป้องกันการลื่นหกล้ม

ความคิดเห็นต่อการป้องกันการลื่นหกล้ม	$\bar{x}$	SD.	แปลค่า
การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มกล้ามเนื้อ	4.29	0.78	มาก
การป้องกันผลข้างเคียงจากการใช้ยา	3.95	0.85	มาก
การให้ความช่วยเหลือผู้ที่มีปัญหาทางสายตา	4.27	0.80	มาก
การใช้โถส้วมแบบชักโครก	4.13	0.80	มาก
การจัดเก็บสิ่งของให้เป็นระเบียบ	4.16	0.16	มาก
การจัดให้มีแสงสว่างเพียงพอ	4.12	0.80	มาก
การซ่อมแซมบันไดให้มีความมั่นคงแข็งแรง มีราวจับ	4.06	0.82	มาก
การปรับปรุงพื้นบริเวณรอบบ้านให้เรียบสม่ำเสมอ	4.07	0.81	มาก
การห้ามไม่ให้ผู้สูงอายุดื่มสุรา	4.11	0.85	มาก
การสวมรองเท้าที่พอดีเท้า มีดอกยาง	4.20	0.79	มาก
การสวมเสื้อผ้าขนาดพอดี ไม่รุ่มร่าม	4.18	0.82	มาก
การดูแลพื้นห้องและห้องน้ำให้สะอาดและแห้งอยู่เสมอ	4.13	0.79	มาก
การเคลื่อนไหวร่างกาย ควรเคลื่อนไหวช้าๆ เดินช้าๆ	3.83	0.91	มาก
การหลีกเลี่ยงการแหงนหน้า เพราะจะเกิดอาการหน้ามืดได้ง่าย	3.73	0.92	มาก
การเหลียวซ้ายแลขวาต้องทำช้า			
การดูแลอย่างใกล้ชิด ในกรณีที่ผู้สูงมีสภาวะทางจิต	4.22	0.83	มาก
การเปิดอบรมญาติหรือผู้ที่ดูแลใกล้ชิดผู้สูงอายุ	4.01	1.12	มาก
ภาพรวม	**4.09**	**0.80**	**มาก**

4.5 เปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละระดับความคิดเห็นของปัจจัยการลื่นหกล้ม จำแนกตามอายุ โดย การทดสอบโดยวิธีการหาจาก One-Way ANOVA

H0 = กลุ่มอายุต่างๆมีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับสาเหตุการลื่นหกล้มในแต่ละปัจจัย ไม่แตกต่างกัน

H1 = กลุ่มอายุต่างๆมีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับสาเหตุการลื่นหกล้มในแต่ละปัจจัย แตกต่างกัน

สรุปผลการทดสอบโดยวิธีการ One – Way ANOVA จะได้ว่า ระดับความคิดเห็นของสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยทางสุขภาพพบว่ากลุ่มอายุต่างๆมีระดับความคิดเห็นที่แตกต่างกันมีส่วนของการมีโรคประจำตัว,ประวัติการลื่นหกล้มและประวัติการเป็นลมหน้ามืด ระดับความคิดเห็นของสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยกระบวนการชรา พบว่ากลุ่มอายุต่างๆมีระดับความคิดเห็นไม่แตกต่างกันคือการมีปัญหาทางสายตา และ กลุ่มอายุต่างๆมีระดับความคิดเห็นแตกต่างกันได้แก่การไม่สามารถลุกนั่งเองได้และการปวดตามไขข้อ กระดูก ระดับความคิดเห็นของสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยทางสุขภาพจิต พบว่า กลุ่มอายุต่างๆมีระดับความคิดเห็นแตกต่างกันได้แก่การมีอาการซึมเศร้าและการหวาดกลัวการหกล้มซ้ำ ส่วนกลุ่มอายุต่างๆมีระดับความคิดเห็นไม่แตกต่างกันคือการนอนไม่เพียงพอ ระดับความคิดเห็นของสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยทางการใช้ยา พบว่า กลุ่มอายุต่างๆมีระดับความคิดเห็นแตกต่างกันคือการได้รับยาเกี่ยวกับความดัน และ กลุ่มอายุต่างๆมีระดับความคิดเห็นไม่แตกต่างกัน ได้แก่การได้รับยาระงับประสาทกับการได้รับยาเกี่ยวกับโรคเบาหวาน ระดับความคิดเห็นของสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยพฤติกรรมที่เป็นอันตราย พบว่า กลุ่มอายุต่างๆมีระดับความคิดเห็นไม่แตกต่างกันได้แก่การสวมเสื้อผ้ารุ่มร่าม,การสวมรองเท้าไม่พอดีเท้า หรือไม่มีดอกยาง และการดื่มสุรา ระดับความคิดเห็นของสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตราย พบว่ากลุ่มอายุต่างๆมีระดับความคิดเห็นไม่แตกต่างกัน ได้แก่ ห้องน้ำลื่นหรือโถส้วมแบบนั่งยอง, บ้านมีสิ่งของวางไม่เป็นระเบียบ และรอบบ้านพื้นเป็นหลุมเป็นบ่อ

4.6 ผลการทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานที่ 1 เพศหญิงเป็นเพศที่มีสถิติของการลื่นหกล้มมากกว่าเพศชาย จากการทดสอบสมมติฐาน พบว่า เป็นไปตามสมมติฐาน เพศหญิงเป็นเพศที่มีสถิติการหก ล้มมากกว่า เพศชาย โดยเพศหญิงที่มีสถิติการหกล้มมากที่สุดอยู่ในช่วงอายุ 60 – 65 ปี

สมมติฐานที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยมีผลต่อการลื่นหกล้ม จากการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ข้อมูล

ส่วนบุคคลของผู้สูงอายุในด้านเพศมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นประกอบไปด้วยปัจจัย การมีอาการซึมเศร้า การสวมใส่เสื้อผ้ารุ่มร่าม วางสิ่งของไม่เป็นระเบียบและข้อมูลส่วนบุคคลของผู้สูงอายุในด้านเพศมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นแต่เป็นไปในทิศทางตรงข้ามประกอบไปด้วยปัจจัย ของเขตที่อยู่อาศัย การมีอาการเดินผิดปกติ ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยเดินหรือรถเข็น การดื่มสุรา บันไดชำรุด ไม่มีราวบันได ข้อมูลส่วนบุคคลในด้านอายุมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้น ประกอบไปด้วยปัจจัย ทางสถานภาพ เขตที่อยู่อาศัย ตาเป็นต้อกระจก ตาเป็นต้อหิน ตาฝ้า ขุ่นขาว การเดินผิดปกติ ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยเดินหรือรถเข็น การมีอาการหลง ลืม ความจำเสื่อม การดื่มสุรา บันไดชำรุด ไม่มีราวบันได การใช้โถส้วมแบบนั่งยองและข้อมูลส่วนบุคคลในด้านอายุมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นแต่เป็นไปในทิศทางตรงข้ามประกอบไปด้วยปัจจัย การมีโรคประจำตัว ตาเป็นต้อกระจก ตาเป็นต้อหิน ตาฝ้า ขุ่นขาว สวมรองเท้าที่ไม่พอดีเท้า หรือรองเท้าที่ไม่มีดอกยาง พื้นชำรุด พื้นต่างระดับ พื้นบ้านลื่น วางสิ่งของเครื่องใช้ไม่เป็นระเบียบ พื้นห้องน้ำเปียก ไม่มียางกันลื่น พื้นที่รอบบริเวณบ้านเป็นหลุม เป็นบ่อ ข้อมูลส่วนบุคคลในด้านสภานภาพมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้น ประกอบไปด้วยปัจจัยการได้รับยาเกี่ยวกับโรคอื่นๆ ข้อมูลส่วนบุคคลในด้านในด้านเขตที่อยู่อาศัยมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นประกอบไปด้วยปัจจัย อาการหลง ลืม ความจำเสื่อม การดื่มสุรา บันไดชำรุด ไม่มีราวบันได การใช้โถส้วมแบบนั่งยอง และข้อมูลส่วนบุคคลในด้านในด้านเขตที่อยู่อาศัยมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นแต่เป็นไปในทิศทางตรงข้ามประกอบไปด้วยปัจจัย สวมใส่เสื้อผ้ารุ่มร่าม การสวมรองเท้าที่ไม่พอดีเท้า หรือรองเท้าที่ไม่มีดอกยาง วางสิ่งของเครื่องใช้ไม่เป็นระเบียบ บริเวณบ้านมีแสงสว่างไม่เพียงพอ

5.สรุป

ปัจจัยที่มีผลต่อการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุมากที่สุด พบว่า ปัจจัยทางประวัติสุขภาพ ได้แก่ ภาวะสุขภาพของการมีโรคประจำตัว ปัจจัยทางกระบวนการชรา ได้แก่ มีอาการปวดตามไขข้อ กระดูก ปัจจัยทางสุขภาพจิต ได้แก่ นอนไม่เพียงพอ / นอนไม่หลับ เครียด ปัจจัยทางประวัติการใช้ยา ได้แก่ เคยได้รับหรือกำลังรับประทานยาเกี่ยวกับความดันจำนวน ปัจจัยทางพฤติกรรมที่เป็นอันตราย ได้แก่ พฤติกรรมการสวมรองเท้าที่ไม่พอดีเท้าหรือรองเท้าที่ไม่มีดอกยาง ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตราย ได้แก่ การใช้โถส้วมแบบนั่งยอง ด้านความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างการดื่มสุรากับการใช้โถส้วมแบบนั่งยอง และการดื่มสุรากับการที่บันไดชำรุด ไม่มีราวบันไดนั่นมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดในนัยสำคัญ 0.01 และความสัมพันธ์ระหว่างเพศและการดื่มสุรามีความสันพันธ์กันมากที่สุดในทิศทางตรงข้าม ในนัยสำคัญ 0.01

จากการศึกษาความคิดเห็นเกี่ยวกับการป้องกันการลื่นหกล้มของผู้สูงอายุจากแบบสอบถาม พบว่าแนวทางที่เป็นไปได้ในการป้องกันการลื่นหกล้ม[4] คือ การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มกล้ามเนื้อ รองลงมาคือ การให้ความช่วยเหลือผู้ที่มีปัญหาทางสายตา ,การดูแลอย่างใกล้ชิดในกรณีที่ผู้สูงมีสภาวะทางจิต ,การสวมรองเท้าที่พอดีเท้ามีดอกยาง , การสวมเสื้อผ้าขนาดพอดี ไม่, การจัดเก็บสิ่งของให้เป็นระเบียบ ไม่วางสายไฟเกะกะ , การดูแลพื้นห้องและห้องน้ำให้สะอาดและแห้งอยู่เสมอ , การใช้โถส้วมแบบชักโครก , การจัดให้มีแสงสว่างเพียงพอ , การห้ามไม่ให้ผู้สูงอายุดื่มสุรา, การปรับปรุงพื้นบริเวณรอบบ้านให้เรียบสม่ำเสมอ , การซ่อมแซมบันไดให้มีความมั่นคงแข็งแรง มีราวจับ, การเปิดอบรมญาติหรือผู้ที่ดูแลใกล้ชิดผู้สูงอายุ , การป้องกันผลข้างเคียงจากการใช้ยา , การเคลื่อนไหวร่างกาย ควรเคลื่อนไหวช้าๆ เดินช้าๆ , และการหลีกเลี่ยงการแหงนหน้า เพราะจะเกิดอาการหน้ามืดได้ง่าย การเหลียวซ้ายแลขวาต้องทำช้า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม

เอกสารอ้างอิง

[1] มารยาท โยทองยศ. การสร้างแบบสอบถามเพื่อการวิจัย. สถาบันวิจัยมหาวิทยาลัยกรุงเทพ, กรุงเทพ

[2] ประคอง กรรณสูต. 2542. สถิติเพื่อการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพ,

หน้า 10-11
[3] กัลยา วานิชย์บัญชา. การใช้ SPSS for Windows ใน การวิเคราะห์ข้อมูล. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพ
[4] บุปผา จันทรจรัส. การป้องกันการหกล้มใน ผู้สูงอายุ เข้าถึงข้อมูล
http://www.med.cmu.ac.th/hospital/northo/2012/16-km-orthopedics/33-falling-lelderly.html

การพัฒนาโปรแกรมประเมินภาระงานทางการยศาสตร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

The Development of the Program Ergonomics Workload Assessment for Android Operating System

อนันต์ชัย อู่คล้าย* ประจวบ กล่อมจิตร
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ. นครปฐม 73000 E-mail: ananchaieng@gmail.com*

Ananchai Uklai*, Prachuab Klomjit
Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Muang, Nakornpathom, 73000, E-mail: ananchaieng@gmail.com*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาโปรแกรมประเมินภาระงานทางการยศาสตร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการนำวิธีการประเมินภาระงานทางการยศาสตร์ต่างๆ ได้แก่ การประเมินท่าทางการทำงานโดยใช้วิธีการ RULA และการประเมินงานยกของด้วยมือโดยสมการ NIOSH 1991 มาเป็นหลักการพื้นฐานเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาเป็นแอพพลิเคชั่นแอนดรอยด์ โดยการศึกษาวิธีการประเมินภาระงานวิธีต่างๆ เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการเขียนโปรแกรม จากนั้นจึงทำการออกแบบและพัฒนาโปรแกรม และวัดผล ตลอดจนเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโปรแกรมพร้อมกับนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมตัวอย่าง โดยผลการศึกษาพบว่า โปรแกรมที่พัฒนาสามารถนำไปใช้งานได้จริง ค่าของข้อมูลนำเข้าและข้อมูลสรุปผลการประเมินที่ได้มีความถูกต้อง สามารถนำผลที่ได้จากการโปรแกรมไปใช้งานต่อได้ จากการนำโปรแกรมไปทดลองใช้งานกับโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา ปรากฏว่าการใช้งานโปรแกรมในการประเมินภาระงานเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการการคำนวณมือ โปรแกรม “RulaSU” ช่วยลดระยะเวลาในการทำการประเมินภาระงานลง 2.07 นาที หรือคิดเป็น 47.36%

คำสำคัญ: การยศาสตร์, ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

Abstract

The objective of this study is investigate and develop the ergonomics assessment of the workload on the Android operating system. A study on the introduction of assessment workload ergonomics include assessing posture work using RULA and assessing raised by hand by the equation NIOSH 1991 the basic principles to be used in the design and develop the applications with Android. By studying how to assess the workload of different ways to implement as a guideline to programming. Then design and program development and evaluation. As well as the performance of the program, will be applied to industrial samples. The study found that program developed can be applied practically. The value of the input data and concluded that it is accurate. The results of the program can be used to. From the adoption program to try to industrial case studies, it appears that the use of assessment

workload compared with the calculation method used. Program "RulaSU" reduces the duration of the assessment workload by 2.07 minutes, or 47.36%.

Keywords: Ergonomics, Android operating system

1. บทนำ

เครื่องมือสำหรับการประเมินภาระการทำงานตามหลักการทางการยศาสตร์ในปัจจุบันนั้นมีหลากหลายรูปแบบให้เลือกใช้ เช่น การประเมินท่าทางการทำงานด้วย RULA (Rapid Upper Limb Assessment) การประเมินภาระงานดัน งานดึงและงานถือ โดยใช้ตารางของ Snook เป็นต้น เครื่องมือดังกล่าวนั้นมีความสะดวกต่อการใช้งาน มีหลักการประเมินที่เข้าใจได้ง่าย และสามารถนำ ไปใช้งานได้จริง จึงทำให้ปัจจุบันมีผู้สนใจในการนำเครื่องมือดังกล่าวไปใช้ในการปรับปรุงรูปแบบวิธีการทำงานให้เหมาะสมตามหลักการทางการยศาสตร์มากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยจึงพิจารณาจัดทำงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาโปรแกรมประเมินภาระงานทางการยศาสตร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยมุ่งเน้นที่จะพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์สำหรับใช้ในการประเมินภาระงานทางการยศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับท่าทางในการทำงาน เป็นการเผยแพร่และส่งเสริมการนำหลักการดังกล่าวไปใช้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการประเมินสภาวะแวดล้อมและพฤติกรรมในการทำงานซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงลักษณะท่าทางการทำงานและสภาพแวดล้อม และเพื่อลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บสะสมจากการทำงานได้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาโปรแกรมประเมินภาระงานทางการยศาสตร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์
2. เพื่อพัฒนาโปรแกรมประเมินภาระงานทางการยศาสตร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์โดยใช้ภาษา Java
3. นำโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนามาใช้ในการประเมินผลลัพธ์งานทางการยศาสตร์ในโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา

3. หลักการทางการยศาสตร์ [1]

การยศาสตร์นั้นมีความสำคัญต่อความสบายและประสิทธิภาพในระบบการทำงาน ได้สรุปคำนิยามของ การยศาสตร์ (Ergonomics) ไว้ดังนี้

"การศึกษากฎหรือวิธีการทำงานที่เป็นพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือ เครื่องจักร ลักษณะงานและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เช่น แสง สี เสียง บรรยากาศ เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มนุษย์สามารถทำงานหรือใช้งานกับสิ่งต่างๆ เหล่านั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย"

4. การประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านการยศาสตร์

หากพิจารณาความหมายของการยศาสตร์สามารถพิจารณาได้ว่า การประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านการยศาสตร์จะประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนคือ

1. การใช้ความรู้สึกเป็นเหตุเป็นผล (Common Sense)
2. การใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ (Sophisticated Science)

ความสำเร็จของการประยุกต์ใช้ความรู้ทางการยศาสตร์จะเป็นไปได้ยากถ้าขาดส่วนหนึ่งส่วนใด เพราะทั้งสองส่วนมีความสำคัญที่จะช่วยในการสนับสนุนซึ่งกันและกัน

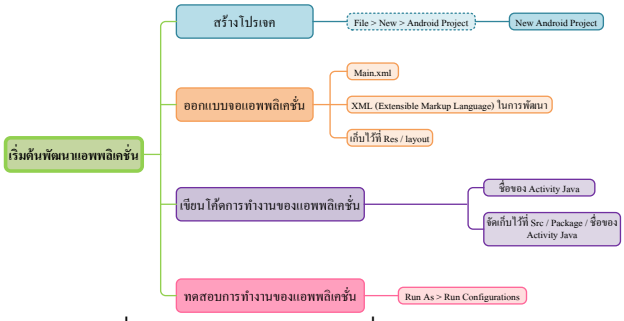
5. การสร้างแอพพลิเคชั่นเอนดรอยด์ [2]

ขั้นตอนของการพัฒนาแอพพลิเคชั่นแอนดรอยด์ มี 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. สร้างโปรเจ็ค ในการพัฒนาแอพพลิเคชั่นจะต้องมีที่ที่หนึ่งสำหรับ เก็บไฟล์โฟลเดอร์ ต่างๆ ที่ โค้ดแอนดรอยด์ ที่จะกำลังจะเขียนขึ้นต้องการ
2. ออกแบบจอแอพพลิเคชั่น ก่อนที่เราจะเข้าไป Codding ต้องทำการออกแบบ user Interface หรือ ที่เรียกกันว่า UI ก่อน ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาก็จะใช้ Extensible Markup Language หรือที่เราคุ้นเคยเรียกว่า XML โดยจะมีไฟร์ที่ชื่อว่า main.xml ที่เก็บไว้ที่ res/layout เป็นตัวควบคุม layout ต่างๆ

3. เขียนโค้ดการทำงานของแอพพลิเคชั่น ส่วนนี้เป็นขั้นตอนการ Codding ให้แอพพลิเคชั่นแอนดรอยด์ทำงานตามที่ต้องการ โดยจะเก็บโค้ดไว้ใน src/ package / ไฟร์.java โดย จะใช้ Java เป็นภาษาในการพัฒนา

4. ทดสอบโค้ดที่เขียนได้จะทดสอบทั้งใน AVD (android virtual device) และ บนมือถือแอนดรอยด์จริงด้วย



รูปที่ 1 การสร้างแอพพลิเคชั่นเอนดรอยด์

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประจวบ กล่อมจิตร (พ.ศ.2548) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสำรวจงานยกของด้วยมือโดยใช้สมการ NIOSH 1991 ซึ่งสามารถใช้ประเมินงานที่เป็นการยกของในเงื่อนไขต่าง ๆ ได้ เพื่อนำค่าที่ได้ใช้ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมท่าทางในการยกของเพื่อเสนอเป็นแนวทางในการปรับปรุง ผลการสำรวจแล้วนำไปวิเคราะห์ในสมการ NIOSH 1991 ทำให้ได้แนวทางในการปรับปรุงงาน โดยแนวทางในการปรับปรุงงานด้านการเปลี่ยนแปลงสถานีงาน ท่าทางในการทำงานที่เหมาะสม อุปกรณ์ที่ช่วยในการผ่อนแรงการยกของซึ่งพิจารณาจากค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องและน้ำหนักสูงสุดที่พนักงานจะสามารถยกได้สูงสุดโดยไม่เกิดอันตรายในการยก

ชัยยุทธ วงศ์อัจฉริยา (พ.ศ.2550) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการประเมินภาระทางการยศาสตร์ในสภาวะแวดล้อมการทำงานในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม โดยทำการประเมินวิเคราะห์ท่าทางการทำงานของพนักงานโดยใช้วิธีทางการยศาสตร์แบบต่างๆ เพื่อที่จะเปรียบเทียบผลการประเมินจากวิธีการประเมินในแต่ละวิธี โดยผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าวิธีการประเมินทางการยศาสตร์ในแต่ละวิธีนั้นมีผลการประเมินที่แตกต่างออกไปตามหลักการของแต่ละวิธีและมีความเหมาะสมในการที่จะนำมาใช้ในการประเมินลักษณะการทำงานในสภาวะแวดล้อมการทำงานในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมและเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเรื่องของปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือและความถูกต้องแม่นยำของผลการประเมินสามารถสรุปได้ว่า วิธีการประเมิน RULA REBA และ Strain Index มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ประเมินการทำงานของวิสาหกิจไทยเพื่อเกิดการตระหนักถึงภาระทางการยศาสตร์ในการทำงานที่เกิดขึ้นและนำไปสู่การปรับปรุงท่าทางการทำงาน เพื่อลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บจากการทำงานลงได้

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การนำผลการสำรวจวิเคราะห์ในสมการ NIOSH 1991 ทำให้ได้แนวทางในการปรับปรุงงาน โดยแนวทางในการปรับปรุงงานด้านการเปลี่ยนแปลงสถานีงาน ท่าทางในการทำงานที่เหมาะสม อุปกรณ์ที่ช่วยในการผ่อนแรงการยกของซึ่งพิจารณาจากค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องและน้ำหนักสูงสุดที่พนักงานจะสามารถยกได้สูงสุดโดยไม่เกิดอันตรายในการยก และสำหรับวิธีการประเมิน RULA REBA และ Strain Index มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ประเมินการทำงานของวิสาหกิจไทยเพื่อเกิดการตระหนักถึงภาระทางการยศาสตร์ในการทำงานที่เกิดขึ้นและนำไปสู่การปรับปรุงท่าทางการทำงาน เพื่อลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บจากการทำงานลงได้

7. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมการประเมินภาระงานตามหลักการทางการยศาสตร์นั้น จึงประกอบไปด้วยขั้นตอนในการทำงาน 8 ขั้นตอน ดังนี้

7.1 ศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆของการประเมินภาระงานตามหลักการทางการยศาสตร์

7.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

7.3 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม Java JDK , Eclipse , Android SDK และ Android Developer Tools

7.4 สอบทานการออกแบบโปรแกรมเพื่อค้นหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น

7.5 การทดลองใช้งานโปรแกรม

7.6 ประเมินผลการใช้งานของโปรแกรม

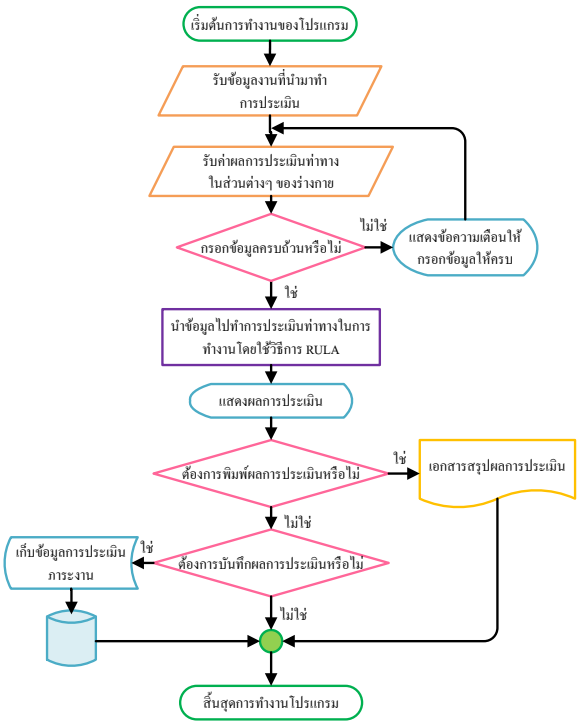
7.7 สรุปผลการดำเนินงาน

7.8 จัดทำรายงานสรุปผลการศึกษา

8. ผลการออกแบบและการสร้างโปรแกรม

ผลจากการศึกษาข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม มีวัตถุประสงค์หลักคือ โปรแกรมจะต้องมีความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการใช้งานและง่ายต่อการใช้งานของผู้ที่สนใจ โดยทำการแยกโปรแกรมออกตามลักษณะการนำไปใช้งานในการประเมินภาระงานต่างๆ ดังนี้

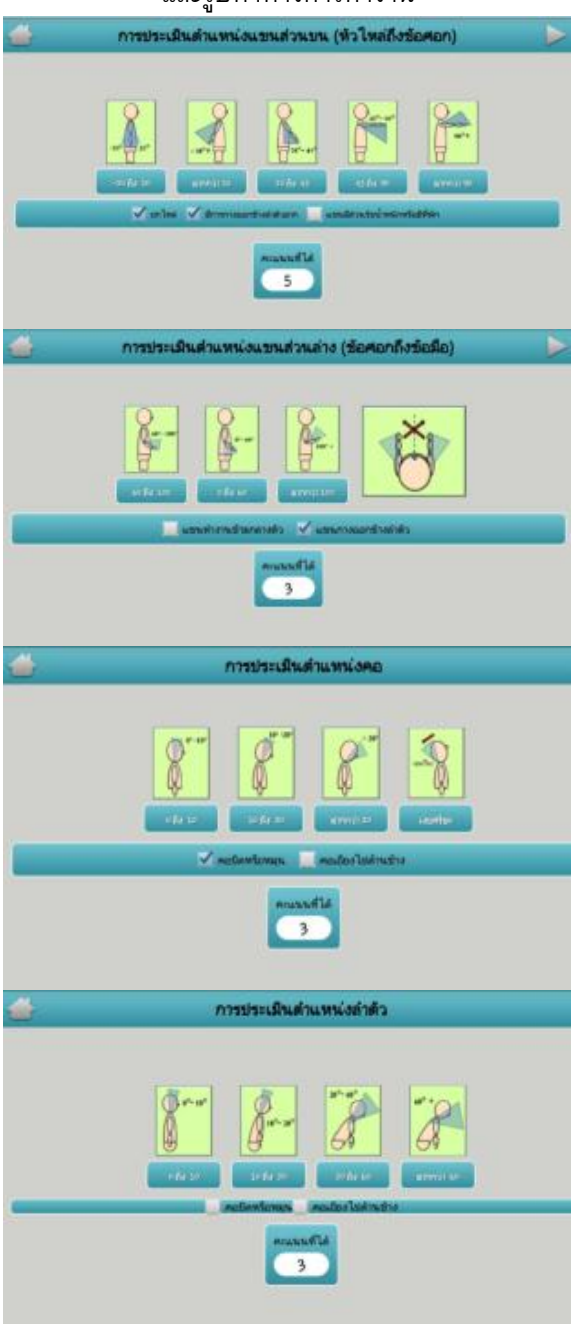
1. โปรแกรม RulaSU สำหรับใช้ในการประเมินท่าทางในการทำงานโดยใช้วิธีการ RULA



รูปที่ 2 ผังงานของโปรแกรม RulaSU

รูปที่ 3 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม RulaSU

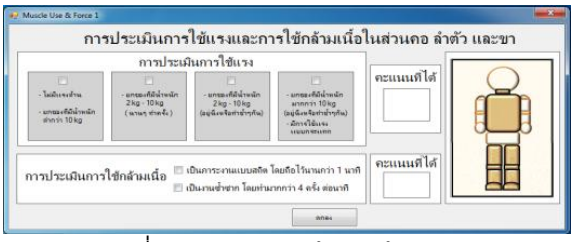
รูปที่ 4 หน้าต่างรับข้อมูลของผู้ทำการประเมิน และรูปท่าทางการทำงาน



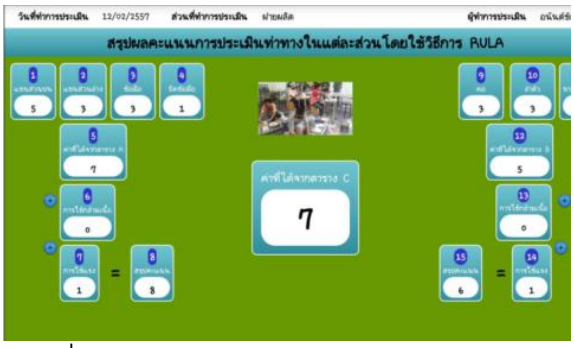
รูปที่ 5 หน้าต่างสำหรับรับข้อมูลของการให้คะแนนท่าทางในส่วนต่างๆของร่างกาย

รูปที่ 5 หน้าต่างสำหรับรับข้อมูลของ
การให้คะแนนท่าทางในส่วนต่าง ๆของร่างกาย (ต่อ)

รูปที่ 6 หน้าต่างสำหรับการรับข้อมูลการประเมินการใช้แรงและกล้ามเนื้อในการทำงานของส่วนแขนและมือ



รูปที่ 7 หน้าต่างสำหรับการรับข้อมูล
การประเมินการใช้แรง
และกล้ามเนื้อในการทำงานของส่วนคอ ลำตัวและเท้า



รูปที่ 8 หน้าต่างสำหรับแสดงผลการประเมินท่าทาง
ในการทำงาน

9.ผลการประเมินประสิทธิภาพและคุณภาพของโปรแกรม

ทำการศึกษาถึงผลที่ได้รับจากการใช้งานโปรแกรมหลังจากที่ได้มีการนำไปทดลองใช้งาน โดยทำการประเมินการใช้งานโปรแกรมทั้งในด้านประสิทธิภาพและคุณภาพใช้งานของโปรแกรม

ตารางที่ 1 ผลการเก็บข้อมูลและเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการใช้งานโปรแกรม RulaSU กับการใช้งานโปรแกรม ErgoIntelligence

Activity	RulaSU	ErgoIntelligence	Saving
Operation	10	8	-2
Transport	0	0	0
Delay	0	0	0
Inspection	1	1	0
Storage	0	0	0
Time (sec)	45.7	40.2	-5.5

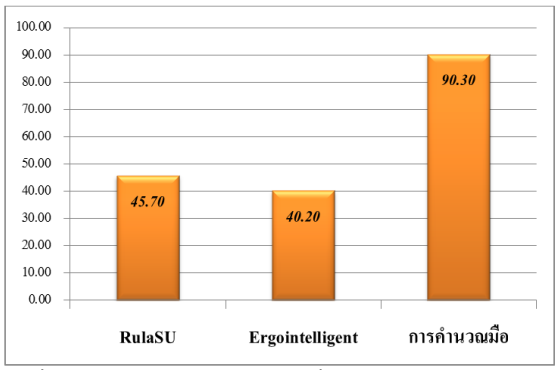
จากตารางที่ 1 เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างการใช้งานโปรแกรม RulaSU กับโปรแกรม ErgoIntelligence ในการประเมินท่าทางการทำงานโดยใช้วิธีการRULAซึ่งจากการใช้งานโปรแกรม RulaSU ใช้เวลาเฉลี่ยในการใช้งานโปรแกรมเพื่อประเมินงาน คือ 45.7วินาที ส่วนโปรแกรม ErgoIntelligenceนั้นใช้เวลาเฉลี่ย40.2 วินาที ต่อกรณีศึกษาที่นำมาศึกษา 1 งาน

ตารางที่ 2 ผลการเก็บข้อมูลและเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการใช้งานโปรแกรม RulaSU กับวิธีการคำนวณมือ

Activity	RulaSU	วิธีการคำนวณมือ	Saving
Operation	10	12	2
Transport	0	0	0
Delay	0	0	0
Inspection	1	4	3
Storage	0	0	0
Time (sec)	45.7	90.3	44.6

จากตารางที่ 2 เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างการใช้งานโปรแกรม RulaSUกับวิธีการคำนวณมือในการประเมินท่าทางการทำงานโดยใช้วิธีการ RULA ซึ่งจากการใช้งานโปรแกรมRulaSUใช้

เวลาเฉลี่ยในการใช้งานโปรแกรมเพื่อประเมินงาน คือ 45.7วินาที ส่วนวิธีการคำนวณมือนั้นใช้เวลาเฉลี่ย90.3 วินาที ต่อกรณีศึกษาที่นำมาศึกษา 1 งาน



รูปที่ 9 แผนภูมิแท่งแสดงเวลาที่ใช้ในการประเมินท่าทางในการทำงาน โดยใช้วิธีการ RULA (วินาที)

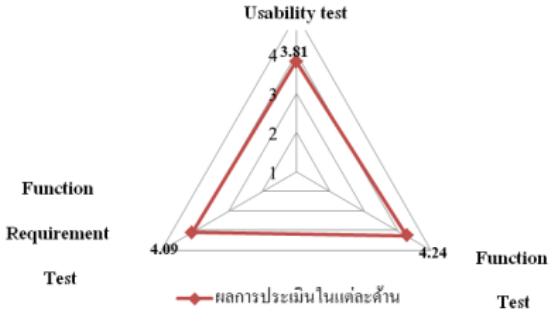
10. การประเมินคุณภาพของโปรแกรม

ทำการประเมินคุณภาพของโปรแกรม โดยใช้ข้อมูลจากการทำแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานโปรแกรม ซึ่งข้อมูลที่นำมาพิจารณาแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ดังนี้

1. ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ (Usability Test)
2. ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ (Function Test)
3. ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Functional Requirement Test)

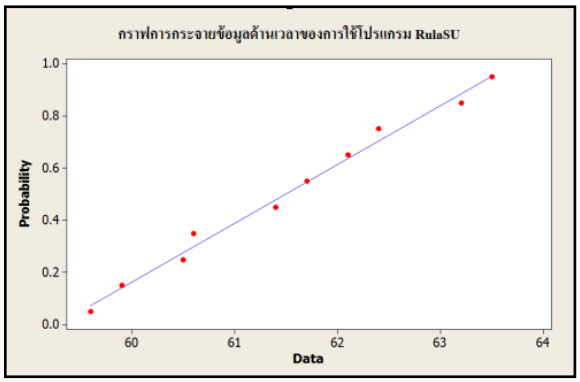
ตารางที่ 3 ผลการประเมินคุณภาพในแต่ละด้านของโปรแกรม RulaSU

ปัจจัย	คะแนน
1. ด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ (Usability Test)	3.81
2.ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ (Function Test)	4.24
3.ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Functional Requirement Test)	4.09
รวม	**4.04**

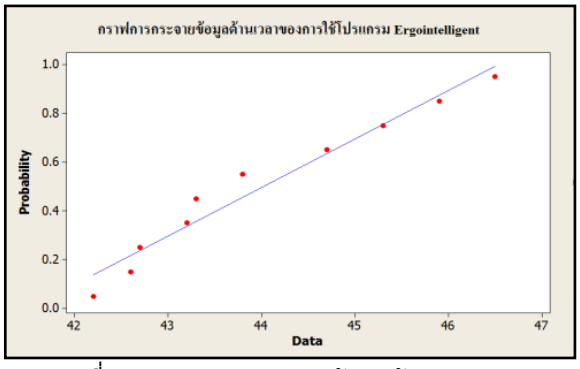


รูปที่ 10 ผลการประเมินคุณภาพของโปรแกรม RulaSU

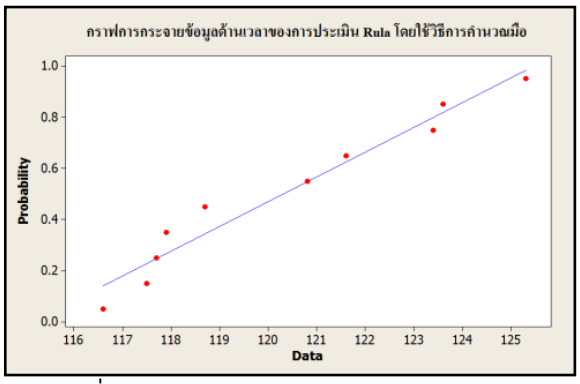
11. การประเมินข้อมูลด้านเวลาเชิงสถิติ



รูปที่ 11 กราฟการกระจายข้อมูลด้านเวลาของการใช้โปรแกรม RulaSU



รูปที่ 12 กราฟการกระจายข้อมูลด้านเวลาของการใช้โปรแกรม Ergointelligent



รูปที่ 13 กราฟการกระจายข้อมูลด้านเวลาของ

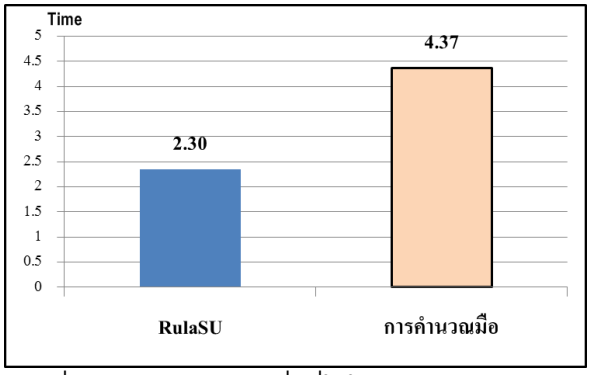
การประเมิน Rula โดยใช้วิธีการคำนวณมือ

จากกราฟทั้ง 3 จะเห็นได้ว่า จุดตัดเรียงกันเป็นแนวเส้นตรง ลักษณะการเกิดจุดไม่กระจุกเป็นกลุ่มๆ และความห่างระหว่างแต่ละจุดใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งกราฟทั้ง 3 พอจะประมาณว่าเป็นการกระจายแบบ Normal Distribution

12. ผลการนำโปรแกรมไปทดลองใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา

นำโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนาไปทดลองใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา ซึ่งเป็นโรงงานแบ่งบรรจุเคมีเกษตรโดยมีผลข้อมูลเวลาเฉลี่ยที่ได้จากการการทดลองใช้งานโปรแกรม ดังนี้

รูปที่ 14 ภาพขณะทำการการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการประเมินภาระงาน โดยใช้วิธีการทางการยศาสตร์แก่ผู้ทดลองใช้งานโปรแกรม



รูปที่ 15 ผลข้อมูลเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประเมินท่าทางในการทำงาน โดยใช้วิธีการ RULA

13. สรุปผล

โปรแกรมที่พัฒนาสามารถนำไปใช้งานได้จริง ค่าของข้อมูลนำเข้าและข้อมูลสรุปผลการประเมินที่ได้มีความถูกต้อง สามารถนำผลที่ได้จากการโปรแกรมไปใช้งานต่อได้ จากการนำโปรแกรมไปทดลองใช้งานกับโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา ปรากฏว่าการใช้งานโปรแกรมในการประเมินภาระงานเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการการคำนวณมือ โปรแกรม “RulaSU” ช่วยลดระยะเวลาในการทำการประเมินภาระงานลง 2.07 นาที หรือคิดเป็น 47.36%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับคำปรึกษาและแนะนำจาก ผศ.ดร. ประจวบ กล่อมจิตร หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติ อินทรานนท์, 2548. การยศาสตร์:Ergonomic, กรุงเทพมหานคร: แอคทีฟพริ้นท์.

[2] จักรชัย โสอินทร์, Andriod App Development, บริษัท ไอซีดี พรีเมียร์ จำกัด, กันยายน 2555.

[3] สุทธิ์ศรีบูรพา, เออร์กอนอมิคส์, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2540

[4] ประจวบ กล่อมจิตร, การประเมินและปรับปรุง งานในสถานประกอบการโดยหลักการยศาสตร์, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2554

[5] ประจวบ กล่อมจิตร, การประเมินงานยกของ ด้วยมือในโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้สมการ NIOSH 1991, วารสารงานวิจัยและพัฒนา มจธ., ปีที่ 28 ฉบับที่ 3 ก.ค.-ก.ย. 2548

[6] ชัยยุทธ วงศ์อัจฉริยา, 2550. การเปรียบเทียบวิธีการประเมินภาระทางการยศาสตร์ ในสภาวะแวดล้อมการทำงานในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสำเร็จหัวต่อแกนล้อหน้ารถยนต์โดยใช้เทคนิคการศึกษางาน

PRODUCTIVITY IMPROVEMENT IN KNUCKLE FINISHING QUALITY INSPECTION PROCESS BY WORK STUDY TECHNIQUE

ธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ[1*] สุวรรณะ ใจรังษี[2]
[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: theerawa@buu.ac.th[*]

Theerawat Somsirikanjanakoon[1*] Suwanna Jairungsi[2]
[1,2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University.
E-mail: theerawa@buu.ac.th[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสำเร็จหัวต่อแกนล้อหน้ารถยนต์ ที่ Finishing Line No.3 โดยใช้เทคนิคการศึกษาการทำงาน ได้ทำการศึกษาในส่วนของผลิตภัณฑ์ 2 รุ่น คือ KN409 และ KN410 เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานค่อนข้างต่ำ ยอดการผลิตไม่ได้ตามแผนที่ฝ่ายวางแผนการผลิตได้กำหนดไว้ อีกทั้งยังมีปัญหาพนักงานลาออกบ่อยเนื่องด้วยการทำงานที่สายการผลิตนี้มีความยากลำบาก จึงได้รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาต่าง ๆ และนำเทคนิคการศึกษาการทำงานมาแก้ปัญหาและปรับปรุงการทำงาน โดยออกแบบจิ๊ก เกจ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำงานใหม่ ให้สะดวกและง่ายต่อการปฏิบัติงาน ปรับปรุงสถานที่ทำงานและวิธีการปฏิบัติงานให้พนักงานออกแรงและใช้ส่วนของร่างกายน้อยที่สุด ทำให้สามารถลดรอบเวลาในการผลิตลงได้ จากนั้นได้ทำการแบ่งงานย่อยให้แต่ละสถานีงานใหม่ให้เกิดความสมดุลมากขึ้น ผลการปรับปรุงโดยใช้วิธีลดเวลามาตรฐานควบคู่กับการแบ่งงานย่อยสายการตรวจสอบให้สมดุล ทำให้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้น 21.09% เวลามาตรฐานในการทำงานลดลง 17.43% และทำให้ประสิทธิภาพของสายการตรวจสอบ เพิ่มขึ้นจาก 88.48% เป็น 93.24% จากผลดังกล่าวทำให้บริษัทกรณีศึกษาสามารถลดต้นทุนการผลิตในส่วนของค่าล่วงเวลา และลดการลาออกบ่อยของพนักงานเนื่องจากการทำงานที่ลำบากลงได้

คำหลัก การศึกษาการทำงาน เวลามาตรฐาน การเพิ่มผลผลิต นัคเคิล

Abstract

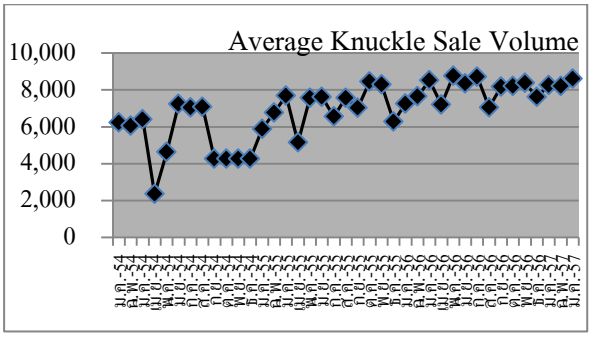
This research aims to improve productivity of the quality inspection process for knuckle product at finishing line No.3 using work study technique. This study focused in two product models; KN409 and KN410. Because it was found that main problems were low operation efficiency, unmet target production plan, and high worker turnover rate due to the working troubles of this production line. These problems were then analyzed and improved using work study techniques by designing new jigs, gauges, and tools. Work stations and work operations are also redesigned to ease and comfort the operators. The production improvement was performed by decreasing operations standard time and balancing work load for each work station in the inspection process. As a result, the productivity was increased by 21.09

percent, the standard time for the process was reduced by 17.43 percent, and the efficiency of the inspection process was increased from 88.48 percent to 93.27 percent. In conclusion, this study can reduce production costs from the overtime wages, and employee turnover rate of the case study company.

Keywords: Work Study, Standard Time, Productivity Improvement, Knuckle

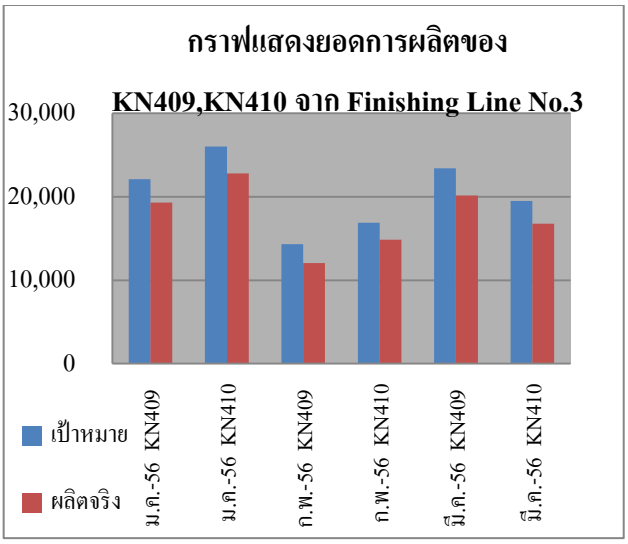
1. บทนำ

เนื่องจากอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในปัจจุบันมีการแข่งขันกันมากตามกลไกของตลาดเพื่อรองรับกับความต้องการของลูกค้าและคู่แข่งขันที่มีมากขึ้น การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเพื่อลดต้นทุนเป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการตระหนักยิ่ง [1] บริษัทกรณีศึกษาดำเนินการธุรกิจในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ โดยการทุบขึ้นรูปร้อนผลิตภัณฑ์หัวต่อแกนล้อหน้ารถยนต์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีแนวโน้มความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องดังปริมาณการขายตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2554 ถึง ปี พ.ศ. 2557 ดังรูปที่ 1 ในขณะที่มีปัญหาการผลิตคือ ประสิทธิภาพการทำงานค่อนข้างต่ำ ยอดการผลิตไม่ได้ตามแผนที่ฝ่ายวาง



รูปที่ 1 ยอดขายเฉลี่ยผลิตภัณฑ์หัวต่อแกนล้อหน้ารถยนต์ ช่วงเดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนมีนาคม 2557

แผนการผลิตกำหนดไว้โดยเฉพาะในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสำเร็จ ทำให้ต้องเพิ่มการทำงานล่วงเวลา และการจ่ายเงินจูงใจ แต่ก็ยังไม่สามารถผลิตได้ตามแผนที่วางไว้โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ รุ่น KN409 และ KN410 ซึ่งเป็นรุ่นที่มีความต้องการของลูกค้าสูงสุด แสดงดังรูปที่ 2 อีกทั้งยังมีปัญหาพนักงานลาออกบ่อยเนื่องจากการทำงานที่สายการผลิตนี้มีความยากลำบากในการทำงานหลายขั้นตอน ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักมากโดยเฉพาะ รุ่น KN409 และ KN410 ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ย 7.3 กิโลกรัมต่อชิ้น พนักงานต้องออกแรงและใช้ส่วนของร่างกายมาก ประกอบกับพนักงานส่วนใหญ่เป็นพนักงานใหม่ขาดทักษะในการทำงานไม่ชำนาญ ไม่มีมาตรฐานการทำงานที่ชัดเจน การปฏิบัติงานค่อนข้างมีความหลากหลาย ทำให้เกิดความล่าช้าในการผลิต เกิดการรองานระหว่างสถานีงาน ทางบริษัทกรณีศึกษาจึงต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิตในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสำเร็จหัวต่อแกนล้อหน้ารถยนต์โดยใช้หลักการศึกษาการทำงาน



รูปที่ 2 ปริมาณการผลิตเป้าหมายและผลิตจริงรุ่น KN409และ KN410 ระหว่างมกราคม-มีนาคม 2556

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้กำหนดวัตถุประสงค์ในการศึกษาและวิจัยดังนี้

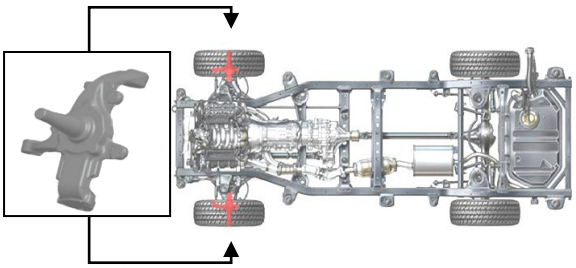
1.เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสำเร็จหัวต่อแกนล้อหน้ารถยนต์

2.เพื่อกำหนดวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้องและเหมาะสมในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสำเร็จหัวต่อแกนล้อหน้ารถยนต์

3.การดำเนินการ

3.1ศึกษาขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์

ศึกษาขั้นตอนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการผลิตชิ้นส่วนหัวต่อแกนล้อหน้ารถยนต์ โดยมีรูปร่างและตำแหน่งการติดตั้งในรถยนต์ดังรูปที่ 3 และมีขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ ดังตารางที่ 1



รูปที่ 3 ตำแหน่งของหัวต่อแกนล้อหน้ารถยนต์

ตารางที่ 1 ขั้นตอนทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหัวต่อแกนล้อหน้ารถยนต์

ลำดับ	ขั้นตอน
1	กระบวนการตรวจรับวัตถุดิบ
2	กระบวนการเบิกหรือคืนวัตถุดิบ
3	กระบวนการตัด
4	กระบวนการให้ความร้อน
5	กระบวนการตีขึ้นรูป
6	กระบวนการเย็นตัว
7	กระบวนการชุบแข็งและอบคืนตัว
8	กระบวนการขัดผิวโดยการใช้เครื่องยิงเม็ดเหล็ก
9	กระบวนการตรวจรอยร้าวครั้งที่ 1
10	กระบวนการตรวจสอบสภาพภายนอกและซ่อม
11	กระบวนการตรวจรอยร้าวครั้งที่ 2
12	กระบวนการตรวจสอบขนาดและเจียรไนจุดเช็คความแข็ง
13	กระบวนการตรวจความแข็ง
14	กระบวนการป้องกันสนิม
15	กระบวนการตรวจสอบขั้นตอนสุดท้าย
16	กระบวนการเคลือบสีดำด้วยระบบไฟฟ้า
17	กระบวนการตรวจสอบก่อนส่งมอบ

โดยกระบวนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสำเร็จจะดำเนินการผลิตในสายการผลิต Finishing line no.3 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ 9 ถึงขั้นตอนที่ 13 ในตารางที่ 1 กระบวนการดังกล่าวประกอบไปด้วย 5 สถานี คือ

สถานีงานที่ 1 กระบวนการตรวจรอยร้าวครั้งที่ 1

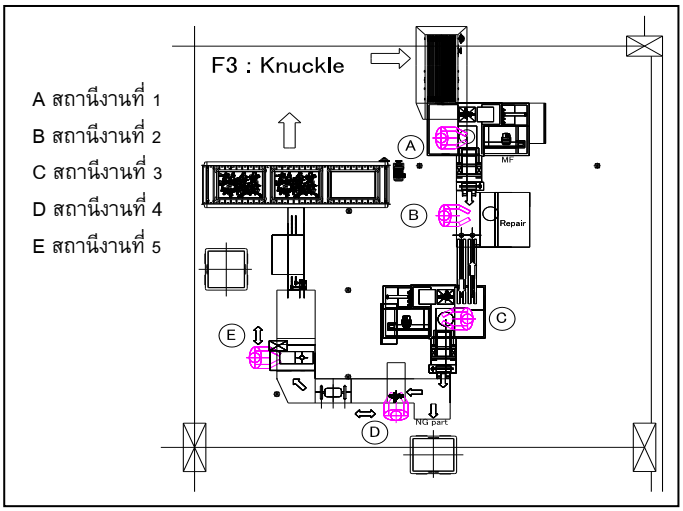
สถานีงานที่ 2 การตรวจสอบสภาพภายนอกและซ่อม

สถานีงานที่ 3 กระบวนการตรวจรอยร้าวครั้งที่ 2

สถานีงานที่ 4 กระบวนการตรวจสอบขนาดและเจียรไนจุดเช็คความแข็ง

สถานีงานที่ 5 การตรวจความแข็งและป้องกันสนิม

โดยมีแผนผังสถานีงานและการไหลของกระบวนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสำเร็จหัวต่อแกนล้อหน้ารถยนต์ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนผังสถานีงานและการไหลของกระบวนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสำเร็จ

3.2ประเมินผลการปฏิบัติงานในปัจจุบัน

ทำการศึกษาเวลาของสายการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสำเร็จ ด้วยการแบ่งงานของแต่ละสถานีงานเป็นงานย่อยดังตารางที่ 2 แล้วจับเวลา 10 ค่า [2] โดยใช้ตารางของ Maytag ประยุกต์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และให้โอกาสคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 5% จากนั้นตรวจสอบด้วย rel.acc. = $2 \times \frac{\bar{R}}{\bar{x}} \times \frac{1}{d_2\sqrt{N}} \times 100\%$ [2] และปรับจำนวนการจับเวลาจนเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด แล้วหาค่าเวลาตัวแทน เมื่อปรับแก้ตามอัตราความเร็วและค่าเวลาเผื่อจะได้เวลามาตรฐาน ได้ผลดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 2 การแบ่งงานย่อยในแต่ละสถานีงาน

สถานีที่	กระบวนการ	งานย่อย
1	ตรวจรอยร้าวครั้งที่ 1 (1st Magnetic flux)	1. ตรวจสอบ Die mark ด้วยตาเปล่าและตรวจสอบ Spindle ด้วยเกจ 2. ทำสนามแม่เหล็กและราดน้ำยา MF ที่ชิ้นงาน 3. ตรวจสอบรอยร้าวด้วยสายตา 4. กดสวิทซ์ให้งานไหลลงจากสายพาน
2	ตรวจสอบสภาพภายนอกและซ่อม (Exterior check & Repair)	1. ตรวจสอบสภาพผิวภายนอก 2. ตรวจสอบการบิดงอของ Upper caliper ด้วยเกจ 3. ซ่อมรอยร้าวกรณีพบมาร์คสีเหลือง
3	ตรวจรอยร้าวครั้งที่ 2 (2nd Magnetic flux)	1. ทำสนามแม่เหล็กและราดน้ำยา MF ที่ชิ้นงาน 2. ตรวจสอบรอยร้าวด้านบนของชิ้นงาน (ด้าน Spindle) ด้วยสายตา และตรวจสอบความหนาด้วยเกจ 3. ตรวจสอบรอยร้าวด้านล่างของชิ้นงาน (ด้านตรงข้าม Spindle)
4	ตรวจสอบขนาดและเจียรไน จุดเช็คความแข็ง (Dimension check & Hardness check point grinding)	1. ตรวจสอบความกว้าง Upper arm และ Lower arm ด้วยเกจ 2. ตรวจสอบเส้น Machining ของชิ้นงานด้วยจิ๊ก 3. เจียรไนจุดเช็คความแข็ง 4. เดินไปที่จุดเจียรไน และกลับมาที่จุดตรวจสอบความกว้าง
5	ตรวจความแข็งและป้องกันสนิม (Hardness check & Rust protection)	1. กดผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Brinell 2. ตรวจวัดความแข็งด้วยกล้อง Microscope นับจำนวนและป้องกันสนิม 3. เดินไป-กลับ ระหว่างจุดตรวจวัดความแข็งกับจุดกดผลิตภัณฑ์ 4. เดินไป-กลับ เพื่อจัดเรียงงานในถัง

ตารางที่ 3เวลามาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพ KN409

สถานีงาน	งานย่อย	เวลาเฉลี่ย	Rating	%เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
1	1	9.21	96	42.5	12.60
	2	3.57	96	43.5	4.92
	3	8.30	92	40.5	10.73
	4	0.75	95	35.5	0.96
2	1	6.56	101	43.5	9.51
	2	4.88	100	41.5	6.91
	3	5.31	96	41.5	7.22
3	1	4.37	103	44.5	6.50
	2	5.69	98	41.5	7.90
	3	9.57	95	40.5	12.77
4	1	3.81	111	43.5	6.07
	2	7.24	102	48.5	10.96
	3	4.02	105	39.5	5.89
	4	1.16	130	34.5	2.03
5	1	6.93	93	44.5	9.31
	2	7.25	92	41.5	9.44
	3	1.75	98	34.5	2.31
	4	1.76	100	35.5	2.38

ตารางที่ 4 เวลามาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพ KN4010

สถานีงาน	งานย่อย	เวลาเฉลี่ย	Rating	%เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
1	1	8.39	105	42.5	12.55
	2	3.33	102	43.5	4.88
	3	7.49	103	40.5	10.83
	4	0.70	98	35.5	0.93
2	1	6.98	95	43.5	9.51
	2	4.90	100	41.5	6.93
	3	4.89	105	41.5	7.26
3	1	5.61	98	44.5	7.95
	2	5.63	100	41.5	7.97
	3	8.21	111	40.5	12.80
4	1	4.68	92	43.5	6.18
	2	7.44	99	48.5	10.94
	3	4.35	98	39.5	5.94
	4	1.43	101	34.5	1.94
5	1	6.31	102	44.5	9.30
	2	6.00	111	41.5	9.42
	3	1.59	109	34.5	2.33
	4	2.21	79	35.5	2.37

เนื่องจากทั้งสองรุ่นมีรูปร่างคล้ายคลึงกัน แตกต่างเพียงตำแหน่งที่ประกอบในรถยนต์ คือ KN409 อยู่ด้านล้อขวา KN410 อยู่ด้านล้อซ้าย รายละเอียดการตรวจสอบในแต่ละสถานีจะเหมือนกัน เวลามาตรฐานที่ได้จึงควรจะเท่าหรือใกล้เคียงกัน จากข้อมูลพบว่าเวลามาตรฐานของการตรวจสอบมีความใกล้เคียงกัน ดังนั้น เพื่อความสะดวกในการศึกษา ผู้วิจัยจึงทำการหาค่าเฉลี่ยเวลามาตรฐานของการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 รุ่น ในแต่ละสถานีงานได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เวลามาตรฐานเฉลี่ย KN409 และ KN410

สถานีงาน	กระบวนการ	เวลามาตรฐาน (วินาที)
1	ตรวจรอยร้าวครั้งที่ 1	29.20
2	ตรวจสอบสภาพภายนอกและซ่อม	23.67
3	ตรวจรอยร้าวครั้งที่ 2	27.95
4	ตรวจสอบขนาดและเจียรไนจุดเช็คความแข็ง	24.98
5	ตรวจความแข็งและป้องกันสนิม	23.43

จากนั้นทำการประเมินผลการปฏิบัติงานในปัจจุบันโดยการประเมินประสิทธิภาพสายการตรวจสอบกับการอัตราความสามารถการผลิตดังนี้

1.ประสิทธิภาพสายงาน $= \frac{129.23 \times 100\%}{5 \times 29.20} = 88.48\%$

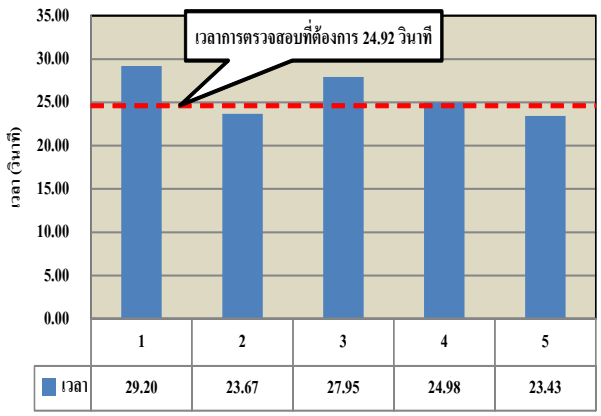
2.หาแทคไทม์ โดยบริษัทกรณีศึกษา มีการทำงาน 2 กะ ๆ ละ 640 นาที หรือเท่ากับ 1,280 นาที ต่อวันซึ่งรวมเวลาการทำงานล่วงเวลาแล้วในวันทำงานปกติแต่ละวัน ในแต่ละกะจะมีช่วงเวลาประชุม 30 นาที, รอรถโฟล์คลิฟท์ยกงาน 50 นาที, เวลาพัก 20 นาที ดังนั้นจะได้เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบทั้งวันเท่ากับ 1,280 – (30 x 2) – (50 x 2) – (20 x 2) = 1,080 นาที หรือ = 64,800 วินาที และความต้องการชิ้นงานที่ฝ่ายวางแผนการผลิตต้องการ คือ 1,300 ชิ้นต่อกะ หรือ 2,600 ชิ้นต่อวัน

$$\text{แทคไทม์} = \frac{64,800}{2,600} = 24.92 \text{ วินาทีต่อชิ้น}$$

จากนั้นนำค่าแทคไทม์ ที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับรอบเวลาการทำงานของแต่ละสถานีว่า มีสถานีงานใดบ้างที่พนักงานใช้เวลาเกินกว่าแทคไทม์ ที่ต้องการ ได้ผลดังตารางที่ 6 และรูปที่ 5

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบระหว่างเวลาทำงานจริงกับเวลาทำงานที่ต้องการ (หน่วย: วินาที)

หัวข้อ	สถานีการตรวจสอบ				
	1	2	3	4	5
เวลาการตรวจสอบจริง	29.20	23.67	27.95	24.98	23.43
เวลาการตรวจสอบที่ต้องการ	24.92	24.92	24.92	24.92	24.92
ความแตกต่าง	4.28	-1.25	3.03	0.06	-1.49



รูปที่ 5 เปรียบเทียบเวลาการตรวจสอบกับเวลาที่ต้องการ

ผลการประเมินบ่งชี้ว่าสถานีงานที่ 1,3 และ 4 ใช้เวลาเกินกว่าเวลาแทคไทม์ส่งผลต่ออัตราการผลิตที่ไม่สามารถตอบสนองต่อปริมาณความต้องการและเป็นเป้าหมายที่ต้องปรับปรุงแก้ไข

3.3 การวิเคราะห์ปัญหาและแก้ไข

สภาพปัญหาทั่วไปของสถานีงานที่มีเวลาเกินค่าแทคไทม์มาจากความเมื่อยล้าเนื่องจาก

สถานีงานที่ 1และ 3 กระบวนการตรวจสอบรอยร้าวครั้งที่ 1 และ 2 เป็นกระบวนการที่ใช้มือข้างเดียวในการยกชิ้นงานซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อชิ้น 7.3 กิโลกรัม ส่วนสถานีงานที่ 4 การตรวจสอบขนาดและเจียรไนจุดเช็คความแข็ง พนักงานต้องทำงานโดยการยกชิ้นงาน และเดินไป-มา ระหว่างจุดตรวจสอบขนาดและจุดเจียรไน

จึงได้วิเคราะห์สาเหตุและนำเสนอวิธีการปรับปรุงดังตารางที่ 7,8 และ 9

ตารางที่ 7 แนวทางการปรับปรุงปัญหาของสถานีงานที่ 1

ปัญหา	สาเหตุ/ มูลเหตุ	แนวทางการปรับปรุง
1. เกจวัดความสูง Spindle ไม่เหมาะสม	- เกจมีน้ำหนักมาก (0.90 kg) - ตรวจสอบ 2 ครั้ง จึงตัดสินใจ - ตอนเสียบเกจที่ Spindle ต้องเสียเวลาในการเล็ง	-ลดความหนาของเกจจาก 5 mm. เป็น 3 mm. - ออกแบบเกจใหม่ - ออกแบบให้เกจมีไกด์
2. หยิบเกจมาใช้ลำบาก	- ไม่มีตำแหน่งวางที่แน่นอน - เกจเป็นแบบแผ่น หยิบยากเมื่อวางแนบกับพื้นโต๊ะ	- กำหนดตำแหน่งของการวางและออกแบบเกจใหม่ให้สามารถวางตั้งได้
3. หยิบชิ้นงานยาก	-ชิ้นงานที่หล่นมาจากสาย พานทับกันจากสายพาน กับโต๊ะรับงาน ต่างระดับกัน	-ทำแผ่น Plate รับชิ้นงานให้งานไหลลงง่ายไม่ทับกัน
4. รอโฟร์คลิฟท์	-รถโฟร์คลิฟท์มีจำนวนน้อย	-พิจารณาซื้อรถโฟร์คลิฟท์และรับคนขับเพิ่ม
เมื่อยล้าจากยืนนาน	-ยืนบนพื้นแข็ง 2 ชั่วโมง จึงเปลี่ยนสถานีงาน	-ทำงาน 1 ชั่วโมง เปลี่ยนสถานีงาน 1 ครั้ง -ยืนบนพื้นนิ่มยางรอง
6. เมื่อยล้าจากการยกงาน	-งานตกจากแท่นวางทำสนามแม่เหล็ก และถูกดันออกมา ทำให้ต้องใช้แรงมากขึ้นในการยกงานไปจานหมุน	-ออกแบบแท่นวางสำหรับทำสนามแม่เหล็กใหม่ ล็อคชิ้นงานไม่ให้ตก

3.4ผลการปรับปรุงและผล

1.การปรับปรุงปัญหาใช้เวลาในการตรวจสอบมากของสถานีงานที่ 1 ดังรูปที่ 6,7, 8 และ 9

2.การปรับปรุงปัญหาใช้เวลาในการตรวจสอบมากของสถานีงานที่ 3 ดังรูปที่ 10,11,12

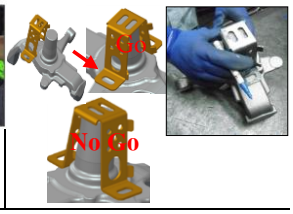
3.การปรับปรุงปัญหาใช้เวลาในการตรวจสอบมากของสถานีงานที่ 4 ดังรูปที่ 13

ตารางที่ 8 แนวทางการปรับปรุงปัญหาของสถานีงานที่ 3

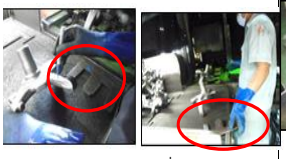
ปัญหา	สาเหตุ/ มูลเหตุ	แนวทางการปรับปรุง
1. หยิบเกจวัดความหนาของ Flange & Boss ลำบาก	- ไม่มีตำแหน่งวางที่แน่นอน - เกจเป็นแผ่น หยิบยากเมื่อวางแนบกับพื้นโต๊ะ - ตอนเสียบเกจที่ Spindle ต้องเสียเวลาในการเล็ง	-กำหนดตำแหน่งของการวาง - ออกแบบเกจใหม่ ให้มีฐานตั้งได้
2. ต้องหมุนชิ้นงานก่อนหยิบไปวาง ที่แท่นทำแม่เหล็ก	- ถ้าไม่ต้องหมุนชิ้นงาน จะพลิก เพราะ Conveyor กับโต๊ะงานต่างระดับกัน -แท่นวางสำหรับทำสนามแม่เหล็กออกแบบให้วาง Upper arm ทางด้านพนักงานได้อย่างเดียว	- ปรับระดับของ Conveyor หรือทำแผ่นPlate รับชิ้นงานไม่ให้งานพลิก -ออกแบบแท่นวางสำหรับทำสนามแม่เหล็กใหม่
3. . เมื่อยล้าจากการยืนเวลานาน	-ยืนบนพื้นแข็ง 2 ชั่วโมง จึงเปลี่ยนสถานีงาน	-เปลี่ยนสถานีงานทุกชั่วโมง -ยืนบนพื้นนิ่ม โดยใช้แผ่นไม้หรือยางรอง
4.เมื่อยล้าจากการยกงาน	-งานตกจากแท่นวางและถูกดันออกมา ทำให้ต้องใช้แรงมากขึ้นในการยกชิ้นงานไปที่จานหมุน	-ออกแบบแท่นวางสำหรับทำสนามแม่เหล็ก ใหม่ ล็อคชิ้นงานไม่ให้ตก

ตารางที่ 9 แนวทางการปรับปรุงปัญหาของสถานีงานที่ 4

ปัญหา	สาเหตุ/ มูลเหตุ	แนวทางการปรับปรุง
1.เกจวัดความกว้าง Upper arm และ Lower arm ไม่เหมาะสม	- เกจมีน้ำหนักมาก (0.85 kg)	-ลดความหนาเกจจาก 5 mm.เป็น 3 mm
2.หยิบเกจมาใช้งานลำบาก	-ไม่มีตำแหน่งวางที่แน่นอน - เกจเป็นแบบแผ่น หยิบยากเมื่อวางแนบกับพื้นโต๊ะ	-กำหนดตำแหน่งของการวาง -ออกแบบเกจใหม่ให้สามารถวางตั้งได้
3.เมื่อยล้าจากการทำงาน	-ต้องยืนทำงานซ้ำซากเป็นเวลานานถึง 2 ชั่วโมง จึงเปลี่ยนสถานีงาน -ต้องเอื้อมหยิบหรือใช้ขอเกี่ยวชิ้นงานเนื่องจากโต๊ะวางชิ้นงาน ยื่นออกมากีดขวางการยืน และจิ๊กตรวจสอบเส้น Machining วางอยู่ไกลจากสายพานที่งานออกมา	-เปลี่ยนสถานีงานทุกชั่วโมง -ตัดโต๊ะส่วนที่ยื่นออกมา หรือใช้ Conveyor รับงาน และขยับ Jig ให้ใกล้กับจุดที่งาน ออกมา

ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
- เกจหนา 5 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก 0.90 กิโลกรัม - ตรวจสอบ 2 ครั้ง จึงตัดสินใจได้ว่างานดีหรือเสีย - ตอนเสียบเกจที่ Spindle ต้องเสียเวลาในการเล็ง	- เกจหนา 3 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก 0.26 กิโลกรัม - ตรวจสอบครั้งเดียว ตัดสินใจได้ว่างานดีหรือเสีย - มีไกด์ตอนเสียบเกจ ไม่ต้องเสียเวลาในการเล็ง
	
แสดงการใช้เกจวัดความสูงของ Spindle	

รูปที่ 6 การปรับปรุงเกจที่ใช้วัดความสูง Spindle

ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
- ไม่มีตำแหน่งวางที่แน่นอน - เกจเป็นแผ่น หยิบยากเมื่อวางแนบกับพื้นโต๊ะ	- ทำที่สำหรับวางเกจ เพื่อกำหนดตำแหน่งการวาง จุดเดิมทุกครั้ง - เกจแบบใหม่วางตั้งได้ หยิบง่าย
	
แสดงตำแหน่งการวางเกจที่ไม่แน่นอนและหยิบใช้งานยาก	แสดงเกจวางตั้ง และวางที่ตำแหน่งเดิม

รูปที่ 7 การแก้ปัญหาการหยิบจับเกจ

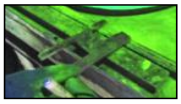
- ชิ้นงานหล่นทับกันเนื่องจากสายพานกับโต๊ะงานต่างระดับกัน	- ทำแผ่น Plate รับชิ้นงานให้งานไหลลงง่ายไม่ทับกัน
ชิ้นงานตกจากสายพานและทับกัน	แผ่น Plate รับชิ้นงาน

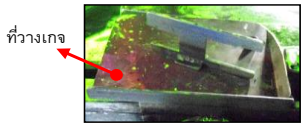
รูปที่ 8 การแก้ปัญหาการหยิบชิ้นงานยาก

ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
- ยืนทำงานบนพื้นแข็ง 2 ชั่วโมง จึงเปลี่ยนสถานีงาน	- ทำงาน 1 ชั่วโมง เปลี่ยนสถานีงาน 1 ครั้ง - ยืนบนแผ่นยาง เพื่อลดอาการเมื่อยล้า
การยืนทำงานบนพื้นแข็ง	ยางลดอาการเมื่อยล้า

รูปที่ 9 การแก้ปัญหาการยืน

ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
- ไม่มีตำแหน่งวางที่แน่นอน - เกจเป็นแบบแผ่น หยิบยากเมื่อวางแนบกับพื้นโต๊ะ - เกจหนา 5 มม มีน้ำหนัก 0.18 kg	- ทำที่สำหรับวางเกจ เพื่อกำหนดตำแหน่ง - ออกแบบเกจใหม่, วางตั้งได้ทำให้หยิบใช้ง่าย - เกจหนา3 มม มีน้ำหนัก 0.11 kg



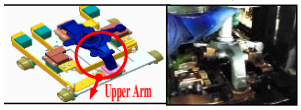


รูปที่ 10 การแก้ปัญหาการการวางเกจ

ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
- Conveyor กับโต๊ะงาน ต่างระดับกันถ้าวางแบบไม่ต้องหมุนชิ้นงาน ชิ้นงานพลิก - แท่นวางสำหรับทำสนามแม่เหล็กออกแบบให้วาง Upper arm ทางด้านพนักงานได้อย่างเดียว	- ออกแบบแท่นวางสำหรับทำสนามแม่เหล็กใหม่ ทำให้ไม่ต้องหมุนชิ้นงาน

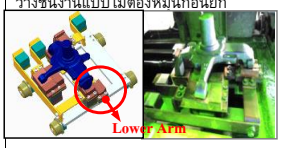
วางชิ้นงานแบบต้องหมุนก่อนยก

ชิ้นงานพลิกถ้าวางชิ้นงานแบบไม่ต้องหมุนก่อนยก



แสดงการวาง KN410 บนแท่นทำแม่เหล็ก

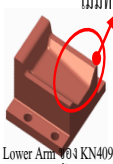
วางชิ้นงานแบบไม่ต้องหมุนก่อนยก

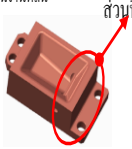


แสดงการวาง KN410 บนแท่นทำแม่เหล็ก

รูปที่ 11 การแก้ปัญหาการต้องหมุนชิ้นงาน

ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
- ชิ้นงานหล่นจากตำแหน่งที่วางหลังจากราดน้ำยา MF เสร็จและถูกดันออกมา	- ออกแบบแท่นทองแดงใหม่ ให้มีส่วนที่ล็อคไม่ให้ชิ้นงานหล่น





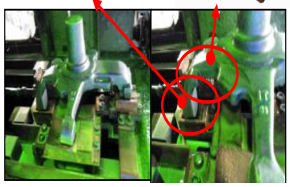
วาง Lower Arm ของ KN409,410

วาง Upper Arm ของ KN410

ชิ้นงานวางปกติ

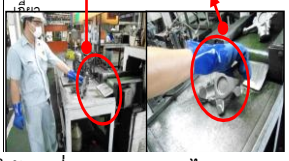
ชิ้นงานตกจากแท่นวาง

แสดงตำแหน่งของชิ้นงานบนแท่นวางสำหรับทำแม่เหล็ก



รูปที่ 12 การแก้ปัญหาการตกจากแท่นวาง

ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
- ทำงาน 2 ชั่วโมง เปลี่ยนสถานีงาน 1 ครั้ง - ต้องเอื้อมหยิบหรือใช้ขอเกี่ยวชิ้นงานเนื่องจากโต๊ะวาง ชิ้นงาน ยื่นออกมากีดขวางการยืน และจิ๊กที่ใช้ตรวจสอบเส้น Machining วางอยู่ไกลจากสายพานที่งานออกมา	- ทำงาน 1 ชั่วโมง เปลี่ยนสถานีงาน 1 ครั้ง - ตัดโต๊ะส่วนที่ยื่นออกมารับงาน และขยับจิ๊กให้ใกล้กับจุดงาน



รูปที่ 13 การแก้ปัญหาการใช้ขอเกี่ยวและเกจวางไกล

ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
- การวัดความกว้าง Upper armและ Lower arm ด้วยเกจ ก็มีการตรวจสอบลักษณะเดียวกันที่จิ๊ก	- ยกเลิกเกจวัดความกว้าง ใช้การตรวจสอบที่จิ๊กอย่างเดียว เพราะการตรวจสอบด้วยจิ๊กนั้น อ้างอิงการจับ ยึดที่เครื่องจักรของลูกค้า มีความถูกต้องในการตรวจสอบมากกว่า

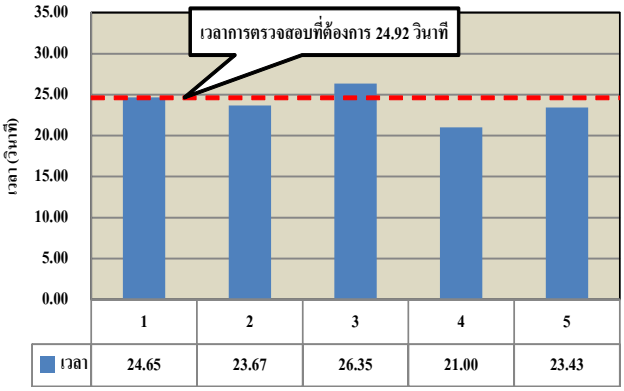
การตรวจสอบด้วยเกจ การตรวจสอบด้วยจิ๊ก

รูปที่ 13 การแก้ปัญหาการใช้เกจวัดความกว้าง

หลังการปรับปรุงได้ทำการวัดงานใหม่ได้ผลดังตารางที่ 10 และรูปที่ 14

ตารางที่ 10 เวลามาตรฐานเฉลี่ยของการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสำเร็จ

สถานีงาน	กระบวนการ	เวลามาตรฐานของสถานี (วินาที)	
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
1	ตรวจรอยร้าวครั้งที่ 1	29.20	24.65
2	ตรวจสอบสภาพภายนอกและซ่อม	23.67	23.67
3	ตรวจรอยร้าวครั้งที่ 2	27.95	26.35
4	ตรวจสอบขนาดและเจียรไนจุดเช็คความแข็ง	24.98	21.00
5	ตรวจความแข็งและป้องกันสนิม	23.43	23.43
ผลรวมเวลามาตรฐานทั้งหมด		129.23	119.10



รูปที่ 14 เปรียบเทียบเวลาการตรวจสอบกับเวลาที่ต้องการหลังปรับปรุง

หลังจากที่ได้ปรับปรุงการทำงานทั้ง 3 สถานีงาน คือ สถานีงานที่ 1 สถานีงานที่ 3 และสถานีงานที่ 4 พบว่าที่สถานีงานที่ 3 ยังมีเวลามาตรฐานที่เกินจากเวลาที่ต้องการ คือ 24.92 วินาที จึงต้องทำการปรับปรุงต่อโดย

พิจารณาปรับย้ายงานย่อยของสถานีงานที่ 3 ให้สถานีงานอื่นเพื่อแก้ปัญหาจุดคอขวดที่ยังเป็นอยู่โดย

1.การตรวจสอบความหนาของ Flange และ Boss ด้วยเกจ ที่สถานีงานที่ 3 เป็นกระบวนการตรวจสอบที่ต้องหมุนชิ้นงาน ปัจจุบันตรวจสอบบนจานหมุน พนักงานไม่ต้องออกแรงในการหมุนชิ้นงาน ดังนั้นสถานีที่เหมาะสำหรับขั้นตอนนี้จึงมีเฉพาะ สถานีงานที่ 1 กับสถานีงานที่ 3 ดังนั้น จึงเปลี่ยนการตรวจสอบความหนาด้วยเกจมาตรวจสอบที่สถานีงานที่ 1

2.เมื่อเปลี่ยนงานย่อยการตรวจสอบความหนาด้วยเกจมาที่สถานีงานที่ 1 จะทำให้เวลามาตรฐานรวมของสถานีงานที่ 1 เกินจากเวลาที่ต้องการ ดังนั้น จึงต้องเปลี่ยนการตรวจสอบ Die mark ด้วยตาเปล่า และตรวจสอบ Spindle ให้สถานีงานที่ 2 ทำเพราะที่สถานีงานที่ 2 มีการตรวจสอบสภาพผิวภายนอกซึ่งเป็นงานที่ต่อเนื่องกันอยู่แล้ว และการย้ายงานย่อย 2 งานนี้มาตรวจสอบที่สถานีงานที่ 2 มีความเหมาะสมมากกว่าเพราะมีแสงสว่างเพียงพอ ง่ายแก่การตรวจสอบของพนักงาน

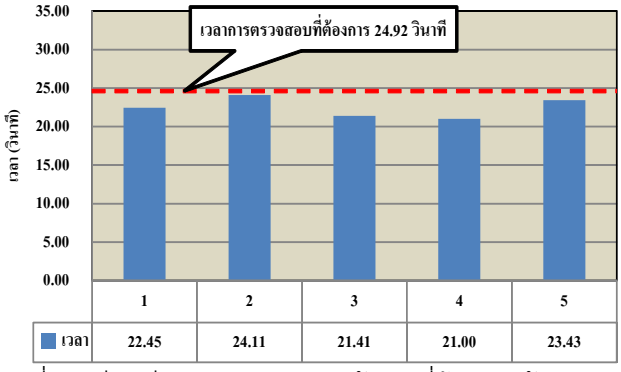
3.ถ้าทำการตรวจสอบ Die mark ด้วยตาเปล่า และตรวจสอบ Spindle ที่สถานีงานที่ 2 จะทำให้เวลามาตรฐานรวมของสถานีงานที่ 2 เกินจากเวลาที่ต้องการ เกิดจุดคอขวดใหม่ขึ้นที่สถานีงานนี้ จึงต้องลดงานย่อยที่ทำอยู่เดิมลง ซึ่งการตรวจสอบการบิดงอของ Upper caliper ด้วยเกจ สามารถปรับปรุงรวมเข้าด้วยกันกับจิ๊กตรวจสอบเส้น Machining ของชิ้นงานที่สถานีงานที่ 4 ได้ โดยที่เวลาการตรวจสอบของสถานีงานที่ 4 ไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการตรวจสอบการบิดงอของ Upper caliper ทำพร้อมกันกับการตรวจสอบ Lower caliper เป็นการทำงานที่มือซ้ายกับขวาเคลื่อนไหวพร้อมกัน ผลการปรับปรุงโดยการย้ายงานย่อยดังกล่าวดังตารางที่ 11และรูปที่ 15 สรุปผลการปรับปรุงได้ดังนี้

1.ประสิทธิภาพ = $\frac{112.40 \times 100\%}{5 \times 24.11}$ = 93.24 เปอร์เซนต์

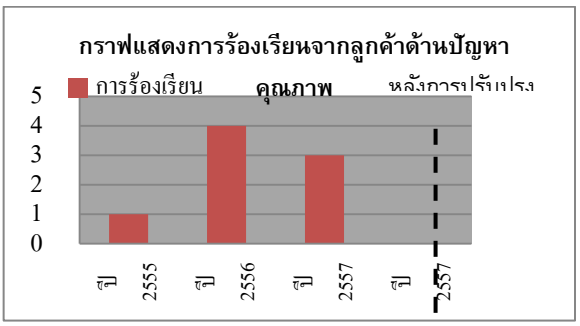
2.ผลผลิตมาตรฐานหลังการปรับปรุง = 2,687 ชิ้นต่อวัน จากผลผลิตมาตรฐานที่ได้ คือ 2,687 ชิ้นต่อวัน ซึ่งมากกว่าแผนงานที่วางไว้ คือ 2,600 ชิ้นต่อวัน ทำให้ไม่ต้องทำงานล่วงเวลาในวันเสาร์และอาทิตย์ ทำให้สามารถลดการเหนื่อยล้าของพนักงานและลดต้นทุนในส่วนของค่าล่วงเวลาได้อีกด้วยและเพื่อ ให้มั่นใจว่าการปรับปรุงไม่ส่งผลกระทบกับคุณภาพของชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบจาก Finishing line no.3 จึงได้เฝ้าติดตามและข้อมูลทั้งจากสายการตรวจคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสำเร็จ และจากการร้องเรียนของลูกค้า ซึ่งพบว่าการปรับปรุงดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบใด ๆ กับคุณภาพของชิ้นงาน ดังรูปที่ 15

ตารางที่ 11 เวลามาตรฐานเฉลี่ยของการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ขั้นสำเร็จหลังย้ายงานย่อยของสถานีงานที่ 3

สถานีงาน	กระบวนการ	เวลามาตรฐานของสถานี (วินาที)	
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
1	ตรวจรอยร้าวครั้งที่ 1	29.20	22.45
2	ตรวจสอบสภาพภายนอกและซ่อม	23.67	24.11
3	ตรวจรอยร้าวครั้งที่ 2	27.95	21.41
4	ตรวจสอบขนาดและเจียรไนจุดเช็คความแข็ง	24.98	21.00
5	ตรวจความแข็งและป้องกันสนิม	23.43	23.43
ผลรวมเวลามาตรฐานทั้งหมด		129.23	112.40



รูปที่15 เปรียบเทียบเวลาการตรวจสอบกับเวลาที่ต้องการหลังการย้ายงานสถานีงานที่ 3



รูปที่16 จำนวนครั้งของการร้องเรียนจากลูกค้าเรื่องปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ช่วงปี 2555 ถึงปี 2557

4.สรุปผลการดำเนินการ

ภายหลังจากการปรับปรุงทั้งสองรอบทำให้สายการตรวจสอบสามารถบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้คือ สามารถลดรอบเวลาการผลิตจาก 29.20 วินาทีต่อชิ้นเหลือ 24.11 วินาทีต่อชิ้น ลดลง 17.43% ส่งผลให้อัตราการผลิตเพิ่มจาก 2,219 ชิ้นต่อวัน เป็น 2,687 ชิ้นต่อวันคิดเป็น 21.09% และมากกว่าค่าเป้าหมายที่ 2,600 ชิ้นต่อวัน ในขณะที่ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 88.48% เป็น 93.24% หรือเพิ่มขึ้น 4.67% ดังสรุปไว้ในตารางที่ 12 และ 13

ตารางที่ 12 สรุปผลเวลามาตรฐานในการตรวจสอบแต่ละสถานีงานหลังการปรับปรุง และแบ่งงานย่อยใหม่

สถานีงาน	กระบวนการ	เวลามาตรฐานของสถานี (วินาที)		
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	หลังปรับปรุงและแบ่งงานย่อย
1	ตรวจรอยร้าวครั้งที่ 1	29.20	24.65	22.45
2	ตรวจสอบสภาพภายนอกและซ่อม	23.67	23.67	24.11
3	ตรวจรอยร้าวครั้งที่ 2	27.95	26.35	21.41
4	ตรวจสอบขนาดและเจียรไนจุดเช็คความแข็ง	24.98	21.00	21.00
5	ตรวจความแข็งและป้องกันสนิม	23.43	23.43	23.43

ตารางที่ 13 สรุปผลภาพรวมของการปรับปรุง

หัวข้อ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ผลต่าง
อัตราการผลิต	2,219 ชิ้นต่อวัน	2,687 ชิ้นต่อวัน	เพิ่มขึ้น 468 ชิ้นต่อวัน คิดเป็น 21.09%
ประสิทธิภาพสายการตรวจสอบ	88.48 เปอร์เซ็นต์	93.24%	เพิ่มขึ้น 4.67%
รอบเวลาการผลิต	29.20 วินาที	24.11 วินาที	ลดลง 5.09 วินาที คิดเป็น 17.43%

เอกสารอ้างอิง

[1] ธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ, อำนาจเจริญ อินทดก การเพิ่มผลผลิตด้วยเทคนิคการซ่อมบำรุงเครื่องจักร, การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2557

[2] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, การศึกษางานอุตสาหกรรม, บริษัทสำนักพิมพ์ท้อป จำกัด,หน้า 267-268,298, 2551

[3] เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล, การศึกษางาน , กรุงเทพฯ, ประกอบเมไตร,2539

[4] จักรกฤษณ์ ฮั่นยะลา, การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตในโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปด้วยเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา,ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการอุตสาหกรรมม,มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552

[5] ไชยา วรสิงห์, การเพิ่มผลิตภาพการผลิตโดยการศึกษาการทำงาน กรณีศึกษา:โรงงานผลิตชิ้นส่วนและอะไหล่เครื่องจักร, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552

[6] ดนัยนาท นิ่มนวล., การปรับปรุงสายการผลิตในกระบวนการผลิต Engine pipe,ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2554

[7] เอกรัฐชัย ยวดยิ่ง., การใช้เทคนิคการศึกษางานสำหรับการเพิ่มผลิตภาพการผลิต พาเลทเหล็ก. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมการจัดการตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมพระนครเหนือ. 2555

[8] วันชัย ริจิรวนิช. ,การศึกษาการทำงาน: หลักการและกรณีศึกษา,กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2555

[9] วิจิตร ตัณฑสุทธิ์.,, การศึกษาการทำงาน. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2545

การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้โดยใช้เทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา

Wooden Furniture Process Improvement Using Motion and Time Study Technique

ชนนาถ กฤตวรกาญจน์*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200, E-mail*: chonnanath.krit@gmail.com

Chonnanath Kritworakarn*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Chiang Mai University, Muang, Chiang Mai 50200, E-mail*: chonnanath.krit@gmail.com

บทคัดย่อ

ผู้บริหารของโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้แห่งหนึ่งมีความต้องการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้น จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า โรงงานแห่งนี้ผลิตสินค้าหลากหลายชนิด ทำให้การไหลของวัสดุค่อนข้างวกวน เครื่องจักรบางเครื่องทำงานไม่เหมาะสม ทำให้มีอัตราการผลิตไม่สอดคล้องกับกำลังการผลิตที่ต้องการ ผู้วิจัยได้นำเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลามาใช้ในการปรับปรุง โดยเลือกศึกษาที่กระบวนการเตรียมไม้ ที่เครื่องเลื่อยซุ้ม เนื่องจากเป็นจุดที่มีกำลังการผลิตค่อนข้างต่ำ การปรับปรุงงานใช้หลักการ ECRS พบว่า กำลังผลิตเดิมโดยเฉลี่ยที่ 944 ท่อนต่อ 0.5 วัน หลังการปรับปรุง กำลังการผลิตใหม่ได้เพิ่มโดยเฉลี่ยเป็น 1,440 ท่อนต่อ 0.5 วัน ดังนั้นการปรับปรุงครั้งนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยเฉลี่ยถึง 53.17%

คำหลัก การปรับปรุงประสิทธิภาพ เฟอร์นิเจอร์ไม้ การเคลื่อนไหวและเวลา

Abstract

The management of a wooden furniture factory would like to improve the manufacturing process in order to enhance production performance. The primary study found that this plant produces various types of product. The material flows are rather circuitous. Some machines are not working properly. It is not consistent with the rate of production capacity needed. Motion and Time Study technique is deployed. The wood preparation process is selected. According to productivity of this process is relatively low. Tilting arbor saw machine is studied. ECRS method is deployed in this process. Result is shown that the old productivity of the machine was, on average, 944 pieces per 0.5 day. After improvement, the new production of the planer is, on average, 1,440 pieces per 0.5 day. Therefore, the productivity is increased by an average of 53.17%.

Keywords: productivity improvement, wooden furniture, motion and time study

1. บทนำ

การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานเป็นกิจกรรมที่ผู้บริหารในโรงงานต่าง ๆให้ความสนใจดำเนินการมาโดยตลอด สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย เมื่อรัฐบาลไทยได้ประกาศปรับเพิ่มค่าแรงขั้นต่ำของแรงงานทั่วประเทศเป็น 300 บาทต่อวัน พ.ศ. 2555 [1] โรงงานอุตสาหกรรมในภูมิภาคต่าง ๆของประเทศล้วนได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง เมื่อเทียบกับโรงงานอุตสาหกรรมในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งเดิมโรงงานในเขตพื้นที่เหล่านี้ถูกกำหนดให้มีค่าแรงขั้นต่ำวันละ 215 บาทต่อวันอยู่แล้ว จึงเป็นการเพิ่มขึ้นที่ไม่มากเท่าใด แต่สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมในต่างจังหวัด ซึ่งแต่เดิมมีค่าแรงขั้นต่ำเพียง 161-190 บาทต่อวัน จึงเกิดผลกระทบด้านลบต่อการดำเนินธุรกิจอย่างมาก

ในด้านของพนักงาน ผลของนโยบายของรัฐบาลดังกล่าวย่อมส่งผลดีต่อการครองชีพ เพราะสามารถเพิ่มรายได้ขึ้นมา ทำให้มีชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การดำเนินนโยบายดังกล่าว อาจมีผลทำให้โรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก โดยเฉพาะโรงงานขนาดเล็กไม่สามารถรองรับผลกระทบดังกล่าวได้ อาจปิดกิจการลงไป ส่งผลกระทบต่อพนักงานของโรงงานที่อาจจะตกงานต่อเนื่องไปอีก

รัฐบาลไทยได้ตระหนักถึงผลกระทบนี้เช่นกัน จึงมีนโยบายให้หน่วยงานของรัฐต่าง ๆที่เกี่ยวข้องกับโรงงานอุตสาหกรรม เร่งให้ความช่วยเหลือ เช่นกระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงมหาดไทย เป็นต้น รวมทั้งสถาบันการเงินของรัฐต่าง ๆ เข้าให้ความช่วยเหลือแก่โรงงานอุตสาหกรรมในรูปแบบต่าง ๆ

ผลของการปรับขึ้นค่าแรงขั้นต่ำนี้ ได้มีการศึกษาผลกระทบของนโยบายนี้ พบว่า ประสิทธิภาพของแรงงานโตไม่ทันค่าแรงที่เพิ่ม [2] จึงต้องเร่งปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานให้เพิ่มขึ้นโดยเร็ว

การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา เป็นเทคนิคที่เก่าแก่ที่สุดของสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และเป็นเทคนิคที่วิศวกรอุตสาหการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการผลิต [3]

เทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา เป็นเทคนิคที่ใช้ง่าย มีขั้นตอนการทำงานที่แน่นอน เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ สามารถหาได้ทั่วไป เช่น นาฬิกาจับเวลา เครื่องคิดเลขแบบธรรมดา เป็นต้น รวมทั้งวิธีการคำนวณ ก็มีสูตรคำนวณที่แน่นอน เป็นการเก็บข้อมูลจากการทำงานจริงและเมื่อมีการปรับปรุง ก็เป็นการปรับปรุงที่บริเวณงานและวิธีการทำงานจริง จึงมีความน่าเชื่อถือและได้รับความนิยม

2. การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา

2.1 การศึกษาการเคลื่อนไหว

เป็นการศึกษาขั้นตอนการทำงานตามความจริงในบริเวณงาน เครื่องมือในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนไหวได้แก่ แผนภูมิกระบวนการผลิต (Process Chart) โดยมีการแยกการทำงานออกเป็น 5 กลุ่มย่อย คือ การปฏิบัติงาน การเคลื่อนที่ การตรวจสอบ การรอ (ล่าช้า) และ การจัดเก็บ

ส่วนเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงการเคลื่อนที่ มี 4 วิธี ดังนี้ การขจัด การรวมงาน การจัดลำดับใหม่ และการทำให้ง่าย โดยมุ่งเป้าไปที่การลด การเคลื่อนที่ การรอ ให้เหลือเท่าที่จำเป็น

2.2 การศึกษาเวลา

จากขั้นตอนการทำงานในแผนภูมิการผลิตที่ได้ในหัวข้อ 2.1 ในแต่ละขั้นตอนจะมีการจับเวลา เวลาที่ได้จากการปฏิบัติงานจริงนี้ เรียกว่า เวลาจริง

นำเวลาจริงมาคำนวณหาเวลาปกติ ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์ของหัวหน้างานนั้น หรือของผู้เก็บข้อมูล ให้อัตราการทำงานนั้นกับเวลาจริงที่เก็บมาได้

การคำนวณหาเวลาปกติ (Normal Time) ของแต่ละงานย่อยได้จากสมการที่ 1

$$\textbf{Normal Time} = \textbf{Selected Time} \times \textbf{Rating Factor} \quad (1)$$

เมื่อทราบค่าเวลาปกติ (Normal Time) และเวลาลดหย่อน (Allowance Time) แล้วสามารถคำนวณหาค่าเวลาของการทำงานมาตรฐานได้จากสมการที่ 2

$$Std = NT (1 + A) \quad (2)$$

เมื่อ Std = เวลามาตรฐาน (Standard Time)
NT = เวลาปกติ (Normal Time)
A = เวลาลดหย่อน (Allowance Time มักอยู่ ในรูป % ของเวลาปกติ)

3. ข้อมูลเบื้องต้น

ผู้บริหารงานของโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้แห่งหนึ่งในภาคเหนือ มีความประสงค์ที่จะปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากความต้องการของลูกค้าเพิ่มมากขึ้น เทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลาจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษานี้

โรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้แห่งนี้ เป็นโรงงานขนาดปานกลาง มีพนักงานจำนวน 150 คน ผลิตภัณฑ์หลักของโรงงาน มีทั้งโต๊ะ เก้าอี้ เขียงไม้ ชามไม้ แบบต่างๆ และไม้พื้น เนื่องจากมีลูกค้าที่เป็นโรงแรม หมู่บ้านจัดสรร และคอนโดมิเนียมจำนวนมากในภาคเหนือ มีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ หรือใช้ไม้ในการตกแต่งอาคาร ทางโรงงานจึงต้องการเพิ่มกำลังการผลิต ส่วนวัตถุดิบที่นำมาใช้ เป็นไม้ท่อนขนาดใหญ่ ที่เป็นต้นไม้ที่ถูกตัดเป็นท่อนๆ (ยังไม่ได้ถูกแปรรูปมาก่อน) และถูกลำเลียงเข้ามาเก็บไว้ในโรงงาน

กระบวนการผลิต เริ่มจาก การนำไม้ท่อนขนาดใหญ่มาผ่าแยกและตัดออกเป็นท่อนเล็กๆตามขนาดที่ต้องการ แล้วนำไม้ท่อนเล็กเหล่านี้ไปอบเพื่อให้ไม้มีความชื้นตามที่กำหนด จึงนำไม้ที่ผ่านการอบแล้วมาแปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์ตามที่ลูกค้าต้องการ ไม้ขนาดเล็ก (ที่ตกขนาด) จะถูกแยกไปทำไม้พื้น (ไม้ปาร์เก้) ซึ่งไม้จะถูกตัดให้ได้ขนาด และนำมาอัดเข้าด้วยกันด้วยกาว หรือเทคนิคการประสานไม้แบบต่างๆตามความเหมาะสม จากนั้นนำไปขัดผิว ทาสี ตรวจสอบคุณภาพ และนำไปบรรจุ

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่า กระบวนการผลิตของโรงงานส่วนใหญ่ พนักงานต้องทำงานร่วมกับเครื่องจักรทั้งขนาดใหญ่ เช่น เตาอบไม้ เลื่อยวงเดือนขนาดใหญ่ เครื่องขัดไม้พื้น เป็นต้น หรือขนาดเล็ก เช่น เครื่องเลื่อยซุ้มไม้ (เครื่องผ่าแยกไม้) กำลังการผลิตของโรงงาน จึงแปรไปตามความสามารถของเครื่องจักร แม้จะมีงานบางอย่างที่ต้องอาศัยแรงงานคนเป็นหลัก เช่น การคัดแยกเศษไม้ การตกแต่ง การบรรจุ เป็นต้น แต่ไม่มีผลกระทบต่อเป้าหมายการผลิตมากนัก

ผู้วิจัยมีความสนใจในขั้นตอนการตัดไม้เป็นท่อนเล็กให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ และเลือกศึกษาการผ่าแยกไม้ขนาด 50x75x13 ม.ม. (ก*ย*ส) ของเครื่องเลื่อยซุ้มไม้ เนื่องจากทางโรงงานต้องตัดไม้หลายขนาดใน 1 วัน ทำให้การเก็บข้อมูลไม่สามารถทำได้ต่อเนื่องตลอดทั้งวัน อย่างไรก็ตามจากความร่วมมือของทางโรงงาน การเก็บข้อมูลจึงทำได้ได้คราวละครึ่งวันทำงาน เป็นเวลา 5 วัน

4. ผลการศึกษา

ข้อมูลเวลามาตรฐานที่ได้จากการใช้สมการ (1) และ (2) ของพนักงานประจำเครื่องเลื่อยซุ้ม ที่ต้องทำงานกับเครื่องเลื่อยซุ้ม 2 เครื่อง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของพนักงานกับเครื่องเลื่อยซุ้มไม้จำนวน 2 เครื่อง ก่อนการปรับปรุงงาน

ลำดับที่	งานย่อย*	เวลามาตรฐาน (วินาที)
1	เดินไปหยิบไม้ที่กองอยู่	8.3
2	เดินกลับมาที่เครื่องจักร 1	
3	ตรวจดูขนาดไม้	
4	ใส่ไม้เข้าในเครื่อง 1	12.5
5	เดินไปและหยิบหยิบไม้ที่กองอยู่	8.1
6	เดินกลับมาที่เครื่องจักร 2	
7	ตรวจดูขนาดไม้	
8	ใส่ไม้เข้าในเครื่อง 2	12.5
9	เดินมาที่เครื่อง 1	5.5
10	ดึงไม้ออกจากเครื่อง 1 และนำไปวางบนพาเลต	
11	เดินไปที่เครื่อง 2	5.9
12	ดึงไม้ออกจากเครื่อง 2 และนำไปวางบนพาเลต	
	รวม	52.8

จากการเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานพบว่า มีงานบางงานใช้เวลาทำงานสั้นมาก น้อยกว่า 5 วินาที จึงรวมงานย่อยเข้าด้วยกัน ดังแสดงไว้ในรูป

รูปที่ 1 การรวมงานย่อยของการเลื่อยแยกไม้

เวลาทั้งหมดที่ใช้ทำงาน 0.5 วัน (240 นาที)และหักเวลาพักย่อยไป 10 นาที จึงมีเวลาทำงาน (240 - 10) = 230 นาที ใช้เวลาทำงาน 52.8 วินาที (0.88 นาที) ต่อรอบ ได้ไม้จำนวน 4 ท่อน ดังนั้นปริมาณไม้ที่ควรผลิตได้ประมาณ 1,046 ท่อน แต่ในทางปฏิบัติ ผลิตได้โดยเฉลี่ยเพียง 944 ท่อนต่อ 0.5 วัน เท่านั้น

จากการสังเกตการทำงานและสอบถามกับกลุ่มพนักงาน พบว่า พนักงานต้องใช้เวลาตรวจสอบขนาดไม้ก่อนนำเข้าเครื่อง ถ้าพบไม้ไม่ได้ขนาดจะต้องคัดแยกไว้ต่างหาก เพราะถ้าผ่าแยกไปจะทำให้ได้ไม้ทั้งที่ได้ขนาดและไม่ได้ขนาด นอกจากนั้นยังทำให้การผ่าแยกไม้ทำได้ทีละท่อน แต่ถ้ามีการไสคุมขนาดมาดี จะสามารถใส่ไม้ได้คราวละ 2 ท่อน แล้วจะได้ไม้ออกมาจำนวน 4 ท่อน สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้เท่าตัว ซึ่งแนวคิดดังกล่าวเป็นการขจัดงานที่ไม่จำเป็นออกไป (Eliminate)

จึงได้ทำการทดลองโดยการให้พนักงานแยกไม้ที่ได้ขนาดออกจากกองไม้เสียก่อน แล้วทดลองทำงานตามปกติ ผลการปรับปรุงได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ข้อมูลหลังการปรับปรุงงาน

ลำดับที่	งานย่อย*	เวลามาตรฐาน (วินาที)
1	1, 2	5.7
2	4	12.5
3	5, 6	5.9
4	8	12.5
5	9,10	5.5
6	11, 12	5.8
	รวม	47.9

จากตารางที่ 2 พบว่าใช้เวลาทำงาน 47.9 วินาที (0.80 นาที) ต่อรอบ ได้ไม้จำนวน 4 ท่อน ต่อเครื่องซุ้ม 2 เครื่อง ดังนั้นปริมาณไม้ที่ควรผลิตได้ประมาณ 1,150 ท่อน โดยที่เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบขนาดของไม้ถูกตัดออกไป (งานย่อยที่ 3 และ 7) แต่ในทางปฏิบัติ ผลิตได้โดยเฉลี่ย 1,446 ท่อนต่อ 0.5 วัน มากกว่าอัตราการผลิตที่คำนวณได้ทั้งนี้เป็นเพราะบางครั้งสามารถใส่ไม้ได้คราวละ 2 ท่อน ต่อเครื่องซุ้ม 1 เครื่อง

หากทำการคำนวณใหม่ ให้พนักงานสามารถใส่ไม้ได้คราวละ 2 ท่อน ต่อเครื่องซุ้ม 1 เครื่อง ซึ่งจะเพิ่มผลผลิตขึ้นเป็น 2 เท่า ปริมาณไม้ที่ผลิตได้ควรมากถึง 2,300 ท่อนต่อ 0.5 วัน แต่ในทางปฏิบัติ ขนาดของไม้ที่อยู่ในกองไม้วัตถุดิบนั้น ไม่ได้ขนาดตามที่กำหนดเป็นจำนวนมาก จึงทำให้ได้ผลผลิตไม่สอดคล้องกับผลการคำนวณ

ผลของการปรับปรุงกระบวนการทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเป็น (1,446 – 944) / 944 x 100% = 53.17% ซึ่งเป็นการคำนวณจากการมีไม้ที่ได้ขนาดที่มีอยู่เท่านั้น ถ้าหากไม้ที่ถูกเตรียมมาได้ขนาดทั้งหมดกำลังการผลิตอาจเพิ่มขึ้นได้อีก

5. การอภิปรายผล

แม้ว่าผลการปรับปรุงการทำงานที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลการคำนวณ เนื่องจากขนาดของไม้ที่นำเข้าสู่เครื่องซุ้มไม่ได้ขนาดตามที่กำหนด แต่ก็เป็นแนวทางในการปรับปรุงการทำงานของกระบวนการเตรียมไม้ เพื่อเตรียมไม้ให้ได้ขนาดที่กำหนดต่อไป

การเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ในการศึกษานี้ผู้บริหารองค์กรไม่ต้องลงทุนในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อื่นใด สำหรับปัญหาที่นำเสนอข้างต้น แนวทางการปรับปรุงเป็นการเตรียมวัตถุดิบให้ตรงตามข้อกำหนดของแต่ละแผนก ทำให้ลดงานย่อยที่ไม่จำเป็นลงได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้มีสาเหตุจากการขาดการตรวจสอบคุณภาพการผลิตและพนักงานไม่ต้องการตำหนิซึ่งกันและกัน

การปรับปรุงกระบวนการทำงานขึ้นในกระบวนการหนึ่งกระบวนการใดในสายการผลิตดังเช่นในกรณีศึกษานี้อาจมีผลต่อเนื่องทำให้เกิดการปรับปรุงการทำงานของกระบวนการก่อนหน้าหรือหลังกระบวนการนี้ได้

การตรวจสอบความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรเทียบกับปริมาณงานที่ทำได้ เป็นอีกจุดหนึ่งของการติดตามสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะกับโรงงาน

ที่ตั้งมานาน และมีการใช้เครื่องจักรเก่าๆเป็นจำนวนมาก ผู้บริหารอาจไม่ได้ใส่ใจมากนัก เพราะคิดว่าปริมาณงานที่ได้อาจเกิดมาจากความเสื่อมประสิทธิภาพของเครื่องจักร จึงยอมรับในปริมาณการผลิตที่ได้โดยง่าย ทำให้ไม่ได้ตรวจสอบในเรื่องอื่นๆ

6. สรุป

การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานเป็นงานที่สามารถกระทำได้ต่อเนื่องผ่านการบริหารอย่างเป็นระบบ เช่น การใช้กลุ่มกิจกรรมคุณภาพ ระบบข้อเสนอแนะ เป็นต้น

ผู้บริหารการจัดให้มีการบันทึกผลการปฏิบัติงานของแต่ละหน่วยงานย่อยในแต่ละวัน เช่น จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ จำนวนของเสียที่เกิดขึ้น เป็นต้น อาจช่วยให้ผู้บริหารมองเห็นปัญหาที่เกิดชัดเจนขึ้น ซึ่งโดยปกติโรงงานอุตสาหกรรมเกือบทุกแห่ง มีแนวทางปฏิบัติเช่นนี้อยู่แล้ว แต่อาจบันทึกผลการปฏิบัติงานเฉพาะแผนกใหญ่ๆ

การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน สามารถให้พนักงานระดับปฏิบัติการ ลงมือทำได้โดยไม่ต้องอาศัยวิศวกรคอยกำกับดูแลอยู่ตลอดเวลา หากแต่ต้องการหัวหน้างานที่เอาใจใส่ก็สามารถกระทำได้

เอกสารอ้างอิง

[1] กองนิติการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย “ผลกระทบการเพิ่มค่าแรงขั้นต่ำเป็น 300 บาทต่อวัน” ข้อมูลจาก department.utcc.ac.th/legal/index.php/8-news-event/20-europe (วันที่สืบค้น 1 มีนาคม 2558)

[2] ผู้จัดการออนไลน์ “รายงาน 2 ปี: ค่าแรงขั้นต่ำ 300 บาท” 10 ส.ค. 2557 ข้อมูลจาก www.manager.co.th/Home/vIewNews.aspx?NewsID9570000090890 (วันที่สืบค้น 1 มีนาคม 2558)

[3] อิสรา ธีระวัฒน์สกุล, การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548.

การประยุกต์ใช้ผังกระบวนการ และการจำลองด้วยโปรแกรม Arena ® สำหรับการลดรอบระยะเวลาและกระบวนการในการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้องขอความอนุเคราะห์เพื่อให้ดำเนินการทดสอบคุณภาพของวัสดุก่อสร้าง กรณีศึกษา หน่วยงานราชการแห่งหนึ่ง

Application of Process Chart and Arena ® for Reduce Time and Process of Registration for Testing Material A Case Study : A Government Agency

บัญชา ศิริปการ[1*] คมกฤช ปิติฤกษ์[2]
[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
E-Mail: double_nutt@hotmail.com*
Bancha Siripakarn[1*] Komkrit Pitiruek[2]
[1,2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University
E-Mail: double_nutt@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ในยุคปัจจุบันนี้ เป็นช่วงเวลาแห่งการปรับตัวให้เข้ากับกระแสการเปลี่ยนแปลงอันรวดเร็วของโลก ประเทศไทยของเราเองก็เช่นกัน เรามีความจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนา ปรับปรุงและเปลี่ยนแปลง ระบบ ระเบียบ แนวคิด และวิธีการต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการบริหารงานและพัฒนาประเทศ มิเช่นนั้นอาจทำให้เราเป็นฝ่ายเสียเปรียบเมื่อเราต้องต่อสู้และแข่งขันในเวทีโลก ซึ่งระบบราชการของประเทศเองนั้น โดยเฉพาะในส่วนของภาคการบริการ ก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญในการที่จะช่วยผลักดันให้ประเทศก้าวเดินต่อไปเช่นกัน ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการปฏิรูประบบและระเบียบต่างๆให้มีความทันสมัย มีความรวดเร็ว และเพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้มาขอรับบริการ และสำหรับบทความที่จะได้นำเสนอต่อไปนี้ เนื้อหาของบทความได้นำเสนอถึงการลดรอบระยะเวลาและกระบวนการในการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้องขอความอนุเคราะห์เพื่อให้ดำเนินการทดสอบคุณภาพของวัสดุก่อสร้างของหน่วยงานราชการแห่งหนึ่ง โดยการใช้ผังกระบวนการ และการจำลองด้วยโปรแกรม Arena เป็นเครื่องมือเพื่อช่วยในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาในส่วนของการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าว เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและทันสมัยมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ ผังกระบวนการ, การลดรอบระยะเวลา, การลดกระบวนการ, การจำลองด้วย Arena

Abstract

Recently, it is the time to adjust ourselves rapidly to the World's trend of change. For our country, Thailand must be adjusting as well. System, rule, concept, and many approaches need to be developed, improved, and changed in order to enhance the governmental management; otherwise, Thailand may be adverse when it has to struggle and compete in terms of economic issue all over the world competition. The country's

government system, especially in the part of service is equally significant to push forward the country's progress continually as well. Therefore, it needs to have a system to be reformed as well as any rules to be updated, fast, and convenient for clients. For this paper, Process chart will be applied to reduce time and process of registration for testing material with the help of Arena. The results show that process chart and simulation by Arena program helps the organization to analyze and solve the existing problems so that the improved process will be more efficient.

Key words: Process Chart, The Time Cycle Reduction, The Process Time Reduction, Simulation with Arena

1.บทนำ

ในปัจจุบันการทดสอบคุณภาพของวัสดุก่อสร้างก่อนนำมาใช้งานเป็นสิ่งที่จำเป็น และได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ทั้งในส่วนของภาครัฐ ไม่ว่าจะเป็น กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น หรือภาคเอกชนก็ตาม ทั้งนี้ เพราะภาครัฐและภาคเอกชนเองล้วนต้องการให้โครงการก่อสร้างต่างๆที่ตน ได้ลงทุนไป ไม่ว่าจะเป็น การก่อสร้างถนน สะพาน อาคาร เป็นต้น มีคุณภาพ มีความแข็งแรงทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และมีความปลอดภัยเมื่อใช้งาน ดังนั้น หน่วยงานภาครัฐที่ให้การบริการในด้านการทดสอบคุณภาพของวัสดุก่อสร้าง จึงต้องรับเรื่องและคำร้องขอความอนุเคราะห์เพื่อให้ดำเนินการทดสอบคุณภาพของวัสดุดังกล่าว จากผู้ที่มาขอรับบริการซึ่งมีจำนวนที่มากในทุกๆวันทำการ

แต่ระบบราชการของประเทศไทยในปัจจุบันก็ยังมีระเบียบต่างๆที่มีความซ้ำซ้อนและไม่เหมาะสมกับสภาวการณ์ปัจจุบัน จึงทำให้เกิดความล่าช้าและความไม่สะดวกแก่ผู้มาขอรับบริการ รวมถึงความยากลำบากในในการปฏิบัติงานของผู้ให้บริการอีกด้วย ซึ่งหนึ่งในปัญหาดังกล่าวนี้ก็คือ ปัญหาความล่าช้า ความยุ่งยากและความซ้ำซ้อนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้องขอความอนุเคราะห์เพื่อให้ดำเนินการทดสอบคุณภาพของวัสดุก่อสร้างนั่นเอง

2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผังกระบวนการ (Process Chart)

ผังกระบวนการ (Process Chart) เป็นผังที่ใช้สัญลักษณ์เพื่อวิเคราะห์การไหลของข้อมูลและวัตถุดิบ โดยออกแบบเพื่อช่วยให้เข้าใจลำดับเหตุการณ์ (กระบวนการ) การไหลของวัตถุดิบจนถึงการแปรสภาพเป็นผลิตภัณฑ์ ผังกระบวนการนี้จะแสดงขั้นตอนของกระบวนการและความสัมพันธ์ของขั้นตอนเหล่านั้น ซึ่งสามารถช่วยในการวิเคราะห์ดังนี้ 1.ช่วยกำหนดด้วยการตรวจสอบอย่างละเอียด โดยมีการเก็บรวบรวมข้อมูลทางสถิติ 2.แยกและติดตามสาเหตุของปัญหา 3.กำหนดกิจกรรมที่ไม่มีมูลค่าเพิ่ม เช่น การเสียเวลา 4.กำหนดโอกาสและลดระยะทาง

สัญลักษณ์มาตรฐานที่ใช้ในผังกระบวนการ (Process Chart) ของ American Society of Mechanical Engineers (ASME) มีดังต่อไปนี้

แทนการปฏิบัติการ (Operation)
แทนการตรวจสอบ (Inspection)
แทนการขนส่ง (Transportation)
แทนการล่าช้า (Delay)
แทนการเก็บ (Storage) [3]

2.2 ความสูญเปล่า 7 ประการ

ความสูญเปล่า (MUDA หรือ WASTE) หมายถึงสิ่งที่เกิดขึ้นแต่ไม่ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่ม ซึ่งมีอยู่ทั้งสิ้น 7 ประการด้วยกัน คือ

1.ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตมากเกินไป (Overproduction)
2.ความสูญเสียเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง (Inventory)
3.ความสูญเสียเนื่องจากการขนส่ง (Transportation)
4.ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว (Motion)
5.ความสูญเสียเนื่องจากกระบวนการผลิต (Processing)
6.ความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย (Delay)
7.ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตของเสีย (Defect) [2]

2.3 การจำลองแบบปัญหาด้วยโปรแกรม Arena

โปรแกรม Arena เป็นเครื่องมือตัวหนึ่งที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลายสำหรับสร้างตัวแบบจำลองและดำเนินการทดลองไปกับตัวแบบจำลอง โดยที่ตัวแบบจำลองจะถูกทำการทดสอบทางความคิดในคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบ และนำไปสู่แนวทางในการวิเคราะห์ปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [1]

3.วิธีการดำเนินงาน

ผู้จัดทำได้ดำเนินการศึกษาและเก็บข้อมูลของขั้นตอนและกระบวนการที่ใช้ในการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้องขอความอนุเคราะห์เพื่อให้ดำเนินการทดสอบคุณภาพของวัสดุก่อสร้าง โดยพบว่า ที่หน่วยงานราชการแห่งนี้ มีขั้นตอนของการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้อง ดังต่อไปนี้

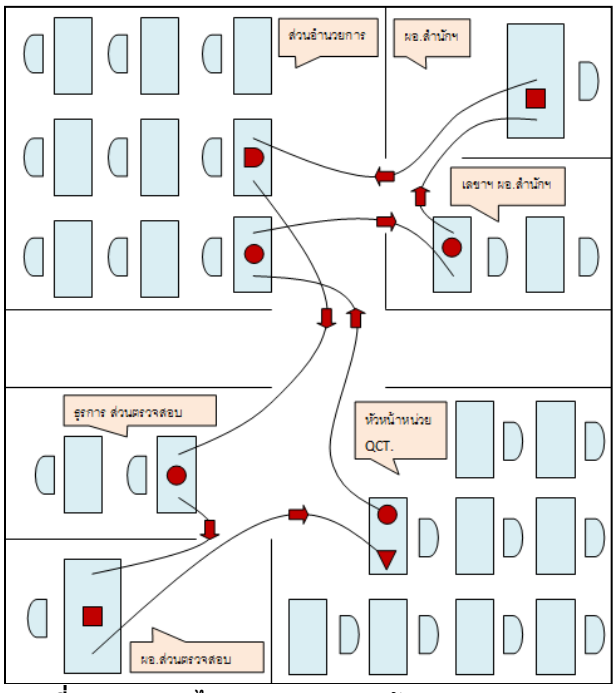
1.หัวหน้าหน่วยQCT.ของส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ (สตว.) รับเอกสารคำร้องจากผู้มาขอความอนุเคราะห์
2.นำเอกสารคำร้องไปลงทะเบียนรับคำร้องยังส่วนอำนวยการ (สอก.) ของหน่วยงาน
3.ธุรการของส่วนอำนวยการดำเนินการ (สอก.) ลงทะเบียนรับเอกสารคำร้อง
4.จากนั้นเอกสารคำร้องจะถูกส่งต่อไปยังเลขาฯ ผู้อำนวยการสำนักฯ
5.เลขาฯผู้อำนวยการสำนักฯรับเอกสารคำร้อง
6.เอกสารคำร้องถูกส่งไปยังผู้อำนวยการสำนักฯ
7.ผู้อำนวยการสำนักตรวจสอบความถูกต้องและลงนามเพื่อแจ้งไปยัง กลุ่ม/ส่วน ที่รับผิดชอบเพื่อดำเนินการ
8.เอกสารคำร้องจะถูกส่งกลับมายังส่วนอำนวยการ (สอก.) อีกครั้งหนึ่งเพื่อทำการคัดแยก และเตรียมการส่งต่อไปยัง กลุ่ม/ส่วน ที่รับผิดชอบ
9.ส่วนอำนวยการ (สอก.) ดำเนินการคัดแยก และพักเอกสารไว้ จากนั้นจึงแจ้งให้กลุ่ม/ส่วน ที่รับผิดชอบมารับเอกสารคำร้อง เพื่อนำไปดำเนินการ
10.จะมีเจ้าหน้าที่ของส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ (สตว.) ไปรับเอาเอกสารคำร้องกลับมายัง กลุ่ม/ส่วน ของตน
11.ธุรการของส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ (สตว.) จะดำเนินการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้องในส่วนของตนอีกครั้งหนึ่ง

12.เอกสารคำร้องจะถูกส่งต่อไปยังผู้อำนวยการส่วนตรวจสอบฯ (ผอ.สตว.) เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องและลงนามเพื่อแจ้งไปยังหัวหน้าหน่วย QCT. ผู้รับผิดชอบเพื่อดำเนินการ
13.ผู้อำนวยการส่วนตรวจสอบฯ (ผอ.สตว.) ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องและลงนาม
14.เอกสารคำร้องจะถูกส่งต่อไปยังผู้ช่วยหัวหน้าหน่วย QCT.(Acting) ผู้รับผิดชอบ
15. Acting รับเรื่องและเตรียมการเพื่อที่จะดำเนินการทดสอบคุณภาพของวัสดุต่อไป

ซึ่งขั้นตอนดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ได้ถูกเก็บรวบรวมข้อมูลของขั้นตอนและกระบวนการ ทั้งในส่วนของระยะทางจากการขนส่งเอกสาร รวมถึงเวลาที่ใช้ไปและได้ถูกนำมาแสดงในผังกระบวนการ (Process Chart) และภาพแสดงการไหลของเอกสารคำร้อง ดังต่อไปนี้

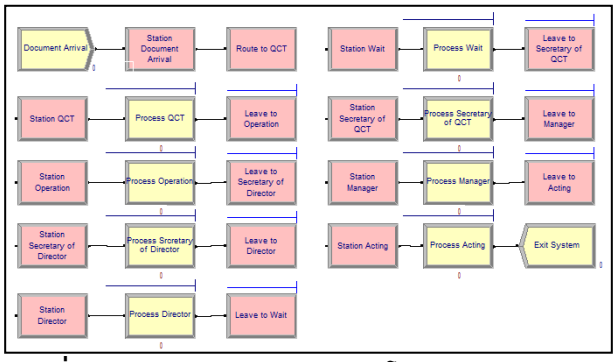
ระยะทาง (เมตร)	เวลาเป็นนาที	สัญลักษณ์	การบรรยายกระบวนการ
	10		หัวหน้าหน่วย QCT. รับคำร้องจากผู้มาขอความอนุเคราะห์
75.0	2.5		นำไปลงทะเบียนรับคำร้องยังส่วนอำนวยการ
	5		ธุรการส่วนอำนวยการลงทะเบียนรับคำร้อง
30.0	1		ส่งต่อไปยังเลขาฯผู้อำนวยการสำนัก
	2		เลขาฯผู้อำนวยการสำนักรับเรื่อง
15.0	0.5		ส่งต่อไปยังผู้อำนวยการสำนัก
	3		ผู้อำนวยการสำนักลงนามและแจ้งไปยังกลุ่ม/ส่วน ที่รับผิดชอบเพื่อดำเนินการ
45.0	1.5		ส่งต่อไปยังส่วนอำนวยการเพื่อคัดแยกและส่งต่อไปยังกลุ่ม/ส่วน ที่รับผิดชอบ
	2		ส่วนอำนวยการรับเรื่องและเตรียมส่งต่อไปยังกลุ่ม/ส่วน ที่รับผิดชอบ
75.0	2.5		ส่งต่อไปยังส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์เพื่อดำเนินการ
	5		ธุรการส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ลงทะเบียนรับคำร้อง
15.0	0.5		ส่งต่อไปยังผู้อำนวยการส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ลงนาม
	3		ผู้อำนวยการส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ลงนาม
15.0	0.5		ส่งต่อไปยังผู้ช่วยหัวหน้าหน่วย QCT. (Acting) ผู้รับผิดชอบ
	2		Acting รับเรื่องและเตรียมดำเนินการทดสอบวัสดุดังกล่าวต่อไป
270	41	4 7 2 1 1	รวม

ตารางที่ 1 ผังกระบวนการแสดงขั้นตอนและกระบวนการในการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้อง



ภาพที่ 1 แสดงการไหลของเอกสารคำร้องก่อนทำการปรับปรุงกระบวนการ

และผู้จัดทำยังได้ทำการจำลองขั้นตอนและกระบวนการด้วยโปรแกรม Arena เพื่อหาความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นจากกระบวนการที่จะเกิดขึ้นในระยะเวลาการทำงาน 1 เดือน (20 วันทำการ)



ภาพที่ 2 แบบจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Arena

จากนั้น ผู้จัดทำได้ทำการปรับปรุงขั้นตอนและกระบวนของการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้องเสียใหม่ โดยการปรับลดกระบวนการที่มีความซ้ำซ้อนบางอย่างออกไป เพื่อให้เกิดความคล่องตัวมากยิ่งขึ้น และได้นำมาแสดงในผังกระบวนการ (Process Chart), ภาพแสดงการไหลของเอกสารคำร้อง และจำลองด้วยโปรแกรม Arena โดยมีขั้นตอนในการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้องดังต่อไปนี้

1.หัวหน้าหน่วยQCT.ของส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ (สตว.) รับเอกสารคำร้องจากผู้มาขอความอนุเคราะห์

2.เอกสารคำร้องจะถูกส่งต่อไปยังธุรการของส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์เพื่อดำเนินการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้อง

3.ธุรการของส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ดำเนินการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้อง

4.เอกสารคำร้องจะถูกส่งต่อไปยังผู้อำนวยการส่วนตรวจสอบฯ (ผอ.สตว.) เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องและลงนามเพื่อแจ้งไปยังหัวหน้าหน่วย QCT. ผู้รับผิดชอบเพื่อดำเนินการ

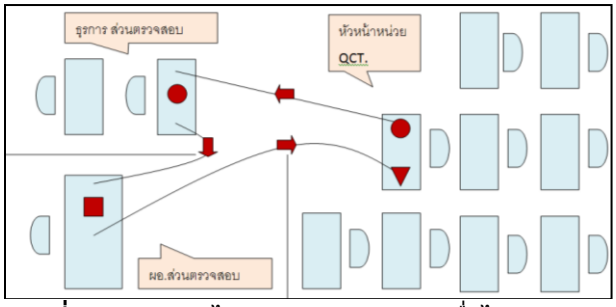
5.ผู้อำนวยการส่วนตรวจสอบฯ (ผอ.สตว.) ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องและลงนาม

6.เอกสารคำร้องจะถูกส่งต่อไปยังผู้ช่วยหัวหน้าหน่วย QCT.(Acting) ผู้รับผิดชอบ

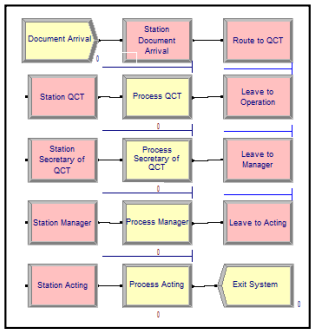
7. Acting รับเรื่องและเตรียมการเพื่อที่จะดำเนินการทดสอบคุณภาพของวัสดุต่อไป

ระยะทาง (เมตร)	เวลาเป็นนาที	สัญลักษณ์	การบรรยายกระบวนการ
	10		หัวหน้าหน่วย QCT. รับคำร้องจากผู้มาขอความอนุเคราะห์
15	0.5		ส่งต่อไปยังธุรการส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์เพื่อดำเนินการ
	5		ธุรการส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ลงทะเบียนรับคำร้อง
15	0.5		ส่งต่อไปยังผู้อำนวยการส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ลงนาม
	3		ผู้อำนวยการส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ลงนาม
15	0.5		ส่งต่อไปยังผู้ช่วยหัวหน้าหน่วย QCT. (Acting) ผู้รับผิดชอบ
	2		Acting รับเรื่องและเตรียมการทดสอบวัสดุดังกล่าวต่อไป
45	**21.5**	**2 3 1 0 1**	**รวม**

ตารางที่ 2 ผังกระบวนการแสดงขั้นตอนและกระบวนการในการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้องเมื่อได้ทำการปรับปรุงกระบวนการแล้ว



ภาพที่ 3 แสดงการไหลของเอกสารคำร้องเมื่อได้ทำการปรับปรุงกระบวนการแล้ว



ภาพที่ 4 แบบจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม Arena เมื่อได้ทำการปรับปรุงกระบวนการแล้ว

4.ผลการดำเนินงาน

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาและปรับปรุงขั้นตอนรวมทั้งการบวนการในการดำเนินการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้องขอความอนุเคราะห์เพื่อให้ดำเนินการทดสอบคุณภาพของวัสดุก่อสร้างไปแล้วนั้นทำให้สามารถทำการสามารถสรุปผลที่ได้จากการดำเนินการดังกล่าวได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลที่ได้ก่อนการดำเนินการปรับปรุงขั้นตอนและกระบวนการด้วย Process Chart

1.ใช้กระบวนการ (process) ทั้งสิ้น 15 กระบวนการ โดยแบ่งเป็น

การปฏิบัติการ (Operation) 4 กระบวนการ

การขนส่ง (Transportation) 7 กระบวนการ

การตรวจสอบ (Inspection) 2 กระบวนการ

การล่าช้า (Delay) 1 กระบวนการ

การเก็บ (Storage) 1 กระบวนการ

2.ใช้เวลาในการดำเนินการทั้งสิ้น 41 นาที

3.ใช้ระยะทางในการขนส่งเอกสารทั้งสิ้น 270 เมตร

4.2 ผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Arena ก่อนการดำเนินการปรับปรุงขั้นตอนและกระบวนการ

1.มีเอกสารที่เข้ามาในระบบจำนวน 241 ฉบับ และออกจากระบบจำนวน 232 ฉบับ

2.ใช้เวลาในการดำเนินการ (Total Time) ทั้งสิ้น 78.06 นาที

3.ใช้เวลาในการขนย้ายเอกสาร (Transfer Time) ทั้งสิ้น 9.50 นาที

Entity Detail Summary

Time

	NVA Time	Other Time	Total Time	Transfer Time	VA Time
Document	1.97	0.00	78.06	9.50	33.35
Total	1.97	0.00	78.06	9.50	33.35

Other

	Number In	Number Out
Document	241	232
Total	241	232

ภาพที่ 5 ผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Arena ก่อนการดำเนินการปรับปรุงขั้นตอนและกระบวนการ

4.3 ผลที่ได้เมื่อได้ดำเนินการปรับปรุงขั้นตอนและกระบวนการแล้ว

1.ใช้กระบวนการ (process) ทั้งสิ้น 7 กระบวนการ โดยแบ่งเป็น

การปฏิบัติการ (Operation) 2 กระบวนการ

การขนส่ง (Transportation) 3 กระบวนการ

การตรวจสอบ (Inspection) 1 กระบวนการ

การล่าช้า (Delay) 0 กระบวนการ
การเก็บ (Storage) 1 กระบวนการ
2.ใช้เวลาในการดำเนินการทั้งสิ้น 21.5 นาที
3.ใช้ระยะทางในการขนส่งเอกสารทั้งสิ้น 45 เมตร

4.4 ผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Arena เมื่อได้ดำเนินการปรับปรุงขั้นตอนและกระบวนการแล้ว

1.มีเอกสารที่เข้ามาในระบบจำนวน 241 ฉบับ และออกจากระบบจำนวน 238 ฉบับ
2.ใช้เวลาในการดำเนินการ (Total Time) ทั้งสิ้น 25.19 นาที
3.ใช้เวลาในการขนย้ายเอกสาร (Transfer Time) ทั้งสิ้น 2.00 นาที

Entity Detail Summary

Time

	NVA Time	Other Time	Total Time	Transfer Time	VA Time
Document	0.00	0.00	25.19	2.00	21.52
Total	0.00	0.00	25.19	2.00	21.52

Other

	Number In	Number Out
Document	241	238
Total	241	238

ภาพที่ 6 ผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Arena เมื่อได้ดำเนินการปรับปรุงขั้นตอนและกระบวนการแล้ว

5.สรุปผล

5.1 จากผลการดำเนินการที่ได้สามารถสรุปได้ว่า การนำผังกระบวนการ (Process Chart) มาประยุกต์ใช้สำหรับการลดรอบระยะเวลาและกระบวนการในการลงทะเบียนรับเอกสารคำร้องขอความอนุเคราะห์เพื่อให้ดำเนินการทดสอบคุณภาพของวัสดุก่อสร้างนั้น สามารถลดจำนวนกระบวนการลงได้ 8 กระบวนการ หรือลดลง 53.33 % สามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการลงได้ 19.5 นาที หรือลดลง 47.56 % และลดระยะทางที่ใช้ในการขนส่งเอกสารลงได้ 225 เมตร หรือลดลง 83.33 % และสามารถสรุปผลที่ได้ดังตารางต่อไปนี้

ผลที่ได้	ก่อน	หลัง	ผลต่าง	%
กระบวนการ	15	7	8	53.33
เวลา (นาที)	41	21.5	19.5	47.56
ระยะทาง (เมตร)	270	45	225	83.33

ตารางที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการนำผังกระบวนการ (Process Chart) มาประยุกต์ใช้สำหรับการลดรอบระยะเวลาและกระบวนการ

5.2 ผลที่ได้จากการจำลองการปรับปรุงกระบวนการด้วยโปรแกรม Arena สรุปผลได้ว่า สามารถเพิ่มจำนวนเอกสารให้ออกจากระบบ (Number Out) ได้ 6 ฉบับ หรือเพิ่มขึ้น 2.59 % สามารถลดเวลาทั้งหมดที่เอกสารอยู่ในระบบ (Total Time) ลงได้ 52.87 นาที หรือลดลง 67.73 % และสามารถลดเวลาในการขนย้ายเอกสาร (Transfer Time) ลงได้ 7.50 นาที หรือลดลง 78.95 % และสามารถสรุปผลที่ได้ดังตารางต่อไปนี้

ผลที่ได้	ก่อน	หลัง	ผลต่าง	%
Number Out	232	238	6	2.59
Total Time (Min)	78.06	25.19	52.87	67.73
Transfer Time (Min)	9.50	2.00	7.50	78.95

ตารางที่ 4 แสดงผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Arena มาประยุกต์ใช้สำหรับการลดรอบระยะเวลาและกระบวนการ

6.กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจาก กลุ่มวิจัยระบบโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

7.เอกสารอ้างอิง

[1] รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ. 2553. คู่มือสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena (ฉบับปรับปรุง). ซีเอ็ดยูเคชั่น. กรุงเทพฯ.

[2] Productivity Press Development Team. 2549. การบ่งชี้ “ความสูญเปล่า” - Identifying Waste on the Shopfloor. ไอ.อี.สแควร์ พับลิชชิ่ง. กรุงเทพฯ.

[3] ประสงค์ ปราณีตพลกรัง และคณะ. 2547. การบริหารการผลิตและการปฏิบัติการ - Production and Operations Management. ดวงกมลสมัย. กรุงเทพฯ.

[4] นรา สมัตถภาพงศ์, ธนวุฒิ คงเพ็ชร์ และ ภูวนาท รัตนยรรยง. 2554. การปรับปรุงประสิทธิภาพแถวคอยในการรับบริจาคโลหิตโดยใช้การจำลองสถานการ. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554, 20 - 21 ตุลาคม 2554 .

[5] แววดาว สมานพันธ์ และ นันทชัย กานตานันทะ. 2556. การปรับปรุงผังโรงงานเพื่อจัดสมดุลกำลังการผลิตโดยเทคนิคการจำลองแบบปัญหาในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ. KKU Engineering Journal April - June 2013.

[6] ทิพย์ธัญญา แก้วศิริ, อภิชาต บุญมา, พรเทพ ขอขจายเกียรติ และ ธนภัทร รัตนภากร. 2556. การจำลองรูปแบบการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโดยโปรแกรม Arena กรณีศึกษา ศูนย์จักษุ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการประจำปีด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ครั้งที่ 13, 21 - 24 พฤศจิกายน 2556

[7] อธิวัฒน์ บุญมี, กาญจนา เศรษฐนันท์ และ จีรยุทธ ศรีอำนวย. 2556. การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์เพื่อลดระยะเวลารอคอยของผู้เข้ามารับบริการในโรงพยาบาล กรณีศึกษา : โรงพยาบาลพังโคน จังหวัดสกลนคร. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการประจำปีด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ครั้งที่ 13, 21 - 24 พฤศจิกายน 2556

การลดเวลาในกระบวนการจัดเรียงกระป๋องบรรจุข้าวโพดหวาน : กรณีศึกษาโรงงานมหาบูรพาในจังหวัดตาก

The time reducing for sorting canned sweet corn: a case study of the Boorapha Company in Tak Province.

ไกรสร วงษ์ปู่ มาโนช นำฟู* จิรวัฒน์ วรวิชัย ธงชัย เบ็ญจลักษณ์
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
E-mail: mnf.impe@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการจัดเรียงกระป๋องบรรจุข้าวโพดหวานในโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรบรรจุกระป๋อง เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการบรรจุกระป๋อง จากการศึกษาปัญหาโดยการการใช้เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tool) พบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการมีปริมาณมาก โดยเฉพาะในส่วนที่พนักงานจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานใส่ลงไปในพาเลท ผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงการทำงานโดยการออกแบบฟิกซ์เจอร์ (fixture design) มาช่วยให้พนักงานทำงานได้สะดวกขึ้นและทำให้การจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานง่ายขึ้น จากผลการวิจัยและการรวบรวมข้อมูลจากการทดลองโดยการจับเวลาโดยใช้ฟิกซ์เจอร์ (fixture design) มาช่วยในการทำงานพนักงานพบว่าช่วยลดเวลาในการจัดเรียง ในชั้นที่1ลดลง 0.87 นาที ในชั้นที่ 2 ลดลง 0.41 นาที ในชั้นที่ 3 ลดลง 0.38 นาที ในชั้นที่ 4 ลดลง 0.36 นาที ในชั้นที่ 5 ลดลง 0.46 นาที ในชั้นที่ 6 ลดลง 0.42 นาที และในชั้นที่ 7 ลดลง 0.25 นาที รวมเวลาเฉลี่ยลดลง 3.15 นาที หรือสามารถลดเวลาในการทำงานของพนักงานให้น้อยลง 27 %

คำหลัก เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด การปรับปรุงประสิทธิภาพ

Abstract

This research aims to improve the process of sorting canned sweet corn. According to a study by use of 7 QC Tool found that the problem is the sorting canned sweet corn into the pallet. The study to improve of sorting canned sweet corn into the pallet by design fixture to help them work more convenient and makes it easier to sort canned sweet corn. The results of the research can reduce the time to sorting canned sweet corn into the pallet 1st level is 0.87 minutes, 2nd level is 0.41 minutes, 3rd level is 0.38 minutes, 4th level is 0.36 minutes, 5th level is 0.46 minutes, 6th level is 0.42 minutes and 7th level is 0.25 minutes. The average time for reduce all of one pallet is 3.15 minutes or 27% of working time.

Keywords: 7 QC Tool, Efficiency improvement

1. บทนำ

ในปัจจุบันผลผลิตทางการเกษตรมักเกิดปัญหาล้นตลาดทำให้ราคาของผลิตผลมีราคาตกต่ำ เนื่องจากพืชผลทางการเกษตรที่เป็นผลิตผลสดเน่าเสียได้ง่าย เมื่อมีสินค้าออกสู่ท้องตลาดมาก และประชาชนบริโภคไม่ทัน ก็ทำให้ราคาผลิตผลลดลง แนวทางการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรจึงเป็นแนวทางการแก้ปัญหาผลผลิตล้นตลาดได้อีกทางหนึ่ง โดยการนำผลผลิตทางการเกษตรมาแปรรูปจะช่วยป้องกันการล้นตลาดของผลิตผลสด ซึ่งช่วยยกระดับราคาผลิตผลไม่ให้ตกต่ำและเพิ่มมูลค่าของผลิตผลทางการเกษตรมาแปรรูปเป็นอาหารระดับอุตสาหกรรม ที่สามารถรับวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นอาหารจำนวนมากได้ และสามารถผลิตอาหารให้ได้มาตรฐานเพื่อความปลอดภัยต่อผู้บริโภค การส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์แปรรูปอาหารให้เป็นที่ยอมรับ และสามารถขยายตลาดการค้าออกไปสู่ต่างประเทศ จะช่วยเพิ่มพูนรายได้ให้แก่ประเทศได้เป็นอย่างดี โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรบรรจุกระป๋อง ตั้งอยู่ที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิต ได้แก่ หน่อไม้บรรจุกระป๋อง ข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง ข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง ถั่วงอกในน้ำเกลือ และผลไม้รวมในน้ำเชื่อม เป็นต้น ซึ่งโรงงานแห่งนี้จะแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรตามช่วงฤดูกาลของผลิตผลทางการเกษตรนั้น โดยการวิจัยนี้เป็นการวิจัยในช่วงฤดูกาลของข้าวโพด ทำให้คณะผู้ทำวิจัยศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการจัดเรียงข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง

รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวานกระป๋อง

จากการวิเคราะห์ปัญหาในเบื้องต้นในส่วนขั้นตอนของการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องใส่ในพาเลท โดยนำหลักของ 4M (Man, Machine, Material, Method) มาพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้น โดยมองปัญหาในส่วนของพนักงาน ไม่มีความรู้ความชำนาญในการเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน พิจารณาในส่วนของเครื่องจักร โดยในส่วนนี้ไม่มีการใช้เครื่องจักร พิจารณาในส่วนของวัสดุมีเพียงกระป๋องข้าวโพดหวานซึ่งมีน้ำหนัก 1850 กรัม จึงทำให้พนักงานทำงานไม่สะดวก พิจารณาในส่วนของกระบวนการทำงานของพนักงานนั้น พนักงานจะต้องยกกระป๋องข้าวโพดหวานลงจากรางส่ง ใส่ลงในพาเลทเพื่อเรียงให้เป็นระเบียบในส่วนนี้ใช้เวลามากในการจัดเรียง ในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานใส่ลงในพาเลทนั้นใน 1 พาเลทมี 7 ชั้น ในจำนวนแต่ละชั้นมี 46 กระป๋อง รวมทั้งหมดต้องจัดเรียงทั้งหมด 322 กระป๋อง และใช้เวลาในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานประมาณ 10-13 นาที แล้วแต่กรณี และพบว่าพนักงานจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานไม่ครบ ผลจากการประเมินพบว่าโรงงานประสบปัญหาด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต คือ แรงงานที่ขาดทักษะการทำงาน การสื่อสารกับคนงาน และขาดความรู้ความเข้าใจในการเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน

รูปที่ 2 ลักษณะการจัดเรียงกระป๋องผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวาน

จากปัญหาทั้งหมดนี้ ทางคณะผู้วิจัยได้ปรับปรุงการทำงานโดยการออกแบบฟิกซ์เจอร์ (fixture design) มาช่วยให้พนักงานทำงานได้สะดวกขึ้นและทำให้การจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานง่ายขึ้น

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากโรงงานกรณีศึกษา จำเป็นที่จะต้องมีการการลดปริมาณของเสียและปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ดังนั้นการที่จะพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตในโรงงานกรณีศึกษานั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาทั้งทฤษฎีและศึกษางานวิจัยที่

เกี่ยวข้อง มาใช้เป็นเครื่องมือและแนวทางในการแก้ไขปัญหา

นายนิรุตติ์ กาบแก้ว [1] ได้พัฒนาระบบการควบคุมชิ้นส่วนของเครื่องจักรและเครื่องมือจิ๊กฟิกเจอร์ที่ใช้ในสายการประกอบรถจักรยานยนต์ โดยศึกษาวิจัยวิธีการเก็บรวบข้อมูลการหยุดของสายการผลิตอันเนื่องมาจากเครื่องจักรหลักในสายการผลิตขาดชิ้นส่วนอะไหล่เปลี่ยนทดแทนได้ทันเวลา สาเหตุเกิดจากไม่มีการสั่งซื้อเพื่อสำรองไว้ใช้งาน ส่งผลทำให้เกิดความสูญเสียในทางด้านค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อชิ้นส่วนอะไหล่ของเครื่องจักรในกรณีเร่งด่วน และทำให้จำนวนการผลิตรถจักรยานยนต์ไม่ได้เป้าหมายตามแผนการผลิตที่วางไว้ หลังจากที่ได้นำระบบฐานข้อมูลมาใช้ภายในแผนกประกอบ โดยที่วิศวกรแผนกประกอบจะเป็นผู้ตรวจสอบฐานข้อมูลเป็นประจำทุกสัปดาห์ว่ามีชิ้นส่วนอะไหล่สำคัญใดบ้างที่ต้องเปลี่ยน และสั่งซื้อมาทดแทน หรือต้องการจัดเก็บเป็นชิ้นส่วนอะไหล่สำรองเพื่อใช้ในการเปลี่ยนทดแทน ในกรณีของเครื่องจักรหยุดการทำงานอันเนื่องมาจากชิ้นส่วนเสียหาย ผลที่ได้จากการนำระบบฐานข้อมูลไปใช้พบว่า จากการเปรียบเทียบข้อมูลปัญหาการหยุดสายการประกอบ อันเนื่องมาจากรอเปลี่ยนชิ้นส่วน อะไหล่ที่จำเป็น ภายในเดือน มกราคม พ.ศ. 2551 เทียบกับ เดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ได้พบว่าปัญหาการหยุดสายการประกอบ มีเพียง 6 นาที สามารถลดเวลาได้ถึง 104 นาที สามารถลดค่าความสูญเสียภายในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ได้ประมาณ 866,000 บาท และอีกทั้งยังสามารถวางแผนในการสั่งซื้อชิ้นส่วนอะไหล่จากต่างประเทศให้ตรงกับความต้องการที่จะนำไปใช้จริง เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ และจัดเก็บชิ้นส่วนอะไหล่เกินความต้องการ

นายศุภเอก ประมูลมาก [2] ได้ออกแบบฟิกซ์เจอร์และออกแบบขั้นตอนการปฏิบัติการบนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนเซ็นเตอร์ โดยศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการจับงานและออกแบบขั้นตอนการทำงานบนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนเซ็นเตอร์เป็นสำคัญ ซึ่งกล่าวถึงฟิกซ์เจอร์แบบ 3-2-1 นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงการเลือกเครื่องมือต่างๆ ที่นำมาใช้ในขณะแมชชีนงาน ไม่ว่าจะเป็น ขนาดของมีดกัด ลำดับของการกัดงาน จำนวนครั้งในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจับงาน และตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ด้วยระบบ OPAFS (Optimization Process Planning and Fixture Design System) ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาวิธีการรองรับชิ้นงาน(Support Pattern) และการกำหนดตำแหน่ง(Locator) ของชิ้นงานแบบ 3-2-1 ขึ้นมาช่วยในการออกแบบการจับยึดบนงานฟิกซ์เจอร์นอกจากนี้ยังทำการออกแบบขั้นตอนในการทำงานบนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนเซ็นเตอร์ โดยคำตอบที่ได้จากระบบจะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถที่จะประหยัดเวลาในการทำงาน และไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการทำงานมาช่วยในการออกแบบของระบบ สำหรับระบบ OPAFS นี้อยู่ในรูปของตัวแปรทางคณิตศาสตร์แบบ Mixed Integer Programming ซึ่ง Mathematical Model เป็นสมการแบบ Zero-One Integer Programming จากการทดสอบ Mathematical Model จากตัวอย่างที่ได้เก็บมาจากบริษัทผลิตแม่พิมพ์ ผลการทดสอบพบว่าสมการคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้เป็นตัวแทนของระบบสามารถที่จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานและผู้ออกแบบในการลดเวลาที่ใช้ในการผลิตโดยไม่จำเป็นต้องขอคำปรึกษาหรือให้ผู้ออกแบบที่มีประสบการณ์ช่วยเหลือในการออกแบบวิธีการจับงานและออกแบบวิธีการกัดงานบนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนเซ็นเตอร์ นอกจากนี้ยังช่วยผู้ปฏิบัติการประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างฟิกซ์เจอร์มาช่วยในการจับยึดงาน

นายอำนาจ มีแสง [3] ได้ออกแบบเครื่องมือจับยึดเพื่อลดความสูญเสียในการบวนการตัดท่อยาง กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยได้ออกแบบเครื่องมือจับยึดชิ้นงานประกอบกับ และใช้หลักการทางวิศวกรรมอุตสาหการในการลดความสูญเสียจากการทิ้งเศษวัตถุดิบในกระบานการตัดท่อยางอบแล้ว ณ บริษัทผลิตชิ้นส่วนท่อยางในอุตสาหกรรมยานยนต์ตัวอย่าง ซึ่งมีการทิ้งเศษวัตถุดิบเป็นมูลค่าสูงเฉลี่ย 221,870 บาทต่อเดือน ด้วยการใช้เทคนิค 6 ชนิด ได้แก่ เครื่องมือกลุ่มควบคุมคุณภาพ (QCC) ความสูญเปล่า 7 ประการ (7 Wastes) เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 แบบ (7 QC Tools) โดยใช้แผนภูมิพาเรโตในการคัดเลือกรุ่นของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการศึกษา เครื่องมือคุณภาพยุคใหม่ 7 แบบ (7 New QC Tools) โดยแผนผังต้นไม้ในการวิเคราะห์หาแนวทางแก้ไขปัญหา การลดความสูญเปล่าด้วยหลักการ ECRS และการออกแบบเครื่องมือจับยึดชิ้นงาน (Jig and

Fixture Design) ผลที่ได้สามารถสร้างเครื่องมือจับยึดชิ้นงานในการขึ้นรูปท่อยางให้มีขนาดความยาวเท่าที่ต้องการ ทำให้ไม่มีการทิ้งเศษวัตถุดิบ ซึ่งหมายถึงการลดความสูญเสียในกระบวนการตัดท่อยางสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ลงทั้งหมดร้อยละ 100 คิดเป็นมูลค่าวัตถุดิบเฉลี่ย 221,870 บาทต่อเดือน และมีระยะเวลาคืนทุนของการสร้างเครื่องมือจับยึดชิ้นงาน 1.2 วัน

อรอุมา กอสนาน และคณะ [4] ได้จัดทำคู่มือมาตรฐานในการปฏิบัติงาน และการสร้างจิ๊กสำหรับการตรวจสอบ ชิ้นงานพับในกระบวนการผลิต Bracket กรณีศึกษา บริษัท เอส พี อี เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด ด้วยการการออกแบบ และจัดทำจิ๊กเพื่อช่วยให้กระบวนการตรวจสอบชิ้นงานพับ และจัดทำคู่มือมาตรฐานการปฏิบัติงานสำหรับกระบวนการผลิต Bracket ซึ่งผลการดำเนินงานโดยการนำจิ๊กเข้ามาประยุกต์ใช้ในกระบวนการตรวจสอบ Bracket พบว่าสามารถลดเวลาในขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงานพับลงได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อน และหลังจากการนำจิ๊กเข้าไปประยุกต์ใช้แทนในส่วนของขั้นตอนการตรวจสอบของพนักงานแผนกตรวจสอบชิ้นงาน (QC) สามารถลดลงขั้นตอนการทำงานเหลือ 7 ขั้นตอน จากเดิมซึ่งมี 15 ขั้นตอน และใช้เวลาในการตรวจสอบ 4.73 นาที จากเดิมซึ่งจะใช้เวลาในการตรวจสอบ 22.60 นาที นอกจากนี้ยังสามารถลดเวลา และขั้นตอนของกระบวนการผลิต Bracket จาก 85.38 นาที ลดลงเหลือ 66.49 นาที ซึ่งสามารถลดเวลาลงไปได้ 18.89 นาที และขั้นตอนการทำงานจากเดิมมี 24 ขั้นตอน ลดลงเหลือ 22 ขั้นตอน

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

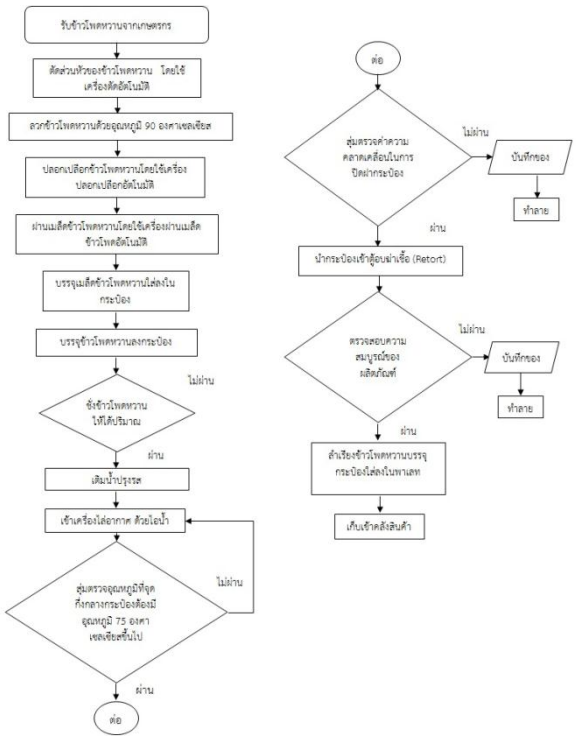
ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยเริ่มที่การศึกษาสภาพทั่วไปของโรงงาน วิเคราะห์ปัญหา หาเวลามาตรฐาน (Standard time) จากกระบวนการผลิต ศึกษาข้อมูลในกระบวนการผลิต หาแนวทางการปรับปรุง ทำการปรับปรุง สรุปผลการทดลอง และจัดทำเป็นมาตรฐาน

3.1 สภาพทั่วไปและปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตผัก และผลไม้บรรจุกระป๋อง ผลิตภัณฑ์หลักได้แก่ หน่อไม้บรรจุกระป๋อง ข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง ข้าวโพดฝักอ่อนในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง ถั่วงอกในน้ำเกลือ และผลไม้รวมในน้ำเชื่อม เป็นต้น โดยได้มาตรฐาน GMP, HACCP และ BRC ทางบริษัทมีตราสินค้าเป็นของทางบริษัท และมีการรับจ้างการนำวัตถุดิบบรรจุกระป๋อง โดยที่ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาในครั้งนี้ คือ ข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง รุ่น A-10 ขนาดกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.03 นิ้ว สูง 7 นิ้ว น้ำหนัก 1,850 กรัม

3.2 ขั้นตอนกระบวนการผลิตข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง

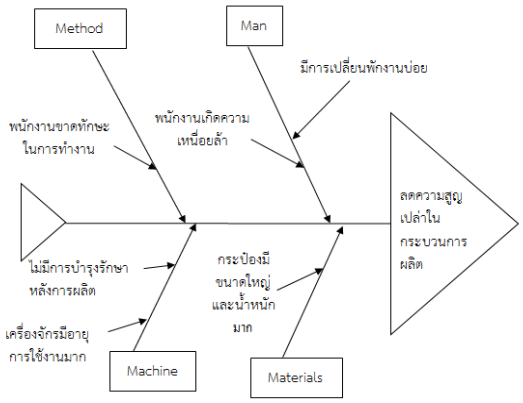
ขั้นตอนการผลิตข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการผลิตข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง

3.3 วิเคราะห์ปัญหาของเสียในโรงงานกรณีศึกษา

วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจเกิดจาก คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Materials) วิธีการทำงาน (Method) และนำมาหาวิธีแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นให้ตรงจุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)



รูปที่ 4 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นพบว่ามีการเปลี่ยนพนักงานบ่อยในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน ดังนั้นพนักงานในส่วนของการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานใส่ลงในพาเลท จึงขาดทักษะและความชำนาญในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน จึงทำให้การจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานเกิดความล้าช้าและใช้เวลานานในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน

การค้นหาสาเหตุยังมีการประเมินจากการสัมภาษณ์และศึกษาการทำงานของผู้ปฏิบัติงานจริง พบว่ากระบวนการที่เกิดปัญหาสำหรับการทำงาน จะเกิดในส่วนขั้นตอนการจัดเรียงกระป๋องใส่ลงในพาเลท ซึ่งจุดนี้พนักงานจะมีข้อผิดพลาดค่อนข้างมาก เช่น การจัดเรียงกระป๋องไม่ครบ การจัดเรียงกระป๋องไม่ตรงแถว ซึ่งการจัดเรียงชั้นละ 46 กระป๋อง จำนวน 7 ชั้น รวมทั้งหมด 322 กระป๋อง โดยในแต่ละครั้งในการจัดเรียงกระป๋องจะใช้เวลา (10-13 นาที/1 พาเลท) แล้วแต่กรณี ทำให้เกิดความสูญเปล่าของเวลาในการทำงานเป็นจำนวนมาก สาเหตุมาจากผู้ปฏิบัติงานขาดความรู้ความเข้าใจในการจัดเรียงกระป๋อง คือ แรงงานที่ขาดทักษะการทำงาน การสื่อสารกับคนงาน และขาดความรู้ความเข้าใจในการจัดเรียงกระป๋อง จึงส่งต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ทางผู้วิจัยจึงเลือกที่จะทำการปรับปรุงวิธีการในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานเพื่อลดเวลาในกระบวนการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน ในครั้งนี้

3.4 หาเวลามาตรฐาน (Standard Time)

ข้อมูลการผลิตของเดือน มิถุนายน-กันยายน ปี 2557 ดังตารางที่ 1 และข้อมูลการสุ่มหาตัวอย่างในการจับเวลาในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน แสดงได้ดัง

ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ข้อมูลการผลิตข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง ปี 2557

เดือน	จำนวน(กระป๋อง)	จำนวน(พาเลท)
มิถุนายน	43,009	133
กรกฎาคม	44,584	138
สิงหาคม	111,166	345
กันยายน	20,085	62

ตารางที่ 2 แสดงเวลาเฉลี่ยของแต่ละชั้นในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน

ชั้นที่	เวลาเฉลี่ย(นาที)
ชั้นที่1	2.08
ชั้นที่2	1.57
ชั้นที่3	1.45
ชั้นที่4	1.43
ชั้นที่5	1.43
ชั้นที่6	1.47
ชั้นที่7	1.44

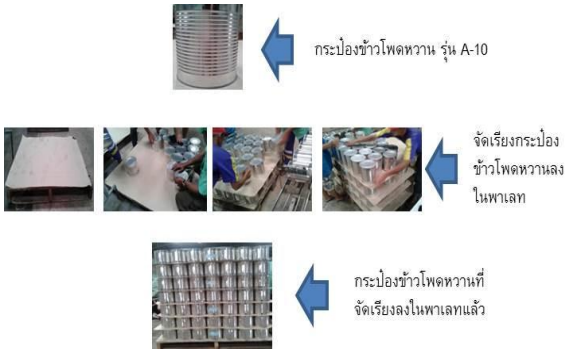
จากข้อมูลแสดงเวลาการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน ดังตารางที่ 2 พบว่าเวลาในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานใน 100 พาเลท แบ่งเป็นค่าเฉลี่ยในการจัดเรียง ชั้นที่ 1 ใช้เวลา 2.08 นาที ชั้นที่ 2 ใช้เวลา 1.57 นาที ชั้นที่ 3 ใช้เวลา 1.45 นาที ชั้นที่ 4 ใช้เวลา 1.43 นาที ชั้นที่ 5 ใช้เวลา 1.43 นาที ชั้นที่ 6 ใช้เวลา 1.47 นาที ชั้นที่ 7 ใช้เวลา 1.44 นาที ได้เวลารวมในการจัดเรียงเฉลี่ยทั้งหมด 7 ชั้น คือ 10.87 นาที นำเวลาเฉลี่ยดังกล่าวมารวมกับเวลาเผื่อในการจัดเรียงกระป๋องคือ 0.84 นาที (จากการกำหนดเวลาเผื่อส่วนบุคคล 5% เวลาเผื่อจากการเมื่อยล้า 4% และจากการยกของ 7%) แล้วจึงหาค่าเวลามาตรฐาน (Standard Time) การจัดเรียงกระป๋อง ได้ดังนี้ 11.71 นาที

3.5 ขั้นตอนการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน

1) ยกกระป๋องข้าวโพดหวานลงจากลางเลื่อน

2) จัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานลงในพาเลท ชั้นที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และชั้นที่ 7 โดยในแต่ละชั้นมี 46 กระป๋อง รวมทั้ง 7 ชั้น มีกระป๋องข้าวโพดหวานทั้งหมด 322 กระป๋อง ต่อ 1 พาเลท

3) จัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานในแต่ละชั้นให้ตรงแถว ทั้งแนวตั้งและแนวนอน



รูปที่ 5 ขั้นตอนการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานใส่ลงในพาเลท

3.6 แนวทางแก้ไขปัญหา

ในการจัดเรียงกระป๋องลงในพาเลทนั้น มีขั้นตอนและใช้เวลานานในการจัดเรียงกระป๋องจึงจำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุง และคิดหาวิธีใหม่ๆ ในการจัดเรียงเพื่อให้ง่ายและสะดวก รวดเร็ว ใช้เวลาในการจัดเรียงให้น้อยลง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพต่อกระบวนการผลิตให้สูงขึ้นเพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่บริษัท ผู้วิจัยจึงได้หาวิธีการทำงานของพนักงานใหม่เพื่อให้มีความสะดวกยิ่งขึ้น โดยการนำฟิกซ์เจอร์มาเป็นอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน ซึ่งจะทำให้พนักงานไม่จำเป็นต้องมีความรู้ความสามารถในการจัดเรียงกระป๋องก็สามารถจัดเรียงกระป๋องได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถช่วยลดเวลาในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานใส่ลงในพาเลทได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการทำงานที่ง่ายของพนักงาน

รูปที่ 6 ฟิกซ์เจอร์ที่นำมาเป็นอุปกรณ์ช่วยในการจัดเรียงกระป๋อง

4. ผลการดำเนินงาน

การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานใส่ลงในพาเลท จัดทำการควบคุมด้วยการใช้ฟิกซ์เจอร์ช่วยในการจัดเรียงเพื่อลดเวลาในการจัดเรียงให้น้อยลง ซึ่งในผลการดำเนินงานวิจัยและการอภิปรายผลจะประกอบด้วยรายละเอียด ข้อมูลจำนวนเวลาในการจัดเรียงโดยใช้ฟิกซ์เจอร์ช่วยในการจัดเรียงและการเปรียบเทียบผลก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน

ตารางที่ 3 เวลาเฉลี่ยในแต่ละชั้นในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานโดยใช้ฟิกซ์เจอร์

ชั้นที่	เวลาเฉลี่ย(นาที)
ชั้นที่1	1.20
ชั้นที่2	1.16
ชั้นที่3	1.09
ชั้นที่4	1.10
ชั้นที่5	1.00
ชั้นที่6	1.06
ชั้นที่7	1.21

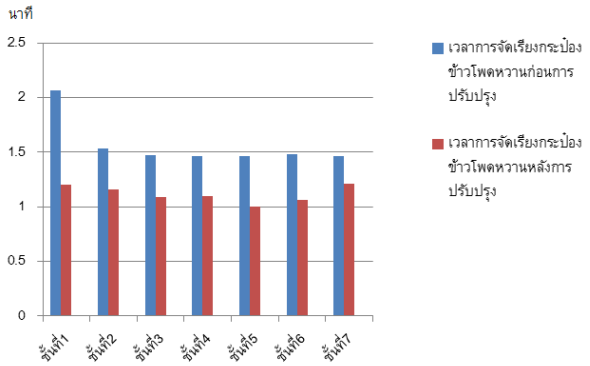
จากตารางที่ 3 พบว่าเวลาที่ใช้ในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานโดยใช้ฟิกซ์เจอร์ ใช้เวลาจัดเรียงกระป๋องในชั้นที่ 1 เวลา 1.20 นาที ชั้นที่ 2 เวลา 1.16 นาที ชั้นที่ 3 เวลา 1.09 นาที ชั้นที่ 4 เวลา 1.10 นาที ชั้นที่ 5 เวลา 1.00 นาที ชั้นที่ 6 เวลา 1.06 นาที และชั้นที่ 7 เวลา 1.21 นาที รวมเวลาเฉลี่ยใน 1 พาเลท จะใช้เวลาในการจัดเรียง 7.82 นาที นำเวลาเฉลี่ยดังกล่าวมารวมกับเวลาเผื่อในการจัดเรียงกระป๋องคือ 0.84 นาที (จากการกำหนดเวลาเผื่อส่วนบุคคล 5% เวลาเผื่อจากการเมื่อยล้า 4% และจากการยกของ 7%) แล้วจึงหาค่าเวลามาตรฐาน (Standard Time) ได้ดังนี้ 8.66 นาที และใช้พนักงานในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน จำนวน 3 คน

รูปที่ 7 การจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานโดยใช้ฟิกซ์เจอร์

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน

ชั้นที่	เวลาเฉลี่ยก่อนปรับปรุง	เวลาเฉลี่ยหลังปรับปรุง
ชั้นที่1	2.07	1.20
ชั้นที่2	1.57	1.16
ชั้นที่3	1.47	1.09
ชั้นที่4	1.46	1.10
ชั้นที่5	1.46	1.00
ชั้นที่6	1.48	1.06
ชั้นที่7	1.46	1.21

จากตารางที่ 4 พบว่าเวลาในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานหลังจากการปรับปรุงแล้วโดยใช้ฟิกซ์เจอร์ช่วยในการจัดเรียง ทำให้เวลาในการจัดเรียงกระป๋องข้างโพดหวานลดลง ดังนี้ ในชั้นที่ 1 เวลาลดลง 0.87 นาที ในชั้นที่ 2 เวลาลดลง 0.41 นาที ในชั้นที่ 3 เวลาลดลง 0.38 นาที ในชั้นที่ 4 เวลาลดลง 0.36 นาที ในชั้นที่ 5 เวลาลดลง 0.46 นาที ในชั้นที่ 6 เวลาลดลง 0.42 นาที และในชั้นที่ 7 เวลาลดลง 0.25นาที (ใช้พนักงานในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานลงในพาเลท 3 คน) อีกทั้งยังสามารถลดจำนวนพนักงานในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานได้อีกด้วย ซึ่งจากเดิมใช้พนักงาน จำนวน 4 คน



รูปที่ 8 แผนภูมิเปรียบเทียบการจับเวลาในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 11.71 นาที ในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน และเมื่อปรับปรุงการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานโดยใช้ฟิกซ์เจอร์มาช่วยในการจัดเรียงจะใช้เวลา 8.66 นาที ในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวาน

5. สรุป

จากการดำเนินงานโดยใช้ฟิกซ์เจอร์มาช่วยในการทำงานพนักงานพบว่าช่วยลดเวลาในการจัดเรียงกระป๋องสามารถลดเวลาในการทำงานของพนักงานให้น้อยลง ได้ 3.15 นาที หรือ 27 % (ใช้พนักงานในการจัดเรียงกระป๋องข้าวโพดหวานลงในพาเลท 3 คน) ซึ่งสามารถลดพนักงานในการจัดเรียงกระป๋องได้ 1 คน พนักงานสามารถทำงานได้สะดวกขึ้นและรวดเร็วขึ้น พนักงานที่เข้ามาทำงานใหม่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องผ่านการอบรมและทดลองทำก่อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่ให้ใช้สถานที่ อุปกรณ์รวมทั้งเครื่องมือต่างๆ ในการดำเนินงานในครั้งนี้

ขอขอบคุณโรงงานมหาบูรพาจำกัด บุคลากรรวมทั้งพนักงานทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือด้านข้อมูล และสถานที่ในการทดลอง รวมทั้งขอขอบคุณนายทรงเกียรติ พรมมินทร์ และนายอาณาจักร อุทศรี ที่ร่วมเก็บข้อมูลในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] นายนิรุตด์ กาบแก้ว, การพัฒนาระบบการควบคุมชิ้นส่วนของเครื่องจักรและเครื่องมือจิ๊กฟิกเจอร์ที่ใช้ในสายการประกอบรถจักรยานยนต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.

[2] นายศุภเอก ประมูลมาก, การออกแบบฟิกซ์เจอร์และการออกแบบขั้นตอนการปฏิบัติการบนเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนเซ็นเตอร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.

[3] นายอำนาจ มีแสง, การออกแบบเครื่องมือจับยึดเพื่อลดความสูญเสียในการบวนการตัดท่อย่าง กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554.

[4] อรอุมา กอสนาน และคณะ, การจัดทาคู่มือมาตรฐานในการปฏิบัติงาน และการสร้างจิ๊กสาหรับการตรวจสอบ ชิ้นงานพับในกระบวนการผลิต Bracket กรณีศึกษา บริษัท เอส พี อี เอ็นเตอร์ไพรส์ จากัด,

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ปทุมธานี, 2555.

[5] การสุ่มตัวอย่าง, [online], Available: http://www.udru.ac.th/website/attachments/elearning/01/07.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 พฤศจิกายน 2557)

[6] เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) , [online], Available :http://www.msit2005.mut.ac.th/msit_media/1_2556/ITEC0732/Lecture/20130819115043vS.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 25 พฤศจิกายน 2557)

[7] การลดความสูญเปล่าด้วยหลักการระบบ ECRS, [online], Available:http://www.logisticafe.com/2009/11/ecrs-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 26 พฤศจิกายน 2557)

Guidelines for the applied assistive technology for patients (NON-OCCUPATIONAL DISABILITIES) to a person who is a disease caused by the work (OCCUPATION- DISABILITIES).

Case Study: Assistive technology of cerebral palsy patients applied to farmers

Komkrit Juntaracena* and Manida Swangnetr
Research Center in Back, Neck, Other Joint Pain and Human Performance
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Khon Kaen University, Muang, Khon Kaen, 40002,
E-mail: valkyrie_tsuya_tanaka@hotmail.com

Abstract

This study is which provides the Assistive Technology (AT) of Cerebral Palsy (CP) Patient applied to farmers in order that reduce injury problems or disease caused by performing farm task. Rice farming is one of the most important agricultural industries in Thailand. Recently, there has been a significant increase in rice production in Thailand. With this increase in productivity, rice farmer health and safety has become a more important issue in order to ensure a sufficient work force. Farmer performance of physically demanding tasks under high-workloads throughout a day can lead to excessive fatigue and the potential for physiological and biomechanical-related injuries. These workload and fatigue risk factors are compounded by extreme environmental conditions that exist in Thailand during farming season. And this condition can lead body of farmer to get symptoms such as musculoskeletal disorders, especially in the back and lower limbs. And it is similar to the pathological characteristics of CP patients who loss of muscle control due to neurological dysfunction. The symptoms of low-back pain observed in farmers are similar to those associated with low-back pain in adults with athetoid or athetosic CP who lack back muscle strength and control. And now we have some AT **that help to increase, maintain or improve functional capabilities of individuals with a disability such as** Pneumatically Actuated Lower-Extremity Orthosis and Tailorsplint Splinting. Therefore, we study the relationship of physical body between CP patient and farmer. The relation in this study is based on matching relationships in two aspects: 1. the angle of the lower limb during walking and 2. the electrical signal (Electromyogram, EMG) from the contraction of the muscles of lower limb while walking. We will apply advanced ergonomic measurement technologies in these experiments, including electronic goniometers for joint angle measurement, electromyography for assessing muscle activity levels. For guidance on the application of assistive technology CP patient adapted for use with farmers for work effectively. And developing personal protective equipment or assistive device in order to prevent lower limb injury in rice farmers.

Keywords: occupational, non-occupational, cerebral palsy (CP), assistive technology (AT)

1. Introduction

Disorders of the musculoskeletal system can occur in both occupational workers and non-occupational population. The study of rice farmers in Thailand found that the prevalence of disorders of the musculoskeletal system in one year is quite high and can occur in every parts of the body. And the previous study revealed farmer work environment conditions to contribute to disabling conditions with physical characteristics similar to congenital

or disease-related disabilities in non-occupational populations, such as CP. Then we seek to identify correspondences between physical disability conditions of agricultural workers (occupational population) due to repetitive-stress injuries with musculoskeletal disorders of persons with congenital or disease-related disabilities (non-occupational population), such as CP or those associated with stroke, and to design and prototype advanced dual-population AT with adaptation to the "corresponding" population for the specific conditions. The results from this study will be used as a basis for task selection for future development of personal protective equipment or assistive device in order to prevent body injury in rice farmers.

2. Literatures review

This study is motivated by prior ergonomics research between KKU and NCSU revealing the need to design and develop ergonomic interventions and assistive technologies for Thai rice farmers in cultivation activities towards reducing the incidence of musculoskeletal disorders (MSDs) and permanent physical disabilities (Swangnetr et al., 2012). Farmer MSDs are an important problem because it is estimated that over 20% of the entire Thai workforce is engaged in rice cultivation activities, 65% of which are located in the northeastern region of the country including Khon Kaen Province (Rice Department, Ministry of Agriculture and Cooperation, 2010). Our previous study indicated lower extremity (LE) malalignment to be common among Thai rice farmers (Karukunchit et al., 2014b). The farming activities are performed with extreme trunk forward bending and twisting, as well as knee bending and arm moved away from body. Awkward postures and force exertion create high loading on trunk and lower limbs (Reid et al., 2010; Jaffer et al., 2011). The farmer work environment conditions to contribute to disabling conditions with physical characteristics similar to congenital or disease-related disabilities in non-occupational populations, such as CP or those due to stroke. By studying the circumstantial disabilities of farmers, we seek to gain insight into the characteristics of congenital disabilities and provide a new basis for dual-population AT design. Related to this, previous research (Newell & Cairns, 1993) has also noted that congenital disabilities may have similar physical and cognitive outcomes to circumstantial disabilities encountered by workers in various occupational tasks. Rice farmers exposed to heavy and viscous mud in paddy plowing may exhibit signs and symptoms of anterior compartment syndrome of the leg and require the same external assistance for these muscles that stroke patients may require to dorsiflex their ankles in order to prevent catching their toes on support surfaces during the swing phase of gait. There have been a number of studies conducted on AT design for people with disabilities that can be also applied to ordinary users. For example, Newell et al. (1991) described the development of a multimodal workstation for computer task performance by persons with severe cognitive impairment along with assessment of use of the station by non-disabled users operating in high-workload and safety-critical situations, such as air traffic controllers. Conversely, interventions designed to prevent worker cognitive and physical disadvantage in extreme occupational environments or disease may have utility for non-occupational disabled populations.

The motivation for studying occupation-induced disability as a basis for AT design for non-occupational persons is that working populations, such as rice farmers, are often larger and more accessible than specific disabled populations. In addition, this approach has been found to provide assistance for both occupational and non-occupational populations. Among occupational populations, rice farmers are not only prominent in Thailand but other Asian countries and the population is open and amenable to observation, survey, and

testing of new technologies in order to reduce work stresses.

3. Methodology

In this study, we will focus on repetitive stress-related disabilities as basis for design of AT for other congenital and disease-related disabilities. The methodology also includes consideration of existing AT designs for non-occupational populations as a basis for informing AT designs for occupational population use in extreme work conditions. With respect to design of AT for work and daily living, we will focus on pain and disability that is related to the interplay of an individual's anatomical structure and their work or everyday environment, as these factors impact on joint loading and soft tissue pathology.

Below, we provide detailed descriptions of two cases of occupation induced foot and low-back disability for farmers and how the musculoskeletal conditions are related to physical conditions of other congenital or disease-related disabilities.

Case 1 - A specific low-back disability example can be found in transplanting activities as part of the rice cultivation cycle. During transplanting, farmer work posture is typically a combination of bending forward and rotation of the trunk for several hours in a work shift (Taechasubamorn et al., 2011). Repetition of this spinal posture poses a high risk of back injury and disc degeneration (Puntumetakul et al., 2011; Hindle et al., 1987). The symptoms of low back pain observed in farmers are similar to those associated with low-back pain in adults with athetoid or athetosic CP who lack back muscle strength and control.

Case 2 - A specific foot disability example results from the interplay between the farmer's anatomy and the tilted ground surface within a plowed furrow. As a result of this work environment condition, the farmer's feet are forced to pronate excessively (Figures 1a – 1c). The excessive subtalar joint pronation within the foot may contribute to the development of tibialis posterior tendinopathy or medial tibial stress syndrome from excessive eccentric loading of the tibialis posterior muscle.

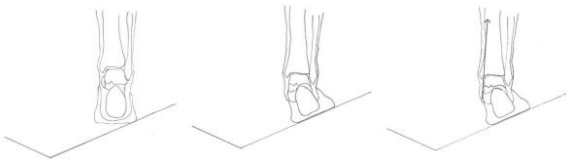


Figure 1: Farmer foot (posterior view): (a) initial contact of right foot in a rice field furrow; (b) excessive subtalar joint pronation induced by slanted rice furrow during stance phase, imposing tensile stress on medial soft tissues; (c) eccentric loading of tibialis posterior muscle (indicated by force vector).

The general non-occupational population may have excessive tibial varum or genu varus, both resulting in an excessive angulation of the distal leg with the support surface (see Figure 2a). This skeletal malalignment may then drive excessive subtalar joint pronation in the foot (Figures 2b and 2c),

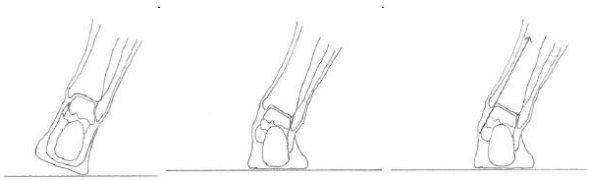


Figure 2: Patient with excessive tibial varum or genu varus: (a) initial contact with the level ground surface; (b) excessive subtalar joint pronation induced by patient's tibial varum or genu varus, imposing tensile stress on medial soft tissues; (c) eccentric loading of tibialis posterior muscle (indicated by force vector).

<u>Procedure</u>:

In this section, we describe the phases of this study. We attempt to show: how farmer physical conditions and disabilities will be identified; how these conditions will be related to physical conditions of non-occupational disabled (as

in the above cases); how underlying work and disease factors in the disabilities will be identified; how this information will be translated to AT design for both populations; and how we will test and validate our designs.

Phase 1 – In this first phase, we will conduct surveys of musculoskeletal pain and disabilities among rice farmers in the collaborating villages in Khon Kaen Province and with disability patients of the Physical Therapy units at UNC-CH and KKU. Although some data already exists on these populations, we plan to use standardized and similar survey measures across populations in order to facilitate comparison of results. For example, previous research has developed and applied a Thai version of the Standardized Nordic (pain) Questionnaire (Saetan et al., 2007). An English version of this instrument is also available. In the case of the farmers, we will focus on symptoms that are considered attributable to cultivation activities.

Phase 2 – In this phase of the research, we will conduct screening of all major tasks and subtasks in the complete cultivation cycle (ranging from field preparation to harvesting) in order to identify farmer exposure to ergonomics-related risk factors, including high force, high repetition, awkward postures, farmer fatigue, and vibration exposure. By using a custom job screening tool developed by the Ergonomics Center of North Carolina for assessing levels of risk of injury for each major body part. In general, the results of Phases 1 and 2 are expected to identify those jobs that will serve as targets for critical AT design.

Phase 3 – This phase will focus on mapping pain symptoms and occupation-induced disabilities of farmers to with specific musculoskeletal disabilities of non-occupational populations, including persons suffering from CP. The mapping relation in this study is based on matching relationships in two aspects: 1. the angle of the lower limb during walking and 2. the electrical signal (Electromyogram, EMG) from the contraction of the muscles of lower limb while walking.

Phase 4 – With the information from Phase 3, the project will also develop a structured design and prototyping process for novel AT to target specific disabilities, such as the extreme foot pronation in rice farmers leading to medial foot tensile stress and plantar fasciitis. This disability may occur in farmers due to the work environment and in CP patients with loss of muscle control due to neurological dysfunction. The general objectives for the design process will be to create technologies that reduce rice farmer exposure to ergonomics-related risk factors in cultivation tasks and the potential for MSDs, as well as technologies with application for assistance and comfort of the disabled non-occupational populations in daily living. We expect to create a collection of new AT prototypes (e.g., footwear, foot orthoses, leg braces, handle grips, etc.) for dual-population use.

Phase 5 – All AT designs developed in Phase 4 will be reviewed and subjectively ranked by expert PTs as well as engineers. Rankings will be aggregated across the experts and “top” designs will be selected for integrated solution prototyping and testing. We will conduct lab-based evaluations of the prototype technologies for impact on farmer work task performance and musculoskeletal stress. Similarly, another tests will be conducted on AT effectiveness for performance of daily living tasks by disabled non-working persons. The experiments will use high-fidelity mock-ups of task environments and equipment. As in the survey phase of the study, large samples of farmers and CP or stroke patients will be recruited for this phase to promote the generalizability of test results to the populations and further support validity of the AT designs.

Phase 6 – Those AT prototypes that prove effective for reducing musculoskeletal stresses and promoting efficient task performance in the lab tests will be further refined and prepared for field testing. We will conduct tests of all interventions in rice

cultivation tasks by working with the dedicated rice farming villages in the Khon Kaen region of Thailand. The procedure diagram of this study show as figure 3.

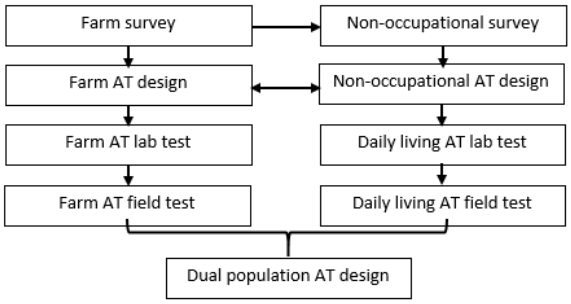


Figure 3: procedure diagram of this study

4. Apparatus

1. Simulated rice farming and terrain: A simulated rice field farming apparatus and terrain will be used in this study. We setup the farm field as real work environment in the laboratory.

2. Electromyography equipment: MP100 data acquisition system (Biopac Systems, Inc.) will be used to record EMG signals. For each muscle, three channels of EMG will be recorded through bipolar configuration electrodes and ground leads. Sintered shield Ag/AgCl circular electrodes of 1-cm diameter will be used. The output voltages of EMG signal will be recorded in a computer using AcqKnowledge software (Biopac Systems, Inc.). EMG is proved to be sensitive to effects if external force on body in terms of work posture control, levels of efficiency in muscular use and endurance (Konrad, 2005). EMG signals have been used in many clinical and biomedical applications (Harvey & Masland, 1941). Muscle activity level measures can be used to indicate task forces as well as worker fatigue. Measuring the activation and force output of a muscle contraction is biomechanically assessed through the use of surface EMG electrodes. This methodology is a non-invasive practice to quantify the relationship between a specific movement and the activation of the underlying muscle group(s).

It should be noted that EMG analyses are difficult to conduct in field settings due to limited portability of equipment, the need for sensors and amplifiers to be connected to fixed-position data collection systems, and the potential for signal interference to due environmental noise. However, EMG can be reliably collected in the laboratory on high-fidelity simulations of work tasks as a basis for gaining insight into the levels of muscle activation occurring under real work circumstances. Therefore, this study will be conducted with the simulated rice farm in the laboratory settings.

3. Modified Standard Nordic Questionnaire (SQN; Kuorinka et al., 1987) will be used to collect self-report of discomfort for each joint of LE.

5. Summary

In general, this study is expected to produce a number of intellectual merits including:

(1) characterization of pain and occupation-induced disabilities of rice farmers;

(2) identification and quantification of ergonomics risk factors in agricultural tasks;

(3) demonstration of a new methodology for efficiently characterizing and mapping occupational disease-related disabilities to congenital disabilities in terms of musculoskeletal conditions;

(4) an initial mapping of physical disabilities in farmers to congenital and diseaserelated musculoskeletal disabilities among non-occupational populations, including CP patients and stroke survivors;

(5) a design basis for a “new breed” of AT for dual-population use, including assisting agricultural workers in extreme environments and reducing ergonomic risk exposure, as well as assisting non-occupational disabled in daily living tasks;

(6) formalization of a process for rapid design and prototyping of low-cost, highly usable AT that is adapted to specific task environment requirements based on online test and evaluation use ergonomics measurement methods;

(7) a collection of advanced AT prototypes (e.g., footwear, foot orthoses, etc.) for personal protection of farmers during cultivation tasks and for promoting ease of life functions for disabled persons;
(8) formalization of a multi-stage approach to experimental evaluation of AT in lab and field settings using ergonomics methods for validation purposes (e.g., EMG); and
(9) findings on empirical evaluations of AT conducted using high-fidelity lab mock-ups of work and daily living tasks or through actual field tests.

These contributions are expected to be transformative with respect to disability engineering research on the design and development of dual-population AT.

References

[1] Swangnetr M, Kaber D, Puntumetakul R. & Gross MT. (in review). Ergonomics-related risk identification and pain analysis for farmers involved in rice cultivation. Submitted to Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation, 2012.
[2] Office of Agricultural Economics. 2010. "Agricultural Statics," Accessed November, 2011
[3] Karukunchit, U., Swangnetr, M., Puntumetakul, R., Eungpinichpong, W., & Emasithi, A. Prevalence of lower extremity malalignment in rice farmers. The 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Krakow, Poland, 2014
[4] Reid, C. R., Bush P., Karwowski, W., & Durrani, S. Occupational postural activity and lower extremity discomfort: A review. International Journal of Industrial Ergonomisc, 2010
[5] Jaffer, N., Abdul-Tharim, A. H., Mohd-Kamar, I. F., & Lop, N. S. A Literature Review of Ergonomics Risk Factors in Construction Industry. Procedia Engineering, 2011
[6] Newell, A.F. & Cairns, A.Y., Designing for extra-ordinary users. Ergonomics in Design, 1993
[7] Newell, A.F., & Booth, L. The use of lexical and spelling aids with dyslexics. In Singleton (Ed.), Computers & Literacy Skills. University of Hull, 1991
[8] Taechasubamorn P, Nopkesorn T, Pannarunothai S. Prevalence of low back pain among rice farmers in a rural community in Thailand. J Med Assoc Thai 94, 2010
[9] Puntumetakul R., Siritaratiwat W., Boonprakob Y., Puntumetakul M. Prevalence of Musculoskeletal Disorder in Farmer: Case study in Sila, Muang Khon Kaen, Khon Kaen Province. J Med Tech Phy, 2011
[10] Hindle, R., Murray-Leslie, C. and Atha, J., Diurnal stature variation in ankylosis spondylitis, Clinical Biomechanics, 1987
[11] Saetan, O., Khiewyoo, J., Jones, C., & Ayuwat, D. Musculoskeleta disorders among northeastern construction workers with temporary migration. Srinagarind Medical Journal, 2007
[12] Konrad, P. The ABC of EMG. A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography. Scottsdale, AZ: Norazon, 2005
[13] Harvey AM, Masland RL. Actions of durarizing preparations in the human. Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics, Vol. 73, 1941
[14] Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A. Standardized Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms, 1987

การเพิ่มผลผลิตของโรงงานผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูงและต่ำ

The productivity improvement of a high and low voltage products' factory

เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล* สุทธิดา รักโคตร ศิรินภา บัวผัน อลิสา เลาเลิศ
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ. ชลบุรี 20131 E-mail: kasemp@buu.ac.th*

Kasem Pipatpanyanugoon*, Sutthida Rakkhot, Sirinapa Buaphan, Alisa Laolest
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University,
Muang, Chonburi, 20131, E-mail: kasemp@buu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มผลผลิตของโรงงานผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูงและต่ำ พบว่าผลิตภัณฑ์ ที่เรียกชื่อย่อว่า DF เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการสั่งซื้อมากที่สุดเฉลี่ย 10,338 ชุด/เดือน แต่ทางโรงงานผลิตได้เฉลี่ย 9,672 ชุด/เดือน ซึ่งต่ำกว่าปริมาณสั่งซื้อเฉลี่ยถึง 666 ชุด/เดือน หรือ 6.44% เมื่อได้ศึกษากระบวนการผลิต เก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าเกิดปัญหาคอขวดใน 2 จุด จุดแรกคือในขั้นตอนการประกอบชุดกระบอกฟิวส์ ส่วนจุดที่ 2 คือขั้นตอนการประกอบชุดกระบอกฟิวส์เป็นผลิตภัณฑ์ DF ได้ดำเนินการแก้ปัญหาคอขวดจุดแรก ด้วยการสร้างแท่นจับยึดกระบอกฟิวส์ขึ้นใหม่ ลงทุน 3,900 บาท เพิ่มผลผลิตจาก 214 เป็น 225 ชิ้น/ชั่วโมง ผลผลิตเพิ่มขึ้น 5.14 % และลดจำนวนพนักงานจาก 2 เหลือ 1 คน ลดค่าแรงได้ 58,560 บาท/ปี แก้ปัญหาคอขวดที่ 2 โดยจัดแบ่งงานในสายการประกอบใหม่ด้วยหลักการ ECRS ทำให้ประกอบผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจาก 148 เป็น 180 ชุด/ชั่วโมง ผลผลิตเพิ่มขึ้น 21.62 % มีรายได้เพิ่มขึ้น 11,028,960 บาท/ปี

คำหลัก การเพิ่มผลผลิต สายการประกอบ อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูง อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ การออกแบบ

Abstract

The research aim is to improve the productivity of a high and low voltage products' factory. This was found that the product name DF was the most purchase order product. The average purchase order was 10,338 sets / month, but the average production capacity was 9,672 sets / month, which lower than the average purchase order was 666 sets / month or 6.44%. Then, studied the processes, collected and analyzed the data. It found that there were 2 bottlenecks. The first bottleneck was the fuse cylinder assembly, and the second bottleneck was the assembly of a fuse cylinder set to be DF product. The first bottleneck was implemented by built a new fixture, cost 3,900 baht. This increased the yield from 214 to 225 pieces / hour or 5.14% and reduced the worker from 2 to 1 people and labor cost 58,560baht / year. The second bottleneck was implemented by used the ECRS principles to rearrange the step of work. The productivity was increased from 148 to 180 sets / hour or 21.62 %. The revenue was increased 11,028,960 baht / year.

Keywords: productivity improvement, assembly line, high voltage products, low voltage products, design.

1. บทนำ

การผลิตสินค้าคุณภาพที่ลูกค้าพึงพอใจ ด้วยต้นทุนต่ำ และส่งมอบรวดเร็วตรงเวลา เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้องค์กรสามารถแข่งขันและอยู่รอดได้ในภาวะการตลาดที่มีการแข่งขันสูง การใช้หลักการ PDCA (Plan, Do, Check, Act) ของวงจรเดมมิ่ง (Deming cycle) [1] และเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด [2] มาช่วยเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพ การนำเทคนิคการลดความสูญเสีย 7 ประการ [3] หลักการ ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) และการศึกษางาน [4] มาวิเคราะห์ข้อมูล หาวิธีการทำงานที่เหมาะสม เพื่อกำจัดวิธีการทำงานที่ไร้ประสิทธิภาพและลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต การนำเทคนิคเหล่านี้มาใช้สามารถลดความสูญเปล่าได้ทั้งต้นทุนและเวลาการผลิต เป็นการเพิ่มผลผลิต ทั้งทำให้สินค้ามีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้า และการส่งมอบตรงเวลาได้

การเพิ่มผลผลิตทำได้หลายวิธี เกษมและคณะ [5] ได้ใช้เทคนิคการศึกษางาน ศึกษาข้อมูลของแผนกประกอบหัวอ่านหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ พบปัญหาคือด้านเข็มอัดบอลหักหรืองอ ด้านการตั้งค่าโปรแกรมเครื่องผิดพลาด และด้านการซ่อมบำรุงที่ไม่มีอะไหล่เข็มอัดบอลเตรียมไว้ เมื่อแก้ไขแล้ว ทำให้ลดต้นทุนค่าแรงและค่าวัสดุได้เฉลี่ย 11,849 ดอลลาร์สหรัฐต่อปี อรุณวรรณ จิตสำราญและอรรถกร เก่งพล [6] ได้ใช้เทคนิค ECRS ศึกษาข้อมูลของโรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า พบปัญหาคือการเรียงชิ้นส่วนเหล็กเสียเวลามาก เนื่องจากมีวิธีการทำงานยังไม่เหมาะสม จึงได้ออกแบบวิธีการทำงานใหม่ โดยออกแบบแท่นวางแผ่นเหล็กหม้อแปลงสามเฟสแบบมีเหล็กยึดและใช้แผ่นเหล็กเจาะรู ทำให้ลดเวลาการเรียงเหล็กวิธีเดิมที่ใช้ตลับเมตรวัดและซี-แคลัมป์ยึดชิ้นส่วนจาก 6 เหลือ 4 ชั่วโมง ทำให้เวลามาตรฐานของการเรียงแผ่นเหล็กจากเดิม 6 เหลือ 1.82 วินาที/แผ่น/คน หรือลดลง 69.67% สามารถเพิ่มผลผลิตจาก 3 เป็น 4 ใบต่อวัน หรือเพิ่ม 33.33% และลดค่าใช้จ่ายได้เฉลี่ย 178,800 บาทต่อเดือน

โครงงานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูงและต่ำซึ่งมีหลายชนิด ข้อมูลสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ในช่วง 6 เดือนพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อย่อว่า DF เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการสั่งซื้อมากที่สุดเฉลี่ย 10,338 ชุด/เดือน หรือ 39.42% ของปริมาณการผลิตทั้งหมด แต่ทางโรงงานผลิตได้เฉลี่ย 9,672 ชุด/เดือน ซึ่งต่ำกว่าปริมาณสั่งซื้อเฉลี่ยถึง 666 ชุด/เดือน หรือ 6.44% ด้วยเหตุนี้ จึงได้จัดทำโครงงานวิจัยนี้ขึ้น เพื่อเพิ่มผลผลิตของผลิตภัณฑ์นี้ ให้สามารถสนองตอบความต้องการของลูกค้าได้

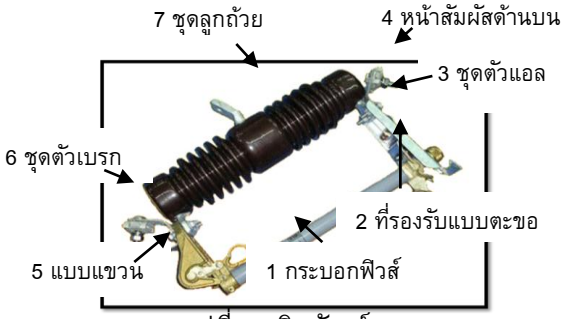
2. วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.1 การเก็บข้อมูล

1. ข้อมูลผลิตภัณฑ์ DF

ผลิตภัณฑ์ DF มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ DF

ประกอบด้วย 7 ชิ้นส่วนๆละ 1 ชิ้น ได้แก่ 1) กระบอกฟิวส์ 2) ที่รองรับแบบตะขอ 3) ชุดตัวแอล 4) ชุดหน้าสัมผัสด้านบน 5) แบบแขวน 6) ชุดตัวเบรก และ 7) ชุดลูกถ้วย ปริมาณการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ DF เฉลี่ย10,338 ชุดต่อเดือน โดยบริษัทจัดให้มีเวลาในการประกอบผลิตภัณฑ์ DF เฉลี่ย 16 วัน/เดือน และทำการประกอบเพียงครึ่งวัน หรือเฉลี่ย 3-4 ชั่วโมง/วันเท่านั้น ดังนั้นต้องประกอบผลิตภัณฑ์ DF ให้ได้อย่างน้อย = 10,338/16 = 647 = ชุด/วัน

ข้อมูลจากบัญชีรายการวัสดุของผลิตภัณฑ์ DF พบว่าชิ้นส่วนกระบอกฟิวส์ผลิตได้เพียง 560 ชิ้น/วัน เท่านั้น ขาดอยู่ 87 ชิ้น/วัน ส่วนชิ้นส่วนอื่นๆผลิตได้ทันต่อการใช้งาน

2. ข้อมูลกระบวนการผลิตกระบอกฟิวส์

กระบวนการผลิตกระบอกฟิวส์ ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1 ใช้พนักงานทั้งหมด 7 คน

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการผลิตกระบอกฟิวส์

กระบวนการ	พนักงาน	เวลา/ชิ้น (วินาที)
1. ประกอบข้อต่อห่วงดึงเข้ากับกระบอก	I	15.57
2.ตรวจสอบความยาว/ ปรับแต่ง	J	16.01
3. เจาะรูร้อยสลักยึดส่วนข้อศอก	K	14.40
4. เจาะรูร้อยสลักยึดส่วนห่วงดึง	L	15.61
5.ตอกปริ้นยึดกระบอกส่วนข้อศอก	M	15.37
6. ตอกปริ้นยึดกระบอกส่วนห่วงดึง	N	16.82
7. ประกอบชุดหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ ตัวล่าง ย้ำ และมัดลวด	O	12.92

ขั้นตอนการตอกปริ้นยึดกระบอกฟิวส์ส่วนข้อศอกและส่วนห่วงดึง ทำบนแท่นจับยึดแยกกัน 2 แท่นและวางห่างกัน 100 ซม. แสดงดังรูปที่ 2 และ 3

รูปที่ 2 แท่นตอกปริ้นยึดกระบอกฟิวส์ส่วนข้อศอก

รูปที่ 3 แท่นตอกปริ้นยึดกระบอกฟิวส์ส่วนห่วงดึง

2.2 การวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหา

รูปที่ 3 แท่นตอกปริ้นยึดกระบอกฟิวส์ส่วนห่วงดึง

เมื่อได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าปัญหาคอขวด 2 จุดคือ

1. การประกอบผลิตภัณฑ์ DF ได้น้อยกว่าความต้องการอยู่ 666 ชุด/เดือน หรือ 666/16 = 42 ชุดต่อวัน

2. การผลิตกระบอกฟิวส์ได้น้อยกว่าความต้องการอยู่ 87 ชิ้น/วัน

ปัญหาการประกอบผลิตภัณฑ์ DF ล่าช้า เกิดจากการรอชิ้นส่วนกระบอกฟิวส์ นอกจากนั้นการจัดผังสถานที่ทำงานไม่เหมาะสม มีการวางสิ่งของเกะกะ สถานีงานอยู่ห่างกัน เป็นต้น จึงควรใช้เทคนิค ECRS มาช่วยจัดวางผังและจัดวิธีการทำงานใหม่

ส่วนปัญหาการผลิตกระบอกฟิวส์ไม่ทันความต้องการ เพราะแท่นยึดกระบอกฟิวส์ จับยึดชิ้นงานไม่แน่น ทำให้ตอกปริ้นกระบอกฟิวส์เคลื่อน งานไม่ได้คุณภาพ เสียเวลาทำใหม่ นอกจากนี้ยังแยกเป็น 2 แท่น ทำให้เสียเวลาเคลื่อนย้าย จึงควรออกแบบและสร้างแท่นจับยึดใหม่ ให้จับกระบอกฟิวส์แน่นและรวม 2 แท่นให้เป็นแท่นเดียว

3. ผลการดำเนินงาน

1. ออกแบบและสร้างแท่นจับยึดกระบอกฟิวส์ใหม่

โดยรวมแท่นจับยึดส่วนข้อศอกและส่วนห่วงดึงอยู่บนแท่นเดียวกัน (Simplify) แสดงดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 แท่นจับยึดกระบอกฟิวส์ (ปรับปรุง) ส่วนข้อศอก (บน) และส่วนห่วงดึง (ล่าง) อยู่บนแท่นเดียวกัน

เมื่อนำแท่นจับยึดตัวใหม่มาทดลองใช้งาน พบว่าการตอกปริ้นทำได้อย่างมีคุณภาพ ชิ้นงานไม่เสีย และเร็วขึ้น โดยทำการตอกปริ้นทั้งส่วนข้อศอกและส่วนห่วงดึง

เสร็จ ใช้เวลาเฉลี่ยเพียง 16.02 วินาทีต่อชิ้น ใช้พนักงานเพียงคนเดียว ทำให้ลดพนักงานได้ 1 คน

ลด Cycle time จาก 16.82 เหลือ 16.02 วินาทีต่อชิ้น เพิ่มผลผลิตจาก 214 เป็น 225 ชิ้นต่อชั่วโมง หรือ 5.14 %

ลงทุนสร้างแท่นยึดตัวใหม่ 3,900 บาท ลดแรงงานได้ 1 คน จึงลดค่าแรงได้ 305 บาทต่อวันx 16 วัน/เดือน x12 เดือน/ปี = 58,560 บาทต่อปี

2. ใช้หลักการ ECRS จัดสมดุล (Line Balancing) สายการประกอบผลิตภัณฑ์ DF ใหม่

1) จัดผังงานใหม่

ทำการปรับปรุงบริเวณระหว่างสถานีงานที่มีสิ่งของวางไม่เป็นระเบียบ โดยการนำสิ่งของที่ไม่มีความจำเป็นต้องใช้งานเก็บไว้ที่โกดังเก็บวัสดุอุปกรณ์ (Eliminate) และจัดสิ่งของที่ต้องนำมาใช้งานบ่อยๆอยู่ที่จุดวางชิ้นส่วนและอุปกรณ์ (Rearrange) ทำให้มีพื้นที่ว่าง

ทำการจัดตำแหน่งสถานีงานใหม่ (Rearrange) ให้อยู่ติดกัน เพื่อลดระยะทางการเคลื่อนย้าย

2) แบ่งงานให้พนักงานใหม่

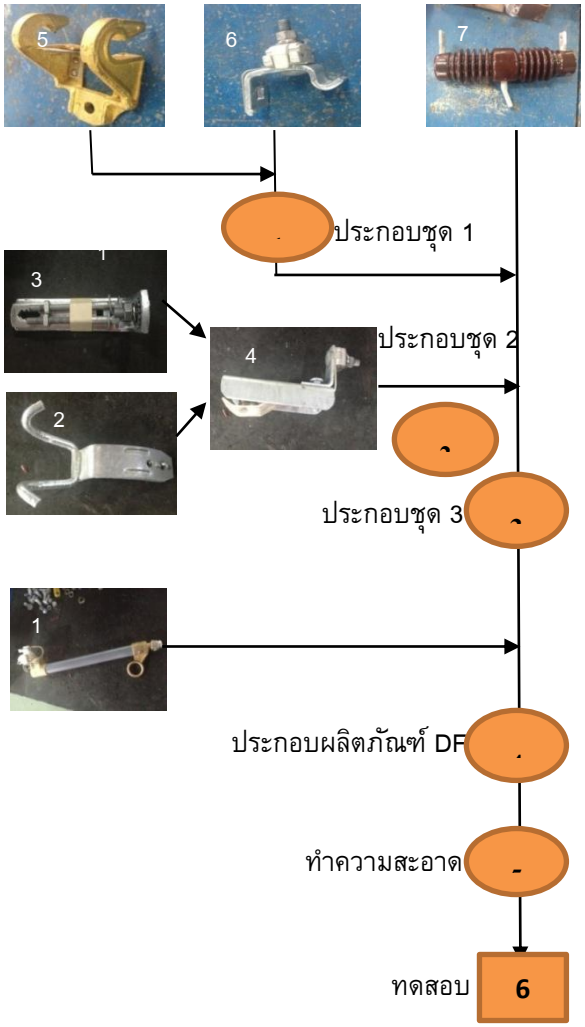
เมื่อจัดผังใหม่แล้ว ได้ปรับปรุงวิธีการทำงานใหม่ เพื่อให้เกิดความสมดุลมากยิ่งขึ้น ขั้นตอนการประกอบผลิตภัณฑ์ DF แสดงได้ดังรูปที่ 5 เปรียบเทียบวิธีการทำงานเดิมและใหม่ แสดงดังตารางที่ 2 การปรับปรุงวิธีการทำงานใหม่ อธิบายได้ดังนี้

กำหนดให้พนักงาน A ทำงาน 2 ขั้นตอน (Combine) ได้แก่ ขั้นตอนที่1 ทำการประกอบแบบแขวน (5) เข้ากับชุดตัวเบรก (6) ได้ส่วนประกอบชุด 1 และขั้นตอนที่2 ทำการประกอบที่รองรับแบบตะขอ (2) และชุดตัวแอล (3) เข้ากับหน้าสัมผัสด้านบน (4) ได้ชุด 2 เนื่องจากสองขั้นตอนนี้ทำงานในสถานีงานเดียวกันและเป็นขั้นตอนที่ง่ายไม่ยุ่งยาก พนักงานA จึงสามารถทำงานได้ และทำให้ลดจำนวนพนักงาน B ได้ 1 คน

กำหนดให้พนักงาน C ทำการประกอบชุด 1และ 2 เข้ากับชุดลูกถ้วย (7) เป็นชุด 3

กำหนดให้พนักงาน E ทำงาน 2 ขั้นตอน (Combine) ได้แก่ ขั้นตอนการเช็ดทำความสะอาดและการทดสอบผลิตภัณฑ์ เนื่องจากขั้นตอนการทดสอบผลิตภัณฑ์ใช้เวลาไม่มาก ขั้นตอนมีความง่าย และทำงานในสถานีงานเดียวกัน พนักงาน E จึงสามารถทำงานได้และให้พนักงาน F ไปทำงานในขั้นตอนใส่กระบอกฟิวส์ (1)

กำหนดให้ขั้นตอนการใส่กระบอกฟิวส์และปรับแต่งผลิตภัณฑ์มีพนักงานปฏิบัติงาน 2 คน คือ พนักงาน D และพนักงาน F (Rearrang)โดยพนักงาน D ทำงานเหมือนเดิมคือใส่กระบอกฟิวส์ (1) เข้ากับชุด 3 ส่วน F เป็นผู้ทำการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ (ชุด 3) มาใส่กระบอกฟิวส์ เพื่อช่วยลดภาระขั้นตอนการทำงานของพนักงาน C และควบคุมดูแลรักษาเครื่องมือ/อุปกรณ์ให้มีสภาพพร้อมใช้งานอยู่ ทั้งช่วยใส่กระบอกฟิวส์ด้วย



รูปที่ 5 ขั้นตอนการประกอบผลิตภัณฑ์ DF

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการปรับปรุงงานแบบเดิมกับที่ปรับปรุง

	วิธีเดิม	วิธีใหม่

ขั้นตอนการประกอบ	พนักงาน	เวลาประกอบต่อชุด (วินาที)	พนักงาน	เวลาประกอบต่อชุด (วินาที)
1. ประกอบแบบแขวน (5) เข้ากับชุดตัวเบรก (6) ได้ส่วนประกอบชุด1	A	7.64	A	17.00
2. ประกอบชุดตัวแอล (3) และที่รองรับแบบตะขอ (2) เข้ากับหน้าสัมผัสด้านบน (4) ได้ส่วนประกอบชุด 2	B	10.27		
3. นำส่วนประกอบชุด 1 และ 2 ประกอบเข้ากับชุดลูกถ้วย (7) ได้ส่วนประกอบชุด 3	C	13.09	C	11.43
4. ใส่กระบอกฟิวส์ (1) เข้ากับส่วนประกอบชุด 3 ได้ผลิตภัณฑ์ DF และปรับแต่ง	D	24.31	D, F	16.94
5. เช็ดทำความสะอาด	E	12.07	E	19.95
6. ทดสอบผลิตภัณฑ์	F	9.64		

เมื่อจัดผังและแบ่งงานใหม่ทำให้ Cycle time เปลี่ยน และลดพนักงานได้ 1 คน

Cycle time เดิม = 24.31 วินาที/ชุด ได้ผลผลิต = 148 ชุด/ชม.

Cycle time ใหม่ = 19.95 วินาที/ชุด ได้ผลผลิต = 180 ชุด/ชม.

ผลผลิตเพิ่มขึ้น = 180 – 148 = 32 ชุด/ชม. หรือ ผลผลิตเพิ่มขึ้น = (180 – 148) * 100 / 148 = 21.62 %

ลดพนักงาน 1 คนลดค่าแรงงานได้ = 305 บาท/วัน x 16 วัน/เดือน x 12 เดือน/ปี = 58,560 บาท/ปี

4. สรุปผลการดำเนินงาน

ผลิตภัณฑ์ DF เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการสั่งซื้อมากที่สุดเฉลี่ย 10,338 ชุด/เดือน แต่ทางโรงงานผลิตได้เฉลี่ย 9,672 ชุด/เดือน ซึ่งต่ำกว่าปริมาณสั่งซื้อเฉลี่ยถึง 666 ชุด/เดือน เมื่อได้ศึกษากระบวนการผลิต เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา พบว่าเกิดปัญหาคอขวด 2 จุด คือในขั้นตอนผลิตชุดกระบอกฟิวส์ และขั้นตอนการประกอบชุดกระบอกฟิวส์เป็นผลิตภัณฑ์ DF ได้ดำเนินการแก้ปัญหาดังนี้

1. ปรับปรุงกระบวนการผลิตกระบอกฟิวส์ล่าช้า ดังนี้

1) สร้างแท่นจับยึดกระบอกฟิวส์ใหม่ โดยรวมส่วนห่วงดึงและส่วนข้อศอกเป็นแท่นเดียว ลงทุน 3,900 บาท

2) ลด cycle time จาก 16.82 เหลือ 16.02 วินาที/ชิ้น เพิ่มปริมาณการผลิตตอกกระบอกฟิวส์ จาก 214 เป็น 225 ชิ้นต่อชั่วโมง ถ้าทำงานวันละ 3 ชม. จะได้งาน 675 ชิ้น ทำให้ทันต่อความต้องการ 647ชิ้น/วัน

3) ลดพนักงานจาก 2 เหลือ 1 คน ลดค่าแรงได้ 58,560 บาท/ปี

2. ปรับปรุงการประกอบผลิตภัณฑ์ DF ล่าช้า ดังนี้

จัดผังสถานที่ทำงานใหม่ และแบ่งงานใหม่ โดยใช้หลักการ ECRS

1) ลด Cycle time จาก 24.31 เหลือ 19.95 วินาที/ชุด ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 148 เป็น 180 ชุด/ชม. หรือเพิ่มขึ้น 32 ชุด/ชม. = 21.62%

2) ถ้าต้องการประกอบผลิตภัณฑ์วันละ 647 ชุด/วัน ต้องใช้เวลาผลิต = 647/180 = 3.59 ชม./วัน

3) สามารถเพิ่มผลผลิตสนองความต้องการของลูกค้าได้ในส่วนที่ขาดอยู่ 666 ชุดต่อเดือน ทำให้มีรายได้เพิ่ม = 666 ชุด/เดือน x 1,380 บาท/ชุด x 12 เดือน/ปี = 11,028,960 บาท/ปี

4) ลดพนักงานได้ 1 คน ประหยัดค่าแรงได้ 58,560 บาท/ปี

5. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโรงงานที่เป็นกรณีศึกษานี้ ระบบบริหารยังไม่แข็งแรง จึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรจัดรอบรมให้ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงงาน รวมถึงความเข้าใจในวิธีการปฏิบัติงาน เป็นการส่งเสริมให้พนักงานมีความรู้ความสามารถเพิ่มขึ้น

2. ควรจัดให้พนักงานมีส่วนร่วมในการรับรู้ถึงข้อบกพร่องและผลที่เกิดขึ้น เพื่อให้พนักงานตระหนักถึงความสำคัญของการผลิตที่มีประสิทธิภาพ และร่วมกันวางแผน แก้ไข ตรวจสอบและติดตามผลในการปฏิบัติงานต่อไป

3. ควรเพิ่มขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของวัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ เพื่อลดเวลาในการผลิต และลดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นเมื่อปฏิบัติงาน

4. ในด้านความปลอดภัย ควรเพิ่มอุปกรณ์ป้องกัน เช่นปลอกนิ้วแบบสวมในขั้นตอนการตอกปริ้น เพื่อป้องกันครีบจากหมุดปริ้นซึ่งมีความคมบาดนิ้ว

เอกสารอ้างอิง

[1] เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. 2557. การควบคุมคุณภาพ.สำนักพิมพ์ท้อป กรุงเทพฯ.

[2] ศุภชัย นาทะพันธ์. 2551. การควบคุมคุณภาพ: บริษัท วี.พริ้นท์ (1991) จำกัด, กรุงเทพฯ.

[3] ธวัชชัย ตั้งสง่า. 2547. *ความสูญเสีย 7 ประการ*: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

[4] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. 2550. การศึกษางานอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์ท้อป กรุงเทพฯ.

[5] เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล, ณิชกมล แสงผ่อง, สุภัทรา กิจกลาง, อรพรรณ สังข์โชติ: การลดความสูญเสียในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. ขอนแก่น. 21 - 22 ตุลาคม 2552. 1573 – 1577

[6] อรุณวรรณ จิตสำรำญ, อรรถกร เก่งพล: การพัฒนาความสามารถในการผลิตโดยการใช้เวลามาตรฐานและ การออกแบบเพื่อการประกอบ: กรณีศึกษาโรงงานผลิต หม้อแปลงไฟฟ้า. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรม อุตสาหการ. สมุทรปราการ. 30 - 31 ตุลาคม 2557.

การประเมินภาวะความเสี่ยงทางการยศาสตร์จากการทำงานของพนักงานสำนักงานในจังหวัดสงขลา

Health Risk for Work-Related Ergonomics of Office Workers in Songkhla Province

สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์[1*] ชาตรี หอมเขียว[1] ธยา ภิรมย์[1] นงนาฏ ระวังวงศ์[2] และ วรรธนพร ชีววุฒิพงศ์[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อ.เมือง จ. สงขลา 90000 E-mail: sitnong2@yahoo.co.th*
[2]สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อ.เมือง จ. สงขลา 90000

Surasit Rawangwong[1*], Chatree Homkhiew[1], Thaya Pirom[1], Nongnard Rawanwong and Watthanaphon Cheewawuttipong
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla, 90000, E-mail:sitnong2@yahoo.co.th*
[2]Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla, 90000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินภาวะความเสี่ยงทางการยศาสตร์จากการทำงานของพนักงานสำนักงานในจังหวัดสงขลา จำนวน 245 คน ที่ใช้คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะในการทำงานมากกว่า 4 ชั่วโมงต่อวัน เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์และแบบประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์โดยใช้แบบประเมินความเครียดของพนักงานสำนักงานอย่างรวดเร็ว (Rapid Office Strain Assessment; ROSA) พบว่าพนักงานมีความเสี่ยงทางการยศาสตร์การทำงานในระดับที่สูง ร้อยละ 68.97 รองลงมา คือระดับปานกลาง ร้อยละ 14.24 และระดับสูงมาก ร้อยละ 12.24 ตามลำดับ ผลการวิจัยโดยใช้การประเมินความเสี่ยงด้วยแบบประเมินความเครียดของพนักงานสำนักงานอย่างรวดเร็ว (ROSA) พบว่าความเสี่ยงทางการยศาสตร์จากการทำงานกับคอมพิวเตอร์ของพนักงานกลุ่มนี้อยู่ในระดับสูง จึงเสนอแนะให้มีการปรับปรุงการทำงานทางด้านพฤติกรรม ท่าทางการทำงาน การออกแบบสถานีงานให้เหมาะสมตามวิธีทางการยศาสตร์ และการบริหารร่างกายเพื่อป้องกันโรคทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ

คำหลัก การยศาสตร์ การประเมินความเสี่ยง พนักงานสำนักงาน แบบประเมินความเครียดของพนักงานสำนักงานอย่างรวดเร็ว ผู้ใช้คอมพิวเตอร์

Abstract

The objective of this research is to evaluate health risk for work-related ergonomics of office workers in Songkhla Province. All of the staffs used desktop computers for more than 4 hours per day during the working time. Data were collected by using a structured interview questionnaire and the Rapid Office Strain Assessment (ROSA) technique. The results of this study showed that the ergonomic risks were at high level in the majority of the office staffs in 68.97%, the risks were moderate in 14.24%, and the risks were very high in 12.24%. By using the ROSA, this study showed that most of the computer users were

exposed to the high level of the ergonomic risks correlation with their working postures and their work environments. For the prevention of musculoskeletal disorders, the personal working behaviors and the design of the workstations and exercise should be improved based on the ergonomic.

Keywords: Ergonomic, Risk Assessment, Office Workers, Rapid office strain assessment (ROSA), Computer User

1. บทนำ

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการทำงานในองค์กรหรือสำนักงานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์สามารถประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ ได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ ทำให้ปริมาณการใช้คอมพิวเตอร์ในองค์กรหรือสำนักงานต่างๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ พนักงานสำนักงานหรือผู้ใช้คอมพิวเตอร์ในการทำงานมักมีปัญหาสุขภาพเกี่ยวกับความผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ (Musculoskeletal disorders: MSDs) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าพนักงานสำนักงานในประเทศไทยมีความชุกในรอบ 1 ปี ของอาการความผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อที่ส่วนคอ ร้อยละ 42 หลังส่วนล่าง ร้อยละ 34 หลังส่วนบน ร้อยละ 28 ข้อมือ/มือ ร้อยละ 20 ไหล่ ร้อยละ 16.00 [1] และการศึกษาในมหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่าพนักงานสำนักงานมีความชุกของอาการปวดไหล่ในรอบ 1 เดือนของบุคลากรสำนักงานมีร้อยละ 63.10 [2] ต่อมาพบว่าจากการศึกษาการใช้คอมพิวเตอร์ในพนักงานสำนักงานของมหาวิทยาลัยนครพนม พบว่าเกิดอาการความผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อจากการใช้คอมพิวเตอร์ ได้แก่ อาการปวดคอมากที่สุด ร้อยละ 83.7 อาการปวดไหล่ ร้อยละ 79.7 อาการปวดหลังส่วนบน ร้อยละ 63.0 อาการปวดท้ายทอย ร้อยละ 62.1 อาการปวดหลังส่วนล่าง ร้อยละ 48.5 อาการปวดข้อมือ/มือ ร้อยละ 46.7 เป็นต้น โดยทั่วไปการทำงานในสำนักงานจะมีลักษณะงานที่ต้องอยู่ในอิริยาบถและท่าทางเดิมๆ เป็นเวลานานหลายชั่วโมง รวมทั้งการเคลื่อนไหวและมีสภาพแวดล้อมการทำงานที่ไม่เหมาะสม ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสี่ยงต่ออาการปวดคอ ไหล่ และหลังส่วนล่าง ตามมาได้ [3], [4], [5]

จากการวิจัยเพื่อการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ที่เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดอาการความผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ (MSDs) นักวิจัยได้มีการคิดค้นและเสนอแนะการใช้วิธีต่างๆ ในการประเมินความเสี่ยงไว้หลายรูปแบบ ซึ่งสามารถจัดเป็นประเภทหลักๆได้ 3 แบบ คือ 1) แบบสอบถาม (Observational Methods) โดยใช้ผู้สังเกตการณ์ 2) การรายงานด้วยตัวเอง (Self Reports) จากการรายงานโดยการสัมภาษณ์ 3) การใช้เครื่องมือวัดโดยตรง (Direct Measurements) โดยการใช้เครื่องมือที่จำเพาะในการวัด จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ได้นำแบบสอบถามไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงในกลุ่มต่างๆ เช่น การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในพนักงานสำนักงานที่ใช้คอมพิวเตอร์โดยใช้แบบประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานสำนักงานอย่างรวดเร็ว (Rapid Office Strain Assessment ; ROSA) [6] การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของแรงงานนอกระบบในกลุ่มคนงานทำไม้กวาด โดยใช้ Rapid Upper Limb Assessment (RULA) [7]

จากการศึกษาที่ผ่านมามีการศึกษาและประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในกลุ่มพนักงานสำนักงานที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการทำงาน แต่ยังไม่มีการศึกษาโดยใช้รูปแบบการประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ของพนักงานสำนักงานในบริษัทอย่างจริงจัง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ของพนักงานสำนักงาน กรณีศึกษาของบริษัทในจังหวัดสงขลา โดยใช้แบบสอบถามและแบบประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานสำนักงานอย่างรวดเร็ว (ROSA) เพื่อทราบข้อมูลความเสี่ยงที่สามารถเป็นแนวทางในการป้องกันและการเฝ้าระวังกับผู้ที่ทำงานในสำนักงานบริษัทต่างๆ ต่อไป

2. วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานสำนักงานในจังหวัดสงขลา โดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นพนักงานสำนักงานในจังหวัดสงขลา

เก็บข้อมูลระหว่างเดือน มกราคม ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2557 พนักงานใช้คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะในการทำงานมากกว่า 4 ชั่วโมงต่อวัน โดยผู้วิจัยได้สุ่มกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นอาสาสมัครจากสำนักงานบริษัท จำนวน 35 บริษัท จำนวน 245 คน และทำการสุ่มตัวอย่างโดยใช้วิธีการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling)

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1) แบบสอบถามแบบมีโครงสร้างเพื่อทราบข้อมูลลักษณะส่วนบุคคลของพนักงาน

2) แบบประเมินความเครียดของพนักงานสำนักงานอย่างรวดเร็ว (Rapid Office Strain Assessment ; ROSA) ผู้วิจัยได้ประยุกต์จากแบบประเมินของ Sonne M. et al. [6] ที่ได้ออกแบบเพื่อให้สามารถประเมินระดับความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้สำหรับการประเมินเพื่อระบุปัจจัยเสี่ยงในการใช้คอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความรู้สึกไม่สบายของร่างกาย ผู้วิจัยได้นำแบบประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์วิธี ROSA มาปรับเป็นภาษาไทยและได้รับการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการยศาสตร์แล้ว มีเกณฑ์การตัดสินคะแนนในแต่ละหัวข้อตามวิธี ROSA มีหลักการให้คะแนนที่มาจากการสังเกตจากองค์ประกอบของท่าทาง ระยะเวลาในการทำงานของพนักงาน และสภาพแวดล้อมในการทำงาน โดยพิจารณาจากเก้าอี้ คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ เมาส์ และแป้นพิมพ์ มีเกณฑ์การแบ่งระดับคะแนนของผลคะแนนสุดท้ายของวิธี ROSA เพื่อทำการวิเคราะห์ความความเสี่ยงและจัดลำดับความเสี่ยงของพนักงานสำนักงานออกเป็นระดับความเสี่ยงต่ำ ความเสี่ยงปานกลาง ความเสี่ยงสูง และความเสี่ยงสูงมาก ดังนี้ ระดับความเสี่ยงต่ำ มีผลของคะแนนตั้งแต่ 1-2 ระดับความเสี่ยงปานกลาง มีผลของคะแนนตั้งแต่ 3-4 ระดับความเสี่ยงสูง มีผลของคะแนนตั้งแต่ 5-7 ระดับความเสี่ยงสูงมาก มีผลของคะแนนตั้งแต่ 8-10

2.2 การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลถ่ายภาพบันทึกวีดีโอ และสังเกตท่าทางการทำงานกับคอมพิวเตอร์ของกลุ่มตัวอย่างระหว่างทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานในสำนักงาน ข้อมูลที่ประเมิน ได้แก่ ท่าทางการทำงานของพนักงาน ระยะเวลาในการทำงาน ความสูงของเก้าอี้ เบาะนั่ง ที่วางพักแขน พนักพิง ตำแหน่งหน้าจอคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ เมาส์แป้นพิมพ์ และสภาพแวดล้อมในการทำงาน โดยใช้แบบสอบถามแบบมีโครงสร้างเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลทั่วไปและข้อมูลลักษณะของการทำงานเพื่อประกอบผลการวิเคราะห์ ข้อมูลทั่วไป เช่น เพศ อายุ อายุงาน ดัชนีมวลร่างกาย (Body Mass Index ; BMI) การออกกำลังกาย การออกกำลังกาย โรคหรือความผิดปกติเกี่ยวกับสายตา มีโรคหรือความผิดปกติเกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง การฝึกอบรมความรู้เกี่ยวกับการนั่งทำงาน อายุงาน ระยะเวลาที่ทำงานกับคอมพิวเตอร์ การบริหารร่างกาย/การยืดกล้ามเนื้อระหว่างทำงาน

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลแสดงจำนวนและค่าร้อยละเพื่ออธิบายข้อมูลทั่วไปและข้อมูลลักษณะในการทำงานด้วยระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานสำนักงาน

3. ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นพนักงานบริษัทในจังหวัดสงขลา จำนวน 35 บริษัท จำนวน 245 คน ซึ่งสามารถจำแนกเป็นรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) เพศ พนักงานในสำนักงาน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 183 ราย หรือร้อยละ 74.69 เป็นเพศชาย จำนวน 62 รายหรือร้อยละ 25.31

2) อายุ พนักงานในสำนักงาน ส่วนใหญ่เป็นช่วงอายุระหว่าง 31-40 ปี จำนวน 112 ราย หรือร้อยละ 45.71รองลงมาคือ กลุ่มอายุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 ปี จำนวน 64 ราย หรือร้อยละ 26.12 ช่วงอายุระหว่าง 41-49 ปี จำนวน 51 ราย หรือร้อยละ 20.81 และ อายุมากกว่าหรือเท่ากับ 50 ปี จำนวน 18 ราย หรือร้อยละ 7.34

3) ดัชนีมวลร่างกาย พบว่าดัชนีมวลร่างกายปกติอยู่ในช่วง 18.50-22.90 หรือระดับปกติ จำนวน 124 ราย หรือร้อยละ 50.61 รองลงมาคือ ช่วง 23.00-24.90 หรือโรคอ้วนระดับ 2 จำนวน 83 ราย หรือร้อยละ 33.87

4) โรคหรือความผิดปกติเกี่ยวกับสายตา พนักงานมีความผิดปกติกับสายตา จำนวน 99 ราย หรือร้อยละ 40.40 ส่วนใหญ่เป็นโรคจากสายตาเนื่องจาก สายตาสั้น

จำนวน 58 ราย หรือร้อยละ 23.67 สายตายาว จำนวน 32 ราย หรือร้อยละ 13.06 และสายตาเอียง จำนวน 9 ราย หรือร้อยละ 3.67

5) การออกกำลังกาย พนักงานออกกำลังสม่ำเสมอ จำนวน 87 ราย หรือร้อยละ 35.51

6) โรคหรือความผิดปกติเกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง พบจำนวน 117 ราย หรือร้อยละ 47.75 ส่วนใหญ่สาเหตุเนื่องมาจากอาการปวดบริเวณกล้ามเนื้อเอว หลัง คอ และไหล่

7) การฝึกอบรมความรู้เกี่ยวกับการนั่งทำงานพนักงานส่วนใหญ่ไม่เคยฝึกอบรมความรู้เกี่ยวกับลักษณะการปฏิบัติงานที่นั่งทำงานอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพ จำนวน 186 ราย หรือร้อยละ 75.92 และได้รับการอบรม/ความรู้ จำนวน 59 ราย หรือร้อยละ 24.88

8) อายุงาน พนักงานส่วนใหญ่ มีอายุงานน้อยกว่า 10 ปี จำนวน 119 ราย หรือร้อยละ 48.57 รองลงมาคือ อายุงาน 11-20 ปี จำนวน 38 ราย หรือร้อยละ 33.46

9) ระยะเวลาทำงานกับคอมพิวเตอร์ ลักษณะการทำงานส่วนใหญ่ใช้เวลาในการทำงานกับคอมพิวเตอร์เป็นเวลา 4-8 ชั่วโมง จำนวน 209 ราย หรือร้อยละ 85.30 รองลงมา คือทำงานกับคอมพิวเตอร์มากกว่าหรือเท่ากับ 9 ชั่วโมง จำนวน 36 ราย หรือร้อยละ 14.46

10) การบริหารร่างกาย/การยืดกล้ามเนื้อระหว่างทำงาน พบว่าพนักงานไม่มีการยืดเหยียดกล้ามเนื้อระหว่างทำงาน จำนวน 147 ราย หรือร้อยละ 60.00 ซึ่งรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

11) ใช้แบบสอบถามภาวะความรู้สึกไม่สบายของร่างกาย พบว่าภาวะความไม่สบายที่เกิดขึ้นจากการทำงานของพนักงานในสำนักงาน ส่วนของร่างกายและบริเวณเจ็บปวดหรือเกิดความรู้สึกไม่สบายจากการทำงานตามระดับความรุนแรงจากมากไปหาน้อยดังนี้ ไหล่ขวา ไหล่ซ้าย หลังส่วนล่าง สะโพก/ต้นขา มือ/ข้อมือ และคอ ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปและลักษณะของการทำงาน

รายละเอียด	จำนวน(ร้อยละ)
เพศ	
1. ชาย	62(25.31)
2. หญิง	183(74.69)

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปและลักษณะของการทำงาน (ต่อ)

อายุ	
1. น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 ปี	64(26.12)
2. ระหว่าง 31-40 ปี	112(45.71)
3. ระหว่าง 41-49 ปี	51(20.81)
4. อายุมากกว่าหรือเท่ากับ 50 ปี	18(7.34)
ดัชนีมวลร่างกาย (BMI kg/m^2)	
1. น้อยกว่า 18.50	12(4.89)
2. ระหว่าง 18.50-22.90	124(50.61)
3. ระหว่าง 23.00-24.90	83(33.87)
4. ระหว่าง 25.00-29.90	19(7.75)
5. มากกว่า 30.00	7(2.85)
การออกกำลังกาย	
1. ออกกำลังกาย	87(35.51)
2. ไม่ออกกำลังกาย	158(64.48)
โรคหรือความผิดปกติเกี่ยวกับสายตา	
1. สายตาสั้น	58(23.67)
2. สายตายาว	32(13.06)
3. สายตาเอียง	9(3.67)
4. ปกติ	146(59.59)
โรคหรือความผิดปกติเกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง	
1. มี	117(47.75)
2. ไม่มี	128(52.24)
การฝึกอบรมความรู้เกี่ยวกับการนั่งทำงาน	
1. เคยฝึกอบรม	59(24.88)
2. ไม่เคยฝึกอบรม	186(75.92)
อายุงาน	
1. น้อยกว่า 10 ปี	119(48.57)
2. ระหว่าง 11-20 ปี	82(33.46)
3. ระหว่าง 21-30 ปี	36(14.69)
4. มากกว่า 30 ปี	8(3.26)
ระยะเวลาทำงานกับคอมพิวเตอร์	
1. ระหว่าง 4-8 ชั่วโมง	209(85.30)
2. มากกว่า 8 ชั่วโมง	36(14.46)
การบริหารร่างกาย/การยืดกล้ามเนื้อระหว่างทำงาน	
1. เคย	98(40)
2. ไม่เคย	147(60)

ส่วนที่ 2 การประเมินลักษณะการทำงานของพนักงานสำนักงานในจังหวัดสงขลา

ลักษณะการทำงานของพนักงานสำนักงานในจังหวัดสงขลา ในด้านความสูงของเก้าอี้ส่วนมากใช้เก้าอี้มีความสูงที่เหมาะสมทำให้เข่างอ 90 องศา จำนวน 171 ราย หรือร้อยละ 69.79 รองลงมาคือการใช้เก้าอี้ที่ปรับความสูงไม่ได้ จำนวน 121 ราย หรือร้อยละ 49.38 เบาะนั่งมีพื้นที่ว่างเพียงพอระหว่างหัวเข่าและขอบของเบาะนั่ง จำนวน 215 ราย หรือร้อยละ 87.75 รองลงมาคือการใช้เก้าอี้ที่ปรับเบาะไม่ได้ จำนวน 196 ราย หรือร้อยละ 80.00 ที่พักแขนส่วนมากไม่สามารถปรับความสูงหรือความกว้างได้ จำนวน 212 ราย หรือร้อยละ 86.53 รองลงมาคือที่พักแขนสามารถรองรับแขนให้ไหล่อยู่ในลักษณะผ่อนคลาย จำนวน 183 ราย หรือร้อยละ 74.69 และที่พักแขนสำหรับรองรับข้อศอกผิวแข็ง จำนวน 116 ราย หรือร้อยละ 47.34 พนักพิงเก้าอี้รองรับเอวเพียงพอเอนมุม 95-110 องศา จำนวน 156 ราย หรือร้อยละ 67.53 ไม่สามารถปรับพนักพิงได้ จำนวน 173 ราย หรือร้อยละ 70.61 หน้าจอคอมพิวเตอร์อยู่ห่างในระดับสายตา จำนวน 175 ราย หรือร้อยละ 71.43 ไม่มีที่วางเอกสาร จำนวน 143 ราย หรือร้อยละ 58.36 การรับโทรศัพท์ส่วนมากรับโทรศัพท์คอตั้งตรง จำนวน 186 ราย หรือร้อยละ 75.91 เป็นโทรศัพท์แบบไร้สาย จำนวน 121 ราย หรือร้อยละ 49.38 การใช้เมาส์ส่วนมากอยู่ระยะเดียวกับไหล่ จำนวน 177 ราย หรือร้อยละ 72.24 วางฝ่ามือบนเมาส์ จำนวน 210 ราย หรือร้อยละ 85.71 การใช้แป้นพิมพ์ส่วนใหญ่ข้อมือตั้งตรงและไหล่ผ่อนคลาย จำนวน 185 ราย หรือร้อยละ 75.51 ไม่สามารถปรับความสูงของแป้นพิมพ์ได้จำนวน 218 ราย หรือร้อยละ 88.97 ซึ่งรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2 และสามารถสรุปผลการประเมินระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานสำนักงานด้วยวิธี ROSA แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การประเมินท่าทางการทำงานของพนักงานสำนักงานด้วยวิธี ROSA

ท่าทางการทำงาน	จำนวน(ร้อยละ)
1. ความสูงของเก้าอี้	
1.1 นั่งเข่างอ 90 องศา	171(69.79)
1.2 นั่งเข่างอ น้อยกว่า 90 องศา	15(6.12)
1.3 นั่งเข่างอ มากกว่า 90 องศา	25(10.20)
1.4 นั่งเท้าไม่สัมผัสพื้น	34(13.81)
1.5 พื้นที่ใต้โต๊ะแคบ/ไม่สามารถยกขาได้	84(34.28)
1.6 เก้าอี้ไม่สามารถปรับได้	121(49.38)
2. เบาะนั่ง	
2.1 เบาะนั่งมีพื้นที่ว่างระหว่างหัวเข่าและขอบเบาะนั่ง 3 นิ้ว	215(87.75)
2.2 เบาะนั่งยาวเกินไป มีพื้นที่มากกว่า 3 นิ้ว	21(8.57)
2.3 เบาะนั่งสั้นเกินไป มีพื้นที่มากกว่า 3 นิ้ว	9(3.67)
2.4 เบาะนั่งไม่สามารถปรับได้	196(80.00)
3. ที่พักแขน	
3.1 มีที่พักแขนรองรับข้อศอก	183(74.69)
3.2 ที่พักแขนสูง/ต่ำเกินไป	62(25.31)
3.3 ที่พักแขนสำหรับรองรับข้อศอกผิวแข็ง	116(47.34)
3.4 ที่พักแขนกว้างเกินไป	41(16.73)
3.5 ที่พักแขนไม่สามารถปรับได้	212(86.53)
4. พนักพิง	
4.1 รองรับเอวพอดีเอนมุมช่วง 95-110 องศา	173(70.61)
4.2 พนักพิงรองรับเอวไม่พอดี	13(5.30)
4.3 เอนไปข้างหลังมากกว่า 110 องศา หรือเอนไปข้างหน้าเกินไปน้อยกว่า 95 องศา	22(8.97)
4.4 พนักพิงไม่รองรับหลัง	37(15.10)
4.5 พื้นที่ทำงานสูงเกินไป ทำให้ไหล่ยกขึ้น	93(37.95)
4.6 พนักพิงไม่สามารถปรับได้	215(87.75)
5. จอคอมพิวเตอร์	
5.1 หน้าจออยู่ในระดับสายตา	175(71.43)
5.2 หน้าจอมุมต่ำกว่า 30 องศา	59(24.08)
5.3 หน้าจอสูง ต้องเงยหน้า	11(4.48)
5.4 หน้าจอไกลจากตา	25(10.20)
5.5 ผู้ใช้หันคอมากกว่า 30 องศา	47(19.18)
5.6 มีแสงสะท้อนบนหน้าจอ	17(6.93)
5.7 ไม่มีที่วางเอกสาร	143(58.36)
6. โทรศัพท์	
6.1 รับโทรศัพท์คอตั้งตรง	186(75.91)
6.2 ระยะการเอื้อมหยิบไกล มากกว่า 30 ซม.	59(24.08)
6.3 ใช้คอและไหล่หนีบโทรศัพท์	33(13.46)
6.4 โทรศัพท์แบบไร้สาย	121(49.38)

ตารางที่ 2 การประเมินท่าทางการทำงานของพนักงานสำนักงานด้วยวิธี ROSA (ต่อ)

7. เมาส์	
7.1 เมาส์อยู่ในระยะเดียวกับไหล่	177(72.24)
7.2 ต้องเอื้อมมือไปหาเมาส์	18(7.34)
7.3 เมาส์และแป้นพิมพ์วางอยู่ในระดับต่างกัน	50(20.40)
7.4 ใช้มือบีบจับเมาส์	17(6.93)
7.5 ใช้ฝ่ามือวางบนเมาส์	210(85.71)
8. แป้นพิมพ์	
8.1 ข้อมือตั้งไหล่และไหล่ผ่อนคลาย	185(75.51)
8.2 กางข้อมือน้อยกว่า 15 องศา	60(24.48)
8.3 แบข้อมือออกจากแนวกลางขณะพิมพ์	32(13.06)
8.4 แป้นพิมพ์สูงต้องยกไหล่	127(51.83)
8.5 เอื้อมมือไปหยิบของเหนือศีรษะ	13(5.30)
8.6 ไม่สามารถปรับได้	218(88.97)

ตารางที่ 3 ระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานสำนักงานด้วยวิธี ROSA

ระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์	จำนวน(ร้อยละ)
ความเสี่ยงต่ำ	11(4.48)
ความเสี่ยงปานกลาง	35(14.24)
ความเสี่ยงสูง	169(68.97)
ความเสี่ยงสูงมาก	30(12.24)

4. การอภิปรายผล

จากการศึกษาและประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์พบว่าพนักงานสำนักงานส่วนใหญ่ใช้เวลาทำงานกับคอมพิวเตอร์ระหว่าง 4-8 ชั่วโมงต่อวัน ร้อยละ 85.30 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นรากร พลหาญ และคณะ [3] ที่พบว่าการใช้คอมพิวเตอร์เป็นเวลานานกว่า 4 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ (MSDs) และสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ เมธินี ครุสันธิ์ และ สุนิสา ชายเกลี้ยง[7] โดยพบว่าพนักงานส่วนใหญ่มีปัญหาอาการปวดไหล่ ซึ่งพบว่ามีความชุกในรอบ 3 เดือน บริเวณไหล่ขวา ร้อยละ 51.08 รองลงมาคือไหล่ซ้าย ร้อยละ 41.12 และจากผลงานวิจัยของ Rahman et al. [8] ที่พบว่าผู้ที่ทำงานกับคอมพิวเตอร์มากกว่า 5 ชั่วโมงต่อวัน มีโอกาสที่จะเกิดโรคทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ (MSDs)

การศึกษานี้ได้ทำการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในกลุ่มพนักงานสำนักงานผู้ใช้คอมพิวเตอร์ในการทำงานเป็นหลัก โดยใช้แบบประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์วิธี ROSA ซึ่งได้รับการออกแบบเพื่อให้สามารถประเมินระดับความเสี่ยงของงานที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการทำงานโดยเฉพาะ เช่น การประเมินการนั่งบนเก้าอี้ของพนักงาน เบาะนั่ง ที่พักแขน พนักพิง การมองหน้าจอคอมพิวเตอร์ การใช้โทรศัพท์ เมาส์ และแป้นพิมพ์ เป็นต้น ซึ่งเครื่องมือนี้ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้สำหรับการระบุปัจจัยเสี่ยงในการใช้คอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ความรู้สึกไม่สบาย Sonne M. et al [6] ซึ่งมีความเหมาะสมกับงานที่ทำงานกับคอมพิวเตอร์มากกว่าวิธี Rapid Upper Limb Assessment (RULA) ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้แบบประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์วิธี ROSA มาใช้ในงานวิจัยนี้พบว่าพนักงานแต่ละคนมีลักษณะท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสมโดยมีมากกว่า 1 ท่าทางในหนึ่งรายทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการทำงานในด้านการยศาสตร์ จากการวิเคราะห์ผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานในสำนักงานด้วยวิธี ROSA พบว่าพนักงานส่วนใหญ่มีความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ในการนั่งทำงานกับคอมพิวเตอร์ โดยส่วนมากมีความเสี่ยงที่ระดับสูง ร้อยละ 68.97

5. สรุป

จากการประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ของพนักงานสำนักงานในจังหวัดสงขลาโดยใช้แบบสอบถามและแบบประเมินความเครียดของพนักงานสำนักงานอย่างรวดเร็ว (ROSA) โดยทำการประเมินท่าทาง และสภาพแวดล้อมในการทำงานของพนักงานแต่ละคน ซึ่งพนักงานส่วนใหญ่จะมีลักษณะท่าทางและสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสมที่แตกต่างกันไปตามหัวข้อการประเมินด้วยวิธี ROSA เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลรวมกันเพื่อให้ทราบระดับความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ พบว่าพนักงานสำนักงานมีความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ที่สูง ร้อยละ 68.97 รองลงมาคือความเสี่ยงปานกลาง ร้อยละ 14.24 ความเสี่ยงสูงมากร้อยละ 12.24 จากผลการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี ROSA จะเห็นได้ว่าพนักงานสำนักงานที่ใช้คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะในการทำงาน

มากกว่า 4 ชั่วโมงต่อวัน พนักงานกลุ่มนี้จะมีความเสี่ยงทางการยศาสตร์ต่อการเกิดโรคทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อที่ต้องมีการเฝ้าระวังต่อไป และทางผู้วิจัยได้ให้ข้อเสนอแนะเพื่อการป้องกัน โดยให้พนักงานตระหนักถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นและทราบถึงลักษณะการทำงานที่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์โดยมีท่าทางการทำงานและใช้เวลาในการทำงานที่เหมาะสม ซึ่งควรศึกษาหรืออบรมความรู้ทางการยศาสตร์เกี่ยวกับการทำงานในสำนักงาน และบริษัทควรให้ความสำคัญกับการจัดสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ถูกต้อง และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในการทำงานที่เหมาะสม โดยผู้วิจัยได้เสนอแนะให้มีการปรับปรุงการทำงานทางด้านพฤติกรรม ท่าทางการทำงาน การออกแบบสถานีงานให้เหมาะสมตามวิธีทางการยศาสตร์ และการบริหารร่ายกายเพื่อป้องกันโรคทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ ประจำปี 2557 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และขอขอบคุณพนักงานสำนักงานของบริษัทกลุ่มตัวอย่างในจังหวัดสงขลา รวมถึงผู้เกี่ยวข้องที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] Janwantanakul P., Pensri P., Jiamjarasrangsri V., and Sinsongsook T., Prevalence of self-reported musculoskeletal symptoms among office workers, Occupational Medicine. 58(6): pp.436–438. 2008.

[2] สุนิสา ชายเกลี้ยง, พรนภา ศุกรเวทย์, เบญจา มุกตะพันธ์, การประเมินภาวะเสี่ยงของการปวดไหล่จากการทำงานของบุคลากรในสำนักงานมหาวิทยาลัย ขอนแก่น, วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 หน้า 1-10. 2553.

[3] นรากร พลหาญ, สมสมร เรืองวรบูรณ์, โกมล บุญแก้ว อนุพงษ์ ศรีวิรัตน์, กลุ่มอาการที่เกิดต่อร่างกายจากการใช้คอมพิวเตอร์ในการปฏิบัติงานของบุคลากรสายสนับสนุน มหาวิทยาลัยนครพนม, วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), ปีที่ 6 ฉบับที่ 12 หน้า 26-38. 2557.

[4] วิลาวัลย์ ชัยแก่น, ชวพรพรรณ จันทร์ประสิทธิ, ธานี แก้วธรรมานุกูล, ปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อในนงานโรงงานผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ, วารสารวิชาการสาธารณสุข, ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 หน้า 226-233. 2550.

[5] สุนิสา ชายเกลี้ยง, การปวดหลังจากการทำงาน : ภัยเงียบใกล้ตัวที่คุณควรรู้, วารสารวิจัยคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 49-57. 2552.

[6] Sonne M., Villalta DL., and Andrewsa DM., Development and evaluation of an office ergonomic risk checklist: ROSA-Rapid office strain assessment, Applied Ergonomics, 43(1): pp.98-108. 2012.

[7] เมธินี ครุสันธิ์ และ สุนิสา ชายเกลี้ยง, ความชุกความรู้สึกไม่สบายบริเวณคอ ไหล่ และหลังของพนักงานสำนักงานของมหาวิทยาลัยที่ใช้คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะมากกว่า 4 ชั่วโมงต่อวัน, การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา, 28 มีนาคม. ขอนแก่น. หน้า 1712-1722. 2457

[8] พาวิณี ใจบาน, วีระพร ศุทธากรณ์ และ ธานี แก้วธรรมานุกูล, ปัจจัยด้านการยศาสตร์และอาการผิดปกติโครงร่างกล้ามเนื้อของบุคลากรสายสนับสนุนในโรงพยาบาลที่ทำงานกับคอมพิวเตอร์, พยาบาลสาร, ปีที่ 40 ฉบับพิเศษ ธันวาคม. หน้า 1-11. 2556.

ความสัมพันธ์ระหว่างเจตคติด้านความปลอดภัยกับผลิตภาพแรงงานของพนักงานในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูป

The Relationship between Safety Attitude and Labor Productivity in Garment Factory

นัทธพงศ์ นันทสำเริง* พัชรี ภักดีล้น วีระพงศ์ สีดาวงศ์ สุพรรษา พรมหล่อ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
2 ถ.ราชธานี อ.เมือง จ. อุบลราชธานี 34000 E-mail: natthapong.n@ubru.ac.th*

Natthapong Nanthasamroeng*, Patcharee Pakdelon, Weerapong Seedawong, Supansa Promlor
Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University
2 Ratchathani Road, Amphur Muang, Ubon Ratchathani, 34000, E-mail: natthapong.n@ubru.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเจตคติด้านความปลอดภัยกับผลิตภาพแรงงานของพนักงานในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูปแห่งหนึ่ง ผู้วิจัยได้ทำการวัดเจตคติด้านความปลอดภัยของพนักงานจำนวน 103 คน โดยวัดในองค์ประกอบต่าง ๆ คือ (1) องค์ประกอบด้านความรู้ ความเข้าใจและความเชื่อ (2) องค์ประกอบด้านอารมณ์และความรู้สึก และ (3) องค์ประกอบด้านพฤติกรรม แบบสอบถามเจตคติประกอบด้วยคำถาม 38 ข้อ โดยใช้มาตรวัดความคิดเห็น 10 ระดับ จากนั้นจึงทำการวัดอัตราผลิตภาพของพนักงานกลุ่มเดียวกันและปรับให้เป็นค่าที่อยู่บนฐานเดียวกันโดยใช้หลักการของส่วนเบี่ยงเบนจากค่ากลางเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลิตภาพระหว่างพนักงานที่มีลักษณะงานต่างกันได้ จากนั้นจึงนำค่าเจตคติด้านความปลอดภัยและค่าผลิตภาพแรงงานของพนักงานแต่ละคนมาทำหาความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้น ผลการวิจัยพบว่าเจตคติด้านความปลอดภัยไม่มีความสัมพันธ์กับผลิตภาพแรงงานอย่างมีนัยสำคัญ

คำหลัก เจตคติด้านความปลอดภัย ผลิตภาพแรงงาน สมการถดถอยเชิงเส้น

Abstract

This research aimed to find the relationship between safety attitude and labor productivity in an apparel factory. Safety attitude was measured from 103 operators in 3 attributes including (1) Cognitive component, (2) Affective component and, (3) Behavioral component. The questionnaire for safety attitude measurement consisted of 38 questions with Likert scale 10 was applied in this research. Labor productivity was also measure from the same group of operators and adjust to the deviation from nominal (DNOM) for comparability of the productivity in difference processes. Finally, linear regression was used to find the relationship between safety attitude and labor productivity. Result of the study shown that there is no relationship between safety attitude and labor productivity significantly.

Keywords: Safety attitude, Labor productivity, Linear regression

1. บทนำ

ความปลอดภัยในการทำงานเป็นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งต่อคุณภาพชีวิตในการทำงานของบุคลากรซึ่งถือเป็นทรัพยากรมนุษย์ที่สำคัญของประเทศ อย่างไรก็ตามจากสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานในปี พ.ศ. 2556 ยังคงพบว่ามีผู้ประสบอุบัติเหตุหรือเจ็บป่วยจากการทำงานรวมถึง 111,894 ราย ในจำนวนนี้เป็นอุบัติเหตุที่เกิดในสถานประกอบกิจการประเภทสิ่งทอสิ่งถักจำนวนถึง 4,579 ราย โดยสาเหตุของอุบัติเหตุที่พบมากที่สุดคือวัตถุหรือสิ่งของตัด บาด หรือทิ่มแทง [1]

การสร้างเจตคติด้านความปลอดภัยในการทำงานจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็น โดยเฉพาะกับพนักงานระดับปฏิบัติการในฝ่ายผลิตซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุมาก อย่างไรก็ตามยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนว่าการตระหนักถึงความปลอดภัยในการทำงานนั้นจะทำให้พะวักพะวงและส่งผลให้ผลิตภาพลดลง [2]

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเจตคติด้านความปลอดภัยกับอัตราผลิตภาพของพนักงานในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูปโดยทำการศึกษาในโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานีซึ่งมีพนักงานทั้งสิ้น 140 คน โดย ณ ความคลาดเคลื่อน 5% และความเชื่อมั่น 95% จะต้องเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง 103 คนซึ่งได้จากการสุ่มแบบโควตา (Quota sampling) ตามหน้าที่และลักษณะงาน [3]

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการผสานแนวคิดเกี่ยวกับเจตคติด้านความปลอดภัยในการทำงาน อัตราผลิตภาพ และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรเข้าด้วยกัน

2.1 เจตคติ (Attitude)

เจตคตินั้นเดิมใช้ภาษาไทยว่าทัศนคติเป็นส่วนผสมของความคิดความเชื่อ (Cognitive Component) ความรู้สึก (Affective Component) และพฤติกรรม (Behavioral Component) [4] [5] [6] ซึ่งเป็นสิ่งเรียนรู้ได้จากประสบการณ์ของบุคคล [7] โดยสามารถวัดได้จากการสัมภาษณ์ การสังเกต การรายงานตนเอง รวมถึงการการวัดทางสรีระภาพ [8]

มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับเจตคติด้านความปลอดภัยเป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างเจตคติด้านความปลอดภัยกับลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งผลการวิจัยส่วนมากพบว่าเจตคติด้านความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานไม่มีความสัมพันธ์กับเพศ อายุ สถานภาพ รายได้ และอายุงาน แต่ปัจจัยที่มีผลต่อเจตคติด้านความปลอดภัยจะเป็นเรื่องของระดับการศึกษา [9] [10] [11]

2.2 อัตราผลิตภาพ (Productivity)

อัตราผลิตภาพมักเรียกอีกชื่อว่าการเพิ่มผลผลิตซึ่งในฐานะของค่าวัดเพื่อแสดงสมรรถนะของกระบวนการนั้นจะเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตต่อทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต [12] ดังแสดงในสมการที่ 1

$$\text{ผลิตภาพ} = \frac{\text{ผลผลิต}}{\text{ปัจจัยนำเข้า}} \tag{1}$$

อย่างไรก็ตาม ผลิตภาพยังสามารถวัดแยกย่อยออกเป็นผลิตภาพแรงงาน ผลิตภาพเชิงปริมาณ ผลิตภาพเชิงมูลค่าได้อีกด้วย

2.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรสามารถกระทำได้หลายแบบ ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรทางคณิตศาสตร์ที่สามารถควบคุมได้ และตัวแปรตามเป็นตัวแปรสุ่ม และการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์ตัวแปรที่เป็นตัวแปรสุ่มทั้งคู่ [13]

สมการถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (Simple Linear Regression) แสดงดังสมการที่ 2 [14]

$$\mathrm{Y} = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon \tag{2}$$

เมื่อ β_0 คือ ค่าชดเชยของ y
β_1 คือ ค่าความชัน
ϵ คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความปลอดภัยและอัตราผลิตภาพ

Shikdar, A.A. and Sawaqed, N.M. ได้ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลิตภาพแรงงานและอาชีวอนามัยและความปลอดภัยซึ่งผลการศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากการไม่ตระหนักในด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการยศาสตร์นั้นจะส่งผลให้เกิดความเมื่อยล้าและนำไปสู่อัตราผลิตภาพที่ตกต่ำในที่สุด [15]

ในทำนองเดียวกัน Fernández-Muñiz, B. และคณะก็ได้ศึกษาถึงผลของการจัดการด้านความปลอดภัยกับสมรรถนะขององค์กร และพบว่าองค์กรที่มีการจัดการด้านความปลอดภัยที่ดีจะมีสมรรถนะขององค์กรที่ดีตามไปด้วย [16]

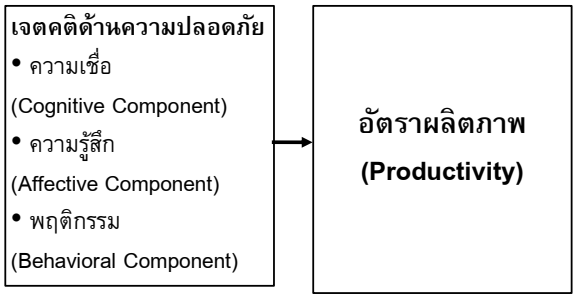
3. วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างเจตคติด้านความปลอดภัยกับอัตราผลิตภาพด้านแรงงานของพนักงานแผนกเย็บในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูปแห่งหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานี

3.2 วัตถุประสงค์และกรอบแนวคิดในการศึกษา

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเจตคติด้านความปลอดภัยกับอัตราผลิตภาพด้านแรงงาน โดยมีกรอบแนวคิด (Research Framework) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้คือพนักงานในแผนกเย็บจำนวน 140 คนของโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูปแห่งหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานี

กลุ่มตัวอย่างจำนวน 103 คนได้มาจากการสุ่มแบบโควต้าตามจำนวนที่คำนวณได้จากสมการของ Krejcie & Morgan [3] ณ ความคลาดเคลื่อน 5% และความเชื่อมั่น 95%

3.4 เครื่องมือที่ใช้การศึกษา

3.4.1 เครื่องมือวัดเจตคติด้านความปลอดภัย

เครื่องมือที่ใช้วัดเจตคติด้านความปลอดภัยคือแบบสอบถามที่ปรับปรุงจาก ธัญชนก (2550) [17] โดยโครงสร้างของแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

(1) แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป เป็นแบบสอบถามแบบเลือกตอบ จำนวน 11 ข้อ

(2) แบบสอบถามความรู้ความเข้าใจเรื่องความปลอดภัยในกระบวนการทำงาน เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า โดยแบ่งระดับความคิดเห็นออกเป็น 10 ระดับ จำนวน 11 ข้อ

(3) แบบสอบถามเจตคติด้านอารมณ์และความรู้สึกเกี่ยวกับความปลอดภัย เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า โดยแบ่งระดับความคิดเห็นออกเป็น 10 ระดับ จำนวน 11 ข้อ

(4) แบบสอบถามพฤติกรรมการทำงานที่ปลอดภัย เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า โดยแบ่งระดับความคิดเห็นออกเป็น 10 ระดับ จำนวน 21 ข้อ

โดยเครื่องมือวัดเจตคติด้านความปลอดภัยดังกล่าวได้ผ่านการวัดความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ผ่านค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item-Objective Congruence : IOC) และนำไปปรับปรุงเนื้อหาก่อนนำไปทดลองเก็บตัวอย่างเพื่อหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ซึ่งพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ครอนบัคแอลฟาเท่ากับ 0.973

3.4.2 เครื่องมือวัดอัตราผลิตภาพ

การวัดอัตราผลิตภาพจะวัดจากจำนวนชิ้นงานที่พนักงานผลิตได้ต่อคนต่อชั่วโมง แต่เนื่องจากพนักงานแต่ละคนมีลักษณะงานที่แตกต่างกันตามแผนกงานที่สังกัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ค่าร้อยละความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย (Deviation from Nominal: DNOM) เป็นเครื่องบ่งชี้อัตราผลิตภาพของพนักงานแต่ละคนเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกันได้ โดยค่าร้อยละความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยหาได้จากสมการที่ (3)

$$\%DNOM = \frac{p_i - p_{Average}}{p_{Average.}} \quad (3)$$

เมื่อ *%DNOM* คือ ค่าร้อยละความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย

p_i คือ อัตราผลิตภาพของพนักงานคนที่ *i*

$p_{Average}$ คือ อัตราผลิตภาพเฉลี่ยของแผนกนั้นๆ

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการวัดเจตคติด้านความปลอดภัย

เมื่อพิจารณาในภาพรวมจะพบว่าพนักงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูปในโรงงานแห่งนี้มีเจตคติด้านความรู้ความเข้าใจ และความเชื่อในเรื่องความปลอดภัยอยู่ในระดับเห็นด้วย โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.12 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.80 ในขณะที่เจตคติด้านอารมณ์และความรู้สึกเกี่ยวกับความปลอดภัยในภาพรวมอยู่ในระดับเห็นด้วยเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ย 6.59 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.99 และเจตคติด้านพฤติกรรมในกระบวนการทำงานที่ปลอดภัยอยู่ในระดับเห็นด้วย โดยมีค่าเฉลี่ย 8.08 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.02

4.2 ผลการวัดอัตราผลิตภาพและค่าร้อยละความเบี่ยงเบนจากค่าผลิตภาพเฉลี่ย

ผู้วิจัยได้ทำการวัดอัตราผลิตภาพของพนักงานเป็นรายบุคคลเช่นเดียวกับที่วัดเจตคติโดยจัดกลุ่มพนักงานออกตามกิจกรรมที่พนักงานทำเพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบผลิตภาพ จากนั้นจึงทำการวัดอัตราผลิตภาพรายบุคคลโดยดูจากยอดส่งงานเพื่อเบิกค่าตอบแทนย้อนหลัง 30 วันและนำมาคิดค่าเฉลี่ย โดยเมื่ออัตราผลิตภาพของพนักงานทุกคนในกลุ่มแล้วจึงนำมาหาค่าอัตราผลิตภาพเฉลี่ยและหาค่าร้อยละความเบี่ยงเบนจากค่าผลิตภาพเฉลี่ยตามลำดับ ดังตัวอย่างการหาอัตราผลิตภาพของพนักงานในกลุ่มรีดลูกกระเป๋า ซึ่งแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างอัตราผลิตภาพของพนักงาน

ลำดับที่	พนักงาน	อัตราผลิตภาพ	%DNOM
1	L01	96	-11.76
2	L02	94	-13.60
3	L03	164	50.74
4	L04	150	37.87
5	L05	40	-63.24
	ค่าเฉลี่ย	108.80	

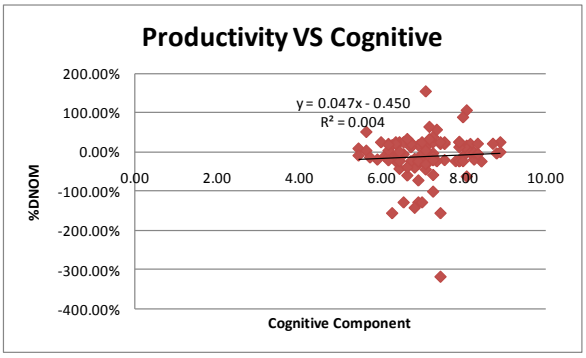
4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างเจตคติกับอัตราผลิตภาพ

ผู้วิจัยได้นำผลจากการวัดเจตคติทั้งในด้านความเชื่อ ความรู้สึก และพฤติกรรมมาพิจารณาควบคู่กับอัตราผลิตภาพเป็นรายบุคคล โดยกำหนดรหัสพนักงานในรูปแบบของชื่อย่อแผนกกับลำดับที่ของพนักงานที่เก็บข้อมูลในแผนกนั้น ๆ เช่น L01 หมายถึง พนักงานแผนกรีดลูกกระเป๋า (L) ลำดับที่ 1 (01) เป็นต้น ตัวอย่างค่าวัดเจตคติและอัตราผลิตภาพแสดงในตารางที่ 2

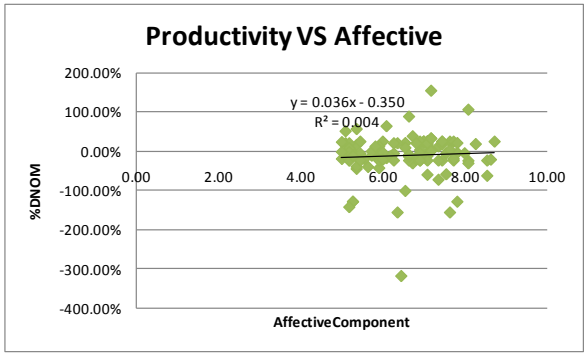
ตารางที่ 2 ตัวอย่างค่าวัดเจตคติและอัตราผลิตภาพ

พนักงาน	เจตคติ			%DNOM
	ความเชื่อ	ความรู้สึก	พฤติกรรม	
B01	8.27	6.27	9.90	-6.25
C01	6.82	6.09	6.81	18.18
L01	6.45	5.27	7.86	-5.48

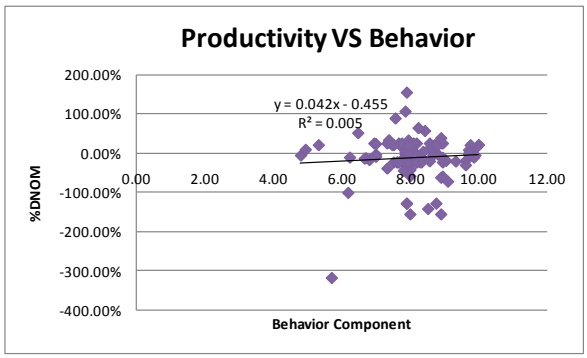
จากนั้นจึงทำการหาความสัมพันธ์โดยใช้แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) เพื่อดูแนวโน้มของความสัมพันธ์โดยทำการพลอตผ่านโปรแกรมตารางคำนวณและสร้างเส้นแนวโน้มแบบถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ดังแสดงในรูปที่ 2, 3, 4 และ 5



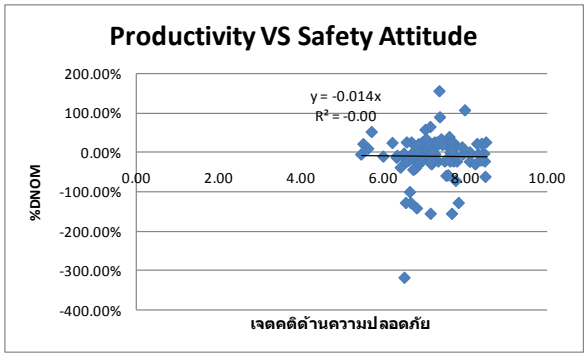
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราผลิตภาพกับความเชื่อ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราผลิตภาพกับความรู้สึก



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราผลิตภาพกับพฤติกรรม



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราผลิตภาพกับเจตคติรวม

5. สรุปและอภิปรายผล

เมื่อพิจารณาสมการถดถอยอย่างง่ายร่วมกับค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากการเขียนแผนภาพการกระจายจะพบว่าผลิตภาพรายบุคคลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อพนักงานมีเจตคติด้านความปลอดภัยระดับสูงขึ้น แต่ก็เป็นเพียงความสัมพันธ์กันในระดับเล็กน้อยหรือเกือบจะไม่มีเลย เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ที่ได้มีค่าต่ำกว่า 0.3

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผลการวิจัยจะบ่งชี้ว่าการที่พนักงานมีเจตคติที่ดีในด้านความปลอดภัยมากหรือน้อยนั้นก็ไม่ส่งผลต่ออัตราผลิตภาพ แต่ผู้ประกอบการก็ควรตระหนักว่าการเสริมสร้างให้พนักงานเกิดเจตคติที่ดีและมีจิตสำนึกด้านความปลอดภัยนั้นย่อมส่งผลให้สถานประกอบการปลอดภัยและปราศจากอุบัติเหตุอันจะทำให้สามารถดำเนินการผลิตได้อย่างต่อเนื่องและสามารถส่งมอบสินค้าได้ทันเวลาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในด้านการรักษาพยาบาลผู้ประสบอุบัติเหตุในงาน อีกทั้งยังสร้างขวัญและกำลังใจที่ดีแก่ผู้ปฏิบัติงานด้วย

6. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

การวิจัยในเฟสต่อไปอาจกระทำได้โดยการทดลองในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมก่อสร้างหรืออุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น และอาจมีการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างและปัจจัยที่ส่งผลต่อความแตกต่างในแต่ละอุตสาหกรรม

นอกจากนี้ยังสามารถศึกษาในเชิงลึก ด้วยการทดสอบความสัมพันธ์โดยใช้สถิติขั้นสูง เช่น Multiple Regression, Logistics Regression หรือแม้แต่ใช้โครงสร้างโมเดลสมการเชิงโครงสร้าง (Structural Equation Model; SEM) เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานกองทุนประกันสังคม, สถิติผู้ประสบอันตรายจากการทำงาน, สำนักงานกองทุนประกันสังคม กระทรวงแรงงาน, 2557

[2] จิตรา ปุจฉาการ, ความสัมพันธ์ระหว่างบุคลิกภาพ ทัศนคติ ความรู้เกี่ยวกับความปลอดภัยของผู้ควบคุมงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยางรถจักรยานยนต์ในจังหวัดสมุทรสาคร,วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาสังคมศาสตร์, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540

[3] Krejcie, R.V. and Morgan, E.W., Determining Sample Size for Research Activities, Education and Psychological Measurement, 3(3),pp 607-610, 1970

[4] เทพพนม เมืองแมน และสวิง สุวรรณ, พฤติกรรมองค์การ, กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช, 2540

[5] สิทธิโชค วรานุสันติกุล,จิตวิทยาสังคม : ทฤษฎีและการประยุกต์,กรุงเทพฯ : เม็ดทรายพริ้นติ้ง, 2546

[6] Feldsman, R.S., Essentials of Undersyanding Psychology, NY: McGraw Hill, 2008

[7] สิริอร วิชชาวุธ, จิตวิทยาอุตสาหกรรมและองค์การเบื้องต้น, กรุงเทพฯ : พิมพ์ดี, 2549

[8] ธีรวุฒิ เอกะกุล, การวัดเจตคติ, อุบลราชธานี : โรงพิมพ์วิทยาออฟเซทการพิมพ์, 2549

[9] สุรชัย ไพศาลพันธ์, ความสัมพันธ์ระหว่างทัศนคติต่อความปลอดภัยในการทำงานและปฏิบัติตามมาตรการความปลอดภัยในการทำงานของพนักงานการท่าอากาศยานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541

[10] อัญชรี แกล้วกสิกรรม, ความคิดเห็นต่อความปลอดภัยในการทำงานของพนักงานบริษัทนิฮงเซกิไทย จำกัด, กรุงเทพฯ : มปท, 2551

[11] ฐานิศ หริกจันทร์, ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมเสี่ยงด้านความปลอดภัยในการทำงาน : กรณีศึกษาเฉพาะกรณีของพนักงานโรงงานอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์, วิทยานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ, นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2551

[12] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, ศัพท์การเพิ่มผลผลิต ,กรุงเทพฯ : สถาบันเพิ่มผลิตแห่งชาติ, 2547

[13] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ,สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ สสท., 2547

[14] Montgomery D.C. and Runger G.C. , Applied Statistics and Probability for Engineers, John Wiley & Sons, 2007

[15] Shikdar, A.A. and Sawaqed, N.M. Worker Productivity, and Occupational Health and Safety Issue in Selected Industries, Computers & Industrial Engineeering, 45 (2003), pp 563-572, 2003

[16] Beatriz Fernández-Muñiz, José Manuel Montes-Peón , Camilo José Vázquez-Ordás. Relation between occupational safety management and firm performance, Safety Science 47 (2009) , pp. 980–991, 2009

[17] ธัญชนก เลศักดิ์, ทัศนคติด้านความปลอดภัยในกระบวนการทำงานของพนักงานบริษัทยูเนี่ยนโฟรโปรดักส์ จำกัด, เชียงใหม่ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550

การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยหลักแนวคิดแบบลีน กรณีศึกษา : บริษัทผลิตชุดชั้นในสตรี

Manufacturing Process Improvement by Applying Lean Concept A Case Study of Brassiere Manufacturing Process

ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม*, จิตรวิถี สิทธิธรรม
ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี 25230
E-mail: narongrits@kmutnb.ac.th*

Narongrit Sonjaitham*, Jitwithee Sittitam
Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus, Muang, Prachinburi, 25230
E-mail: narongrits@kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตชุดชั้นในสตรี(ยกทรง) ด้วยหลักแนวคิดแบบลีน เพื่อศึกษากระบวนการผลิตชุดชั้นในสตรีและการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต โดยการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกกลุ่มผลิตภัณฑ์ ชุดชั้นในสตรีวัยรุ่น (Young group) เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากมีปริมาณการผลิตมากถึง 38% ของการผลิตชุดชั้นในสตรีทั้งหมด จากการเขียนภาพแสดงสารธารคุณค่าปัจจุบัน (Current Value Stream Mapping) เพื่อบ่งชี้ถึงกระบวนการที่เกิดความสูญเปล่า ซึ่งพบว่า กระบวนการเย็บ เป็นกระบวนการที่เกิดความสูญเปล่า ได้แก่ การรองานจากสถานีงานก่อนหน้า การผลิตเกินความต้องการ และความสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหว เนื่องจากการจัดผังสายการผลิตไม่เหมาะสม ซึ่งความสูญเปล่าดังกล่าวส่งผลให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพเพียง 88% จากนั้น คณะผู้ศึกษาได้ดำเนินการนำหลักการการจัดสมดุลการผลิต (Line Balancing) มาเป็นเครื่องมือในการลดความสูญเปล่า เช่น การจัดผังสายการผลิตใหม่ (Re-Layout) และการลดขนาดชุดของการผลิต (Batch Size Reduction) เป็นต้น ซึ่งหลังจากการดำเนินการพบว่า ประสิทธิภาพการผลิตชุดชั้นในสตรี (Young group) จาก 88% เพิ่มขึ้นเป็น 96%

คำหลัก การปรับปรุงกระบวนการผลิต, แนวคิดแบบลีน, ชุดชั้นในสตรี

Abstract

This paper is study to manufacturing process improvement by applying lean manufacturing concept of manufactured brassiere. The purposes are to study the brassiere manufacturing process, to propose working efficiency improvement method and manufacturing waste deduction. The study was carried out in selected segments brassiere teen (young group) as a case study because the volume up to 38 % of all women's brassiere. From current value stream mapping which indicate non value added the manufacturing process, and shows the manufacturing process bottleneck. It is found that sewing process is a bottleneck of the brassiere manufacturing process because of its low efficiency. According to

manufacturing process analysis found waste occurs in the process such as waste of waiting time, waste of movement due to improper layout and waste of over requirement manufacturing. After implemented lean manufacturing tools such as line balancing, re-layout and batch size reduction, the average efficiency of young brassiere group was increased from 88% up to 96%.

Keywords: manufacturing process improvement, lean concept, brassiere

1. บทนำ

ตั้งแต่ 1 มกราคม 2556 เป็นต้นมา รัฐบาลได้มีการประกาศขึ้นค่าแรงขั้นต่ำทั่วประเทศ เป็น 300 บาทต่อวัน ซึ่งนโยบายดังกล่าวส่งผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรมด้านต้นทุนการผลิต กล่าวคือ นโยบายดังกล่าวมีผลทำให้สัดส่วนต้นทุนแรงงานต่อต้นทุนรวมเพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 11.85 เป็นร้อยละ 16.11 และทำให้ต้นทุนรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.38 และอุตสาหกรรมที่ได้รับผลกระทบมากจะเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้แรงงาน ซึ่งมีสัดส่วนต้นทุนแรงงานต่อต้นทุนรวมสูง โดยอุตสาหกรรมที่มีต้นทุนรวมเพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม มีต้นทุนรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.73 รองลงมาเป็นอุตสาหกรรมอาหาร ต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.12 อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมแก้ว เซรามิก ซีเมนต์ ต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.63 (ที่มา: http://department.utcc.ac.th/legal/index.php/8-news-event/20-europe) จากข้อมูลดังกล่าว เห็นได้ชัดเจนว่าอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มได้รับผลกระทบเป็นอย่างมากจากนโยบายดังกล่าว

บริษัทผลิตชุดชั้นใน แห่งหนึ่งใน จ.ปราจีนบุรี ซึ่งได้รับผลกระทบด้านต้นทุนการผลิต จากข้อมูลตั้งแต่ปี 2554-2556 พบว่าต้นทุนต่อหน่วยของการผลิตชุดชั้นในมีค่าเท่ากับ 64.21 66.18 และ 71.40 บาทต่อตัว ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้ว่าในปี 2556 มีต้นทุนต่อหน่วยเพิ่มขึ้นสูงถึง 5.22 บาทต่อตัว หรือ 8 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในกระบวนการผลิตใช้แรงงานคนเป็นหลัก ดังนั้นเมื่อค่าจ้างขั้นต่ำเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของต้นทุนการผลิตโดยตรง แต่ในทางกลับกันประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานไม่ได้เพิ่มขึ้นตามตามต้นทุนที่เกิดขึ้น ดังข้อมูลประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นในปี 2554-2556 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 91%, 93% และ 95% ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อให้องค์กรสามารถอยู่รอดและแข่งขันได้ จึงต้องมีการปรับปรุงการทำงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการผลิต

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น คณะผู้ศึกษาจึงนำแนวคิดแบบลีนมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งประกอบไปด้วย การเพิ่มประสิทธิภาพและการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้จะส่งผลโดยรวมต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและต้นทุนการผลิตที่ลดลง โดยยังสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ [1]

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการผลิต

การเก็บข้อมูลในกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาสภาพของกระบวนการผลิตปัจจุบัน โดยนำเอาแผนภาพสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping) มาเป็นเครื่องมือช่วยในการบ่งชี้ปัญหาซึ่งทุกฝ่ายเห็นพ้องต้องกัน โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลในส่วนของกระบวนการผลิตทั้งหมด โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการรับคำสั่งผลิต การสั่งซื้อวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และกระบวนการส่งมอบให้กับลูกค้า โดยจะมุ่งเน้นศึกษากระบวนการผลิต ที่แบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก คือ กระบวนการตัด กระบวนการเย็บและกระบวนการตรวจและบรรจุ

2.2 การปรับปรุงกระบวนการผลิต

การปรับปรุงกระบวนการผลิต เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการแก้ไข/ปรับปรุงปัญหาที่ตรวจพบ โดยคณะผู้ศึกษาร่วมกับทีมงานของบริษัท ดำเนินการวิเคราะห์โดยการวิธีการระดมสมองและการเสนอแนะข้อคิดเห็นที่ทุกคนมีส่วนร่วม และมีจุดมุ่งหมาย/เป้าหมายเดียวกัน

2.3 การติดตามและประเมินผลการดำเนินงาน

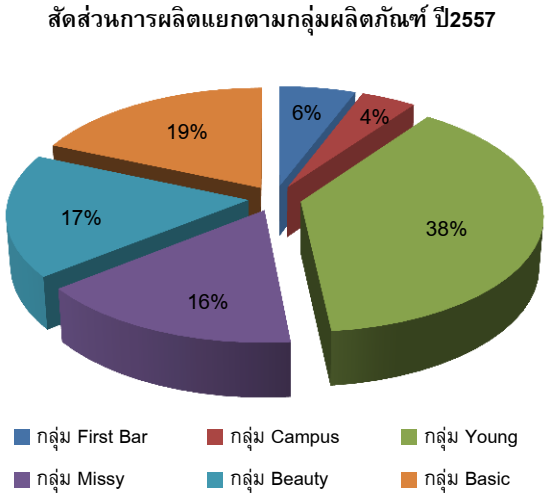
เมื่อข้อเสนอแนะได้นำมาสู่วิธีการปฏิบัติเพื่อแก้ไขปัญหา สิ่งหนึ่งที่สำคัญคือการติดตามและประเมินผลการดำเนินงาน โดยในการศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดตัวชี้วัดความสำเร็จของการบริหารงานแบบลีน (Lean Management Effect) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวชี้วัด 4 มิติด้วยกันคือ 1. ผลิตภาพ (Productivity), 2. คุณภาพ (Quality), 3. การส่งมอบ (Delivery) และ 4. การแข่งขัน (Competitive) [2] ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ตัวชี้วัดความสำเร็จของการบริหารงานแบบลีน 4 มิติ [2]

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 ข้อมูลทั่วไป

บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทผู้ผลิตชุดชั้นในสตรี ข้อมูล ณ วันที่ 30 มิถุนายน 2557 พบว่าบริษัทมีจำนวนพนักงานฝ่ายผลิต 380 คน โดยมีกำลังการผลิตชุดชั้นในสตรี ซึ่งแยกเป็นผลิตภัณฑ์ยกทรง (Brassiere) จำนวน 1,400,000 ชิ้นต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 58.3 และผลิตภัณฑ์กางเกงใน 1,000,000 ชิ้นต่อปี หรือหรือคิดเป็นร้อยละ 41.7 ดังนั้นคณะผู้ศึกษาจึงดำเนินการศึกษาเฉพาะกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยกทรง นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ยกทรงยังสามารถแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้ 1. กลุ่ม Frist bar, 2. กลุ่ม Campus, 3. กลุ่ม Young, 4. กลุ่ม Missy, 5. กลุ่ม Beauty และ 6. กลุ่ม Basic โดยมีสัดส่วนการผลิตของแต่ละกลุ่มคิดเป็นร้อยละ 6, 4, 38, 16, 17 และ 19 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 สัดส่วนการผลิตแยกตามกลุ่มผลิตภัณฑ์

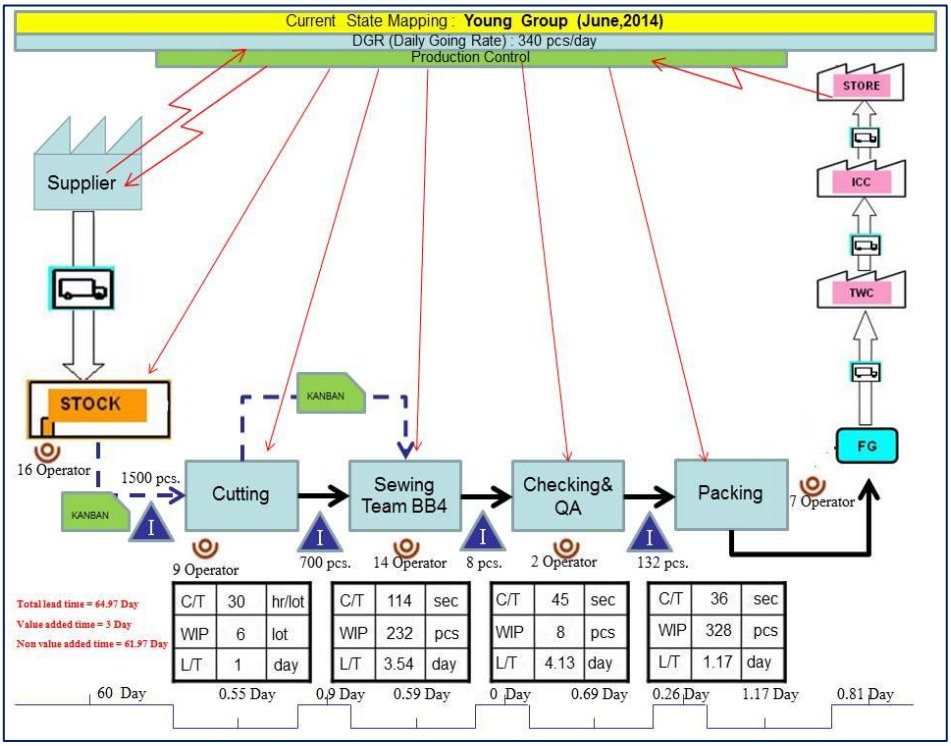
ดังนั้นคณะผู้ศึกษาจึงได้เลือกกลุ่มผลิตภัณฑ์ “กลุ่ม Young” เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ใช้ในการปรับปรุง เนื่องจากเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนการผลิตสูงสุด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 38 ของผลิตภัณฑ์ยกทรงทั้งหมด

3.2 การศึกษาสถานะปัจจุบันของกระบวนการผลิต

จากการรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากการปฏิบัติงานจริง ตั้งแต่วัตถุดิบเข้า ผ่านกระบวนการตัด กระบวนการเย็บ กระบวนการตรวจสอบ และสินค้าถูกส่งมอบให้แก่ลูกค้า เพื่อนำมาจัดทำแผนภาพสายธารคุณค่า ซึ่งแสดงสถานะในปัจจุบันของกระบวนการผลิต และเพื่อบ่งชี้กระบวนการที่ต้องดำเนินการปรับปรุง/แก้ไข ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า กระบวนการเย็บ เป็นกระบวนการที่ใช้ทั้งทักษะฝีมือแรงงานและใช้เวลาในการผลิตมาก โดยส่งผลทำให้การผลิตเกิดความไม่ต่อเนื่องขึ้น ซึ่งปัญหาดังกล่าวทั้งคณะผู้ศึกษาและทีมงานมีความคิดเห็นเหมือนกัน ที่จะดำเนินการปรับปรุง/แก้ไขในกระบวนการดังกล่าว

3.3 การปรับปรุง/แก้ไขกระบวนการผลิต

จากการวิเคราะห์แผนภาพสายธานคุณค่า พบว่างานที่รอเข้าสู่กระบวนการเย็บมีมากถึง 700 ตัว และยังมีงานในกระบวนการ(WIP) 232 ตัว จึงทำให้กระบวนการเย็บเป็นคอขวดในการผลิต ดังนั้นเพื่อให้กระบวนการผลิตไหลได้อย่างต่อเนื่อง จึงมุ่งเน้นที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการเย็บ โดยคณะผู้ศึกษาและทีมงานของบริษัท ได้ดำเนินกิจกรรมการระดมสมองและข้อเสนอแนะ ในการปรับปรุง/แก้ไข [3] ดังนี้



รูปที่ 3 แผนภาพสายธารคุณค่า (VSM) ของกระบวนการผลิตปัจจุบัน

3.3.1 การปรับผังกระบวนการผลิตใหม่

จากการศึกษาการวางผังกระบวนการผลิต พบว่าผังกระบวนการผลิต (กระบวนการเย็บ) เป็นการวางผังแบบแถวตอน (I-Shape) ดังแสดงในรูปที่ 4 ก) ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการผลิต คือ

1) การส่งต่อชิ้นงานให้กับกระบวนการถัดไปทำให้เกิดความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวบิดตัวเพื่อหยิบชิ้นงาน ซึ่งหากทำอย่างต่อเนื่องกันหลายๆ ชั่วโมงอาจทำให้เกิดความเมื่อยล้า

2) การส่งต่องานจากกลุ่มเต้าและกลุ่มตัวเสื้อ พนักงานที่อยู่กระบวนการสุดท้ายของกลุ่มต้องเดินไปส่งงานยังกระบวนการแรกของกลุ่มแระกอบ ทำให้เกิดความสูญเสียจากการขนส่ง

3) พนักงานในแต่ละกระบวนการไม่สามารถตรวจสอบงานก่อนได้ เนื่องจากไม่สามารถมองเห็น จึงทำให้พนักงานเย็บงานตุนไว้ เพราะไม่อยากเดินส่งงานบ่อย

ดังนั้นจึงได้ทำการปรับปรุงเลย์เอาท์ในการผลิต โดยเปลี่ยนจาก I-Shape เป็นแบบ U-Shape โดยมีวิธีการในการจัดเลย์เอาท์ ดังนี้

1) แบ่งกลุ่มเครื่องจักรที่ใช้เป็น 3 กลุ่มตามกระบวนการเย็บ คือ กลุ่มเต้า กลุ่มตัวเสื้อ และกลุ่มประกอบ (แบ่งตามวิธีการเย็บในบัตรการเย็บ)

2) ในการจัดเครื่องจักรแต่ละตัวต้องชิดกัน โดยให้กระบวนการที่เย็บกลุ่มเต้า และกลุ่มตัวเสื้อมาบรรจบกันพอดี ที่กระบวนการแรกของกลุ่มประกอบ

3) กระบวนการสุดท้ายของกลุ่มประกอบอยู่ชิดกับโต๊ะตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งจะอยู่ชิดกับทางเดิน

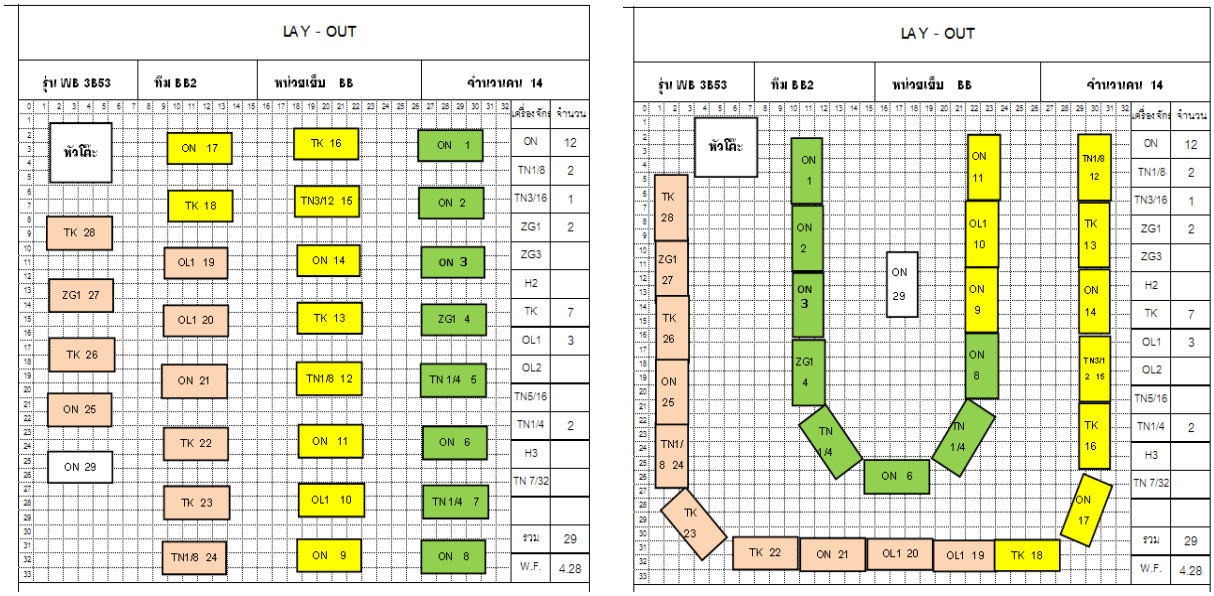
4) การจัดเครื่องจักรที่เรียงตามกระบวนการเย็บ โดยให้จัดตามเข็มนาฬิกา เพื่อให้พนักงานสามารถส่งต่องานให้กระบวนการถัดไปได้โดยไม่มีความสูญเสียจากการเคลื่อนไหว

5) กระบวนการแรกของกลุ่มประกอบสามารถหยิบงานจากกลุ่มเต้าและกลุ่มตัวเสื้อ ซึ่งเครื่องจักรอยู่ใกล้ชิดกันได้ โดยไม่ต้องเดินอ้อมไปหยิบเหมือนแบบเลย์เอาท์รูปตัว I ดังแสดงดังภาพที่ 4 ข)

3.3.2 การจัดสมดุลการผลิต

การจัดสมดุลการผลิตในปัจจุบันของกระบวนการเย็บ จะดำเนินการโดยหัวหน้าทีมเย็บ ซึ่งเมื่อส่งใบจัดเลย์เอาท์ให้กับพนักงานเย็บ พนักงานจะจัดเตรียมเครื่องจักรเรียงตามที่กำหนด จากนั้น หัวหน้าทีมเย็บร่วมกับทีมเทคนิคการเย็บ ทำการปรับเครื่องจักรให้สามารถเย็บได้ตามมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด รวมถึงการเตรียมอุปกรณ์ช่วยเย็บ (Attachment) และต้องเย็บงานตัวอย่างเพื่อศึกษาปัญหาและแก้ปัญหางานล่วงหน้า

ก่อนที่จะเย็บงานจริง จากนั้นนำพนักงานมาสอนเย็บเป็นรายบุคคล และจัดพนักงานตามที่พนักงานสามารถเย็บได้ โดยเฉลี่ยแล้วพนักงาน 1 คน จะเย็บงานประมาณ 3-4 กระบวนการ โดยหัวหน้าทีมจะให้เย็บงานในเครื่องจักรที่อยู่ใกล้ ๆ กัน ซึ่งจากการจัดพนักงานในการเย็บแบบดังกล่าว ส่งผลให้เกิดงานตุนหรืองานในกระบวนการ เพราะความยากง่ายและเวลาในการเย็บในแต่ละกระบวนการไม่เท่ากัน ดังนั้นคณะผู้ศึกษาและทีมงานจึงได้ปรับวิธีการจัดสมดุลการผลิตโดยใช้เวลามาตรฐานในการเย็บ และแบ่งการจัดสมดุลสายการผลิตเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มเต้า กลุ่มตัวเสื้อ และกลุ่มประกอบ โดยมีกระบวนการคิดจำนวนพนักงานในแต่ละกลุ่มดังแสดงในรูปที่ 5 เมื่อดำเนินการจัดสมดุลของปริมาณงานใหม่ ทำให้พนักงานลดลงจากเดิม 14 คน เหลือ 13 คน และเวลาสูงสุดของกระบวนการลดลงจากเดิม 101 วินาที เหลือเพียง 67 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งอยู่ภายใต้เวลาเป้าหมาย (Task time) ที่ต้องการ คือ 85 วินาที



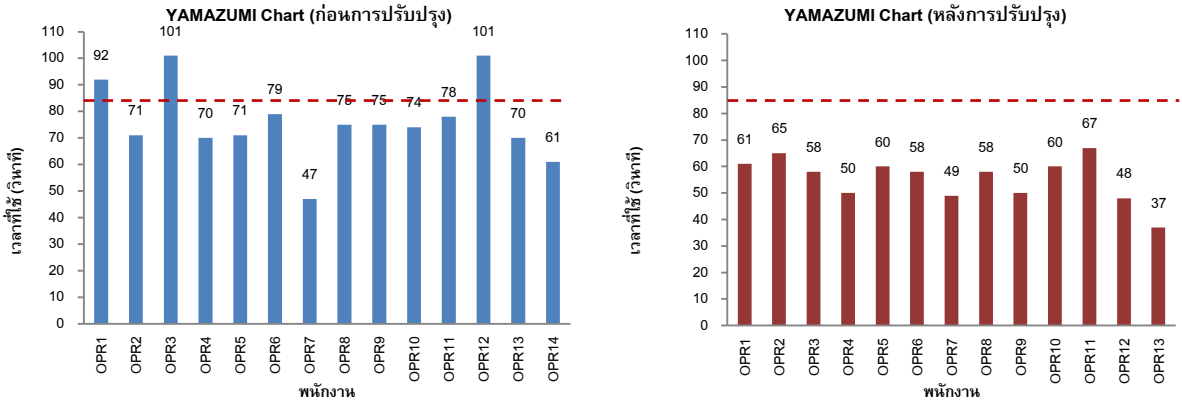
รูปที่ 4 การวางผังกระบวนการผลิต ก) แบบแถวตอน ((I-Shape) และ ข) แบบรูปตัวยู (U-Shape)

รหัสสินค้า .....WB 3A53..... ทีม ...BB4..... พนักงานเย็บ.....14....คน เวลารวม.....1064.....วินาที วันที่..... (ยึดเวลา STD) W.F. 4.11

กลุ่มเต้า					กลุ่มตัวเสื้อ					กลุ่มประกอบ				
NO.	กระบวนการ	พนักงาน	จักร	NT+ALL	NO.	กระบวนการ	พนักงาน	จักร	NT+ALL	NO.	กระบวนการ	พนักงาน	จักร	NT+ALL.
1	เนาจับจีบ		ON	30	9	ประกบส่วนหลังขอบบน		ON	48	19	ประกบตัวเสื้อขอบล่าง		ON	52
2	เนาฟองน้ำเต้า+ขับใน		ON	62	10	ติดยางส่วนหลังขอบบน		OL1	24	20	คลุมตัวเสื้อขอบล่าง		OL1	26
3	เนาฟองน้ำชินอก+ขับใน		ON	28	11	เกยผ้าเต้าขอบบน+ฟองน้ำ		ON	47	21	เนาผ้าส่วนหลัง		ON	101
4	ต่อฟองน้ำเต้า+ชินอก		ZG1	43	12	ซ้อนตามเต้าขอบบน		TN1/8	30	22	ไล่โครง		-	32
5	ซ้อนตามชินหลัง		TN1/4	34	13	TKกุ๊นขอบบนด้านข้าง		TK	27	23	TKกุ๊นข้าง		TK	15
6	ประกบเต้าด้านข้าง+หลัง		ON	30	14	ติดยางขอบล่าง		ON	22	24	ซ้อนปลายส่วนหลัง		TN1/8	23
7	ซ้อนตามส่วนหลัง		TN1/4	37	15	ซ้อนตามต่อเต้า		TN3/16	32	25	ติดตะขอตัวผู้		ON	14
8	เย็บยันผ้าเต้าด้านบน		ON	22	16	TKกุ๊นขอบบนด้านหน้า		TK	15	26	ติดตะขอตัวเมีย		ZG1	15
					17	ติดเทปเต้าขอบบนส่วนหลัง		ON	149	27	คลุมตะขอตัวผู้+เมีย		ZG1,TK	32
					18	ซ้อนเทปเต้าขอบบน		TK	74					
				286					468					310

กลุ่มเต้า	กลุ่มตัวเสื้อ	กลุ่มประกอบ
เวลารวม / กลุ่ม.....286.....วินาที	เวลารวม / กลุ่ม.....468.....วินาที	เวลารวม / กลุ่ม.....310.....วินาที
%.....26.88.....	%.....43.98.....	%.....29.14.....
จำนวนคน / กลุ่ม.....3.76.....คน	จำนวนคน / กลุ่ม.....6.15.....คน	จำนวนคน / กลุ่ม.....4.07.....คน
คนใช้จริง..... .คน	คนใช้จริง..... .คน	คนใช้จริง..... .คน
เป้าหมาย / ชม. .....35.....ตัว	เป้าหมาย / ชม. .....35.....ตัว	เป้าหมาย / ชม. .....35.....ตัว

รูปที่ 5 ตัวอย่างตารางการจัดสมดุลการผลิต



รูปที่ 6 ความสมดุลของปริมาณงานของพนักงาน ก่อน - หลังการปรับปรุง

3.3.3 การกำหนดขนาด/ปริมาณชุดของการขนย้าย

จากการศึกษาขั้นตอนการเย็บของพนักงาน พบว่า พนักงานดำเนินการเย็บงาน และเก็บงานที่เย็บเสร็จแล้วไว้กับตนเองในจำนวนมาก ๆ ก่อนที่จะนำส่งไปยังขั้นตอนต่อไป เนื่องจากพนักงานไม่ต้องการขนย้ายงานไปยังขั้นตอนถัดไปบ่อยครั้ง จึงรอให้มีงานจำนวนมากจึงดำเนินการขนย้าย หรือบางครั้งไม่มีการร้องของานจากขั้นตอนถัดไป รวมถึงไม่มีการกำหนดขนาด หรือปริมาณงานในการขนย้ายในแต่ละครั้งที่ชัดเจน ซึ่งส่งผลให้เกิดงานระหว่างกระบวนการจำนวนมาก และบางครั้งอาจเกิดการรองานในขั้นตอนถัดไป ดังนั้นคณะผู้ศึกษาและทีมงานจึงได้กำหนดขนาดหรือปริมาณงานในการขนย้ายในแต่ละครั้ง และให้พนักงานเย็บงานตามหลักการที่กำหนดให้ ซึ่งเรียกว่าหลักการ 3 ต. (เป็นหลักการที่ผู้ศึกษาร่วมกับผู้บริหารและหัวหน้าทีม ร่วมกันกำหนดขึ้นมาร่วมกัน) โดยประกอบไปด้วย ต. เตรียม ต.ตรวจ และ ต.ต่อเนื่อง ซึ่งมีหลักการดังนี้

ต.เตรียม หมายถึง หัวหน้าทีมต้องเตรียมชิ้นงาน วัตถุดิบ เอกสารที่ใช้ประกอบการเย็บ อุปกรณ์ช่วยเย็บต่างๆ ให้พร้อมทุกกระบวนการ

ต.ตรวจ หมายถึง ให้พนักงานเย็บงานโดยทุกกระบวนการให้มีงานในกระบวนการได้ไม่เกิน 3 ตัว และทุกครั้งที่เย็บงานเสร็จ ก่อนที่จะส่งไปยังกระบวนการถัดไป ต้องตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

ต. ต่อเนื่อง หมายถึง พนักงานที่หัวหน้าทีมได้จัดสมดุลการผลิตให้รับผิดชอบมากกว่า 1 กระบวนการ ต้องวิ่งงาน โดยให้งานมีส่งให้กับกระบวนการถัดไป โดยหัวหน้าทีมจะจัดสมดุลพนักงานและการวางเครื่องจักรให้มีความต่อเนื่อง เพื่อลดความสูญเสียในการขนย้าย

3.4 การประเมินผลปรับปรุง/แก้ไข

จากการดำเนินการปรับปรุง/แก้ไข โดยการดำเนินการ การปรับผังกระบวนการผลิตใหม่ , การจัดสมดุลการผลิต และการกำหนดขนาด/ปริมาณชุดของการขนย้าย ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวจะถูกประเมินผลด้วยตัวชี้วัดความสำเร็จของการบริหารงานแบบลีน 4 มิติ ได้แก่ 1. ผลิตภาพ, 2. คุณภาพ, 3. การส่งมอบ และ 4. การแข่งขัน ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งสามารถสรุปได้เป็น 4 มิติ ดังนี้

1. มิติด้านผลผลิต (Productivity) พบว่า ประสิทธิภาพในกระบวนการเย็บเพิ่มขึ้น จากเดิม 88% เพิ่มขึ้นเป็น 96%

2. มิติด้านคุณภาพ (Quality) พบว่า สัดส่วนของงานซ่อมที่เกิดจากกระบวนการเย็บ ซึ่งได้จากการตรวจสินค้าสำเร็จรูปของพนักงานตรวจสอบต่อจากกระบวนการสุดท้ายของขั้นตอนเย็บ โดยสัดส่วนงานซ่อมลดลง จากเดิม 4.06% ลดลงเป็น 2.50%

3. มิติด้านการส่งมอบ (Delivery) ซึ่งประเมินได้จากการส่งมอบสินค้าได้ทันตามกำหนด พบว่า สามารถลดระยะเวลาส่งมอบสินค้าล่าช้ากว่ากำหนด จากเดิม 3 วัน ลดลงเป็น 1 วัน

4. มิติด้านการแข่งขัน (Competitive) เป็นการประเมินความสามารถในการแข่งขัน ซึ่งประเมินจากความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งพบว่า ระดับคะแนนความพึงพอใจของลูกค้าเพิ่มขึ้น จากเดิม 91 คะแนน เพิ่มขึ้นเป็น 96 คะแนน (คะแนนเต็ม 100)

ตารางที่ 1 สรุปผลการประเมินการดำเนินการปรับปรุง/แก้ไข

เดือน	กิจกรรม	วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
สิงหาคม	ก่อนการปรับปรุง (I-Shape)	Plan (ตัว)	275	340	340	340	340	340	275	340	340	340	340	340	275	275						
		Act (ตัว)	200	280	280	300	270	300	175	315	310	320	315	310	175	285	320	300	45			
		Efficiency (%)	72	81	82	83	82	83	82	84	85	86	86	87	86	86	87	88				
		Rework (%)	4.00	3.25	3.60	3.53	3.49	3.46	3.62	3.84	3.74	3.77	3.83	3.94	4.04	3.92	4.08	4.03	4.06			
กันยายน	จัดเลย์เอาท์แบบ U-Shape	Plan (ตัว)	340	340	340	340	340	275	275	340	340	340	340	275	340	275						
		Act (ตัว)	280	300	300	280	330	205	245	325	295	320	310	220	300	300	210					
		Efficiency (%)	96	95	93	90	91	89	88	90	91	91	91	90	90	90						
		Rework (%)	2.86	2.93	3.17	3.36	3.24	3.67	4.08	4.22	4.13	4.09	4.10	4.14	4.05	3.98	3.97					
ตุลาคม	จัดสมดุลย์การผลิต	Plan (ตัว)	340	340	340	275	340	340	340	340	340	275	340	340	340	210						
		Act (ตัว)	315	330	330	280	320	340	320	315	340	260	320	225	335	350	120					
		Efficiency (%)	92	98	100	101	99	99	99	99	99	99	98	95	96	96						
		Rework (%)	2.86	2.49	2.67	2.81	2.93	2.79	2.75	2.80	2.82	3.15	3.09	3.20	3.25	3.39	3.55					
พฤศจิกายน	ลด Batch size	Plan (ตัว)	275	340	340	340	340	340	275	340	340	340	340	340	275	275						
		Act (ตัว)	250	320	310	330	320	315	245	325	320	335	340	340	260	355	135					
		Efficiency (%)	92	93	92	94	94	93	93	93	94	94	95	95	95	96						
		Rework (%)	3.60	3.21	3.11	2.71	2.42	2.38	2.28	2.22	2.25	2.15	2.11	2.23	2.47	2.42	2.50					

4. สรุปผลการศึกษา

การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการประยุกต์หลักแนวคิดแบบลีน โดยใช้แผนภาพสายธารคุณค่า เป็นเครื่องมือในการชี้บ่งกระบวนการที่ควรดำเนินการปรับปรุง เพื่อให้เกิดการไหลของงานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งพบว่า กระบวนการเย็บเป็นกระบวนการที่ต้องดำเนินการปรับปรุง โดยคณะผู้ศึกษาและทีมงานได้ดำเนินการปรับปรุงโดยการจัดผังกระบวนการผลิตจากผังกระบวนการผลิตแบบแถวตอน (I-Shape) เปลี่ยนเป็นผังแบบตัวยู (U-Shape) การจัดสายสมดุลการผลิตและการกำหนดขนาดชุดของการขนย้าย โดยหลังการดำเนินการได้มีการประเมินความสำเร็จของการบริหารงานแบบลีน 4 มิติ ซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพในกระบวนการเย็บเพิ่มขึ้นจากเดิม 88% เพิ่มขึ้นเป็น 96% ,สัดส่วนงานซ่อมลดลงจากเดิม 4.06% ลดลงเป็น 2.50%, ลดระยะเวลาส่งมอบสินค้าล่าช้ากว่ากำหนด จากเดิม 3 วัน ลดลงเป็น 1 วัน และระดับคะแนนความพึงพอใจของลูกค้าเพิ่มขึ้น จากเดิม 91 คะแนน เพิ่มขึ้นเป็น 96 คะแนน

เอกสารอ้างอิง

[1] สุภาณี นาควิเชียร, เอกสารการประชุม Lean Concept: Application & Simulation In Healthcare, 3-4 ตุลาคม 2554

[2] ดร.วิทยา สุหฤกดำรง, เจาะแก่นแนวคิดแบบลีน คิดอย่างลีนต้องคิดเชิงระบบ (ตอนที่ 4), Productivity World November-December, 2009

[3] พิเชฐ พุ่มเกษร และ กัลย์จรัส บุญประสิทธิ์, การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต ด้วยแนวคิดแบบลีน กรณีศึกษา บริษัทตัวอย่าง แผนกผลิตชิ้นส่วนหมวกรองใน, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 21-22 ตุลาคม 2552

การพัฒนารูปแบบการจัดการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือนในภาคใต้

The Model Development on Safety Occupational Health and Working Circumstances for Homemade Industries in the South

สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์[1*] ซูไฮดี สนิ[1] จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล[1] วรพงค์ บุญช่วยแทน[1] และ วรรธนพร ชีววุฒิพงศ์[1]
[1]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อ.เมือง จ. สงขลา 90000 E-mail: sitnong2@yahoo.co.th*

Surasit Rawangwong[1*], Zuhaidee Sani[1], Julaluk Rodjananugoon[1], Worapong Boonchouytan and Watthanaphon Cheewawuttipong
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla, 90000, E-mail:sitnong2@yahoo.co.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในอุตสาหกรรมครัวเรือนในภาคใต้ ศึกษาจาก 5 กลุ่มอาชีพ ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการประกอบอาชีพและอันตรายจากการประกอบอาชีพ การสำรวจสภาพการทำงาน และสภาพสิ่งแวดล้อมทางกายภาพในแต่ละกลุ่มอาชีพ เก็บข้อมูลโดยการสังเกตการณ์แบบมีส่วนร่วม การสัมภาษณ์แบบเจาะลึก และใช้แบบสอบถามเกี่ยวกับปัญหาทางด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย จากนั้นใช้รูปแบบการเรียนรู้และการแก้ปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงานที่ได้พัฒนาและใช้หลักการยศาสตร์ ค้นหาสภาพของปัญหาจากการทำงานและวิเคราะห์ปัญหาร่วมกันกับกลุ่มผู้ประกอบอาชีพ โดยใช้เทคนิควิธีการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย (JSA) เพื่อให้ได้แนวทางและมาตรการในการป้องกันและแก้ไขสภาพปัญหาหรืออันตราย ซึ่งใช้วิธีการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์และเทคนิคการปรับปรุงสภาพการทำงานในสถานประกอบการขนาดเล็ก (WISE) และ 6ส จากนั้นติดตามผลการเรียนรู้และประเมินผลการดำเนินงานเพื่อหากิจกรรมที่ต้องปรับปรุงเพื่อให้ได้รูปแบบการจัดการความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานที่เหมาะสม ผลจากการดำเนินพบว่าขั้นตอนของการค้นหาปัญหาร่วมกันด้านสุขภาพอนามัยจากการทำงาน จะทำให้กลุ่มอาชีพเกิดการเรียนรู้ถึงปัญหาสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยจากการทำงานปัจจุบัน ซึ่งทำให้พนักงานทราบสภาพปัญหาจากการทำงาน เป็นการมองและรับทราบปัญหาร่วมกัน ส่วนการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย จะนำไปสู่การหามาตรการในการป้องกันและแก้ไขอันตรายที่เกิดขึ้น เนื่องจากอุตสาหกรรมครัวเรือนจะมีความแตกต่างของสถานที่ทำงาน ลักษณะสภาพแวดล้อมของสถานที่ทำงานที่แตกต่างกัน แต่จะมีวิธีการทำงาน ท่าทางการทำงาน และเครื่องมือในการทำงานที่คล้ายกัน ในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานและวิธีการทำงาน โดยใช้เทคนิค WISE และ 6ส มาประยุกต์ใช้ในการอบรมโดยให้คำแนะนำในการหาวิธีการแก้ไขและปรับปรุงสภาพการทำงาน

คำหลัก ความปลอดภัย อาชีวอนามัย สภาพแวดล้อมในการทำงาน การยศาสตร์ วิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย แบบสำรวจการปรับปรุงสภาพการทำงานในสถานประกอบการขนาดเล็ก

Abstract

The purpose of this research was to develop the model of safety, occupational health and working circumstances in small enterprise industrial and homemade industries in the south. The study samples were in 5 groups of people. The research conducted to study the baseline data of professionals and occupational health hazards, to survey the working condition by monitoring the physical working environment in each occupational group. The qualitative data collections were used by observing, in depth interviewing, question and focus group discussions. The professional group relationship and occupational health problem understanding were built. The developing of learning model and problem solving process for occupational health and safety were used by searching the working problems. Problem analysis with professional groups were taken by job safety analysis (JSA) in order to be the way for prevention and control actions. The work improvement in small enterprises (WISE) and 6S was used for the prevention and control actions. In addition, was conducted. The professional groups learning follow up and evaluation methods, were used in order to find out the standard model that can be applied in many other homemade industries. The results of the research were; the searching of occupational health problems with the professional groups made them to learn about occupational health and safety problems from work practice and from the experience of others. The professional groups recognized and learned about the occupational health problems together in the analysis procedure for safety. So, it was easier and better understanding of the professional groups in order to find out the prevention and control act. Due to the homemade industry professionals of the professions of the professional groups had different conditions, for examples; differences of working places, working posture and working environmental management which they were the constraints of many working places. But the professional groups still had some similar conditions, for examples; working styles, working postures and working equipments. The WISE techniques and 6S activities were applied in training of the professional groups and applied for solving problems of working condition.

Keywords: Safety, Occupational Health, Working Circumstances, Ergonomics, Job Safety Analysis, Work Improvement in Small Enterprises (WISE)

1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาไปสู่ประเทศอุตสาหกรรมซึ่งมีการแข่งขันกันสูงและมีการพึ่งพาจากต่างประเทศทำให้ลักษณะการประกอบอาชีพของคนไทยเปลี่ยนแปลงไปสู่การใช้เครื่องมือเครื่องจักร ตลอดจนการใช้วัตถุดิบมาใช้ในการผลิตเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ทำให้เกิดผลกระทบต่อสภาพการทำงานของผู้ประกอบอาชีพส่งผลต่อการเจ็บป่วย บาดเจ็บ อุบัติเหตุ จากการทำงานในอัตราที่เพิ่มขึ้นซึ่งตรงกับการรายงานของ [1] ได้สรุปจำนวนและอัตราการประสบอันตรายและการเจ็บป่วยจากการทำงานประจำปี 2556 ในประเทศไทย จะเห็นได้ว่าการจัดการความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานมีความสำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบัน โดยพบว่าอัตราการประสบอันตรายทั่วประเทศในปี 2556 มีจำนวนลูกจ้าง 8,901,624 คน นับว่ามีอัตราการเฉลี่ยมากขึ้นในแต่ละเดือนทำให้เกิดความสูญเสียด้านทรัพยากรบุคคลของประเทศแล้ว ยังเป็นเหตุให้รัฐต้องสูญเสียทรัพย์สินอย่างมหาศาล อีกด้วย โดยกองทุนเงินทดแทน ต้องจ่ายค่ารักษาพยาบาลและค่าทดแทนสูงมาก ซึ่งยังไม่รวมค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูสมรรถภาพของคนงานและความสูญเสียอื่นๆ จากการทำงาน และได้ผลสรุปการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงานและการเจ็บป่วยของแรงงานในระบบจากฐานข้อมูลประกันสังคม พ.ศ. 2556 ยังพบว่ามีผู้ประสบอันตราย

หรือเจ็บป่วยจากการทำงานทั่วประเทศจำนวน 111,894 ราย โดยจำแนกออกเป็นผู้ป่วยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมากที่สุด จำนวน 70,468 ราย รองลงมาได้แก่ เขตภาคกลาง จำนวน 27,018 ราย เขตภาคเหนือ จำนวน 6,105 ราย เขตภาคใต้ จำนวน 5,698 ราย และเขตภาคตะวันออก เฉียงเหนือ จำนวน 2,605 ราย ตามลำดับ [1]

สถานประกอบการในปัจจุบันมีการประกอบอาชีพที่ทำงานเกี่ยวกับอุตสาหกรรมขนาดเล็กและอุตสาหกรรมครัวเรือนที่ยังขาดการดูแลและเอาใจใส่ในด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม พบได้ว่าจากสถานประกอบการที่เกิดอุบัติเหตุเจ็บป่วยจากการทำงานส่วนใหญ่ จะเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กและอุตสาหกรรมครัวเรือนและกลุ่มอาชีพพื้นบ้านที่ขาดการดูแลอย่างจริงจัง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [2] ได้สรุปว่าการจ้างงานของผู้ปฏิบัติอาชีพอุตสาหกรรมในท้องถิ่นมีปัญหาเรื่องสุขภาพจากการทำงาน การเจ็บป่วย หรือโรคจากการทำงาน การบาดเจ็บ คือท่าทาง อิริยาบถ ร้อยละ 79.5 เคยได้รับบาดเจ็บจากการทำงาน ร้อยละ 14.9 ซึ่งสอดคล้องกับ ผลการศึกษาปัญหาสุขภาพและสภาพแวดล้อมในการทำงานของช่างเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า ปัญหาการเจ็บป่วยในกลุ่มอาการทางกล้ามเนื้อมากสุดคือ อาการปวดกล้ามเนื้อแขน ร้อยละ 83.0 รองลงมาคือ อาการปวดกล้ามเนื้อขา ร้อยละ 82.4 ปวดหัวไหล่ ร้อยละ 79.9 และปวดตามหลัง ร้อยละ 77.4 [3] และผลการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยคุกคามสุขภาพจากการทำงานและภาวะสุขภาพของคนงานโรงงานยางแผ่นรมควัน พบว่าอาการผิดปกติที่พบมากที่สุดคือ ระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ คือปวดหรือเมื่อยล้าหลัง ร้อยละ 63.01 ระบบทางเดินหายใจ คือระคายเคืองจมูก/คอ ร้อยละ 58.90 ระบบประสาท คือเวียนศีรษะ ร้อยละ 45.21 [4] ซึ่งโดยทั่วไปแล้วผู้ที่ทำงานในอุตสาหกรรมเหล่านี้ยังขาดความรู้ ความเข้าใจในเรื่องการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากการทำงาน นอกจากปัญหาการประสบอันตรายจากการทำงานที่เพิ่มสูงขึ้นแล้วการพัฒนาอุตสาหกรรมต่างๆ ยังก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ปฏิบัติงาน และชุมชนทั่วไป สาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาเหล่านี้ ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ ความชำนาญ ระบบความปลอดภัยที่ดี ขาดมาตรการที่เหมาะสมในการควบคุมการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมต่างๆ ผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งในส่วนนายจ้างและลูกจ้างยังขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความปลอดภัยอาชีวอนามัยในการทำงาน จึงไม่ได้ตระหนักถึงอันตรายความสำคัญในการจัดการให้มีการดำเนินงานด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัย และการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมขึ้นในการประกอบอาชีพในชุมชน ดังนั้นการพัฒนาความรู้ ความสามารถของผู้ปฏิบัติงานระบบการบริหารจัดการด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัยที่ดี และการเฝ้าระวังการจัดการสิ่งแวดล้อมในการทำงานที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นมาตรการที่มีผลในการควบคุมป้องกันและแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ แต่การเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารการให้ความรู้และการให้คำปรึกษาที่ถูกต้องแก่ผู้ประกอบอาชีพในชุมชน และยังไม่มีการให้ความสนใจในเรื่องการส่งเสริมด้านการจัดการอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานในสถานประกอบการอาชีพในชุมชนเท่าที่ควร

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาและพัฒนารูปแบบการจัดการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือนในภาคใต้ เพื่อนำไปสู่การนำไปใช้ในการปฏิบัติในการประกอบอาชีพโดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรืออุตสาหกรรมครัวเรือนหรือกลุ่มอาชีพ เช่น กลุ่มอาชีพเครื่องปั้นดินเผา กลุ่มอาชีพโรงอิฐ กลุ่มอาชีพทอผ้า กลุ่มอาชีพเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ และกลุ่มอาชีพผลิตภัณฑ์กระจูดและกลุ่มอาชีพอื่นๆ ในภาคใต้ เพื่อจะเป็นประโยชน์ต่อแรงงานในกลุ่มดังกล่าว ซึ่งปัจจุบันมีจำนวนมาก และกระจายไปเกือบทุกจังหวัดในภาคใต้ อีกทั้งผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะนำภูมิปัญญาท้องถิ่นไปปรับใช้ในการจัดการเทคโนโลยีและการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากภูมิปัญญาท้องถิ่นไทยในภาคใต้ จึงทำการพัฒนารูปแบบการจัดการความปลอดภัยอาชีวอนามัยสภาพแวดล้อมในการทำงานและหลักการทางการยศาสตร์ในอุตสาหกรรมครัวเรือนในภาคใต้ ที่กำลังประสบปัญหาทางด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัย เพื่อนำไปสู่การถ่ายทอดเทคโนโลยีในท้องถิ่นและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถปรับใช้ความรู้กับวิถีชีวิตในท้องถิ่น เพื่อสามารถป้องกันแก้ไขปัญหาทางด้านการ

จัดการความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นได้อย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อสำรวจขั้นตอนที่มีอันตรายที่เกิดจากการทำงานทางด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานร่วมกับการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์สำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือนในภาคใต้

2) เพื่อชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงจากสิ่งแวดล้อมในการทำงานที่มีผลกับผู้ปฏิบัติงานด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน

3) เพื่อวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย (JSA) ของอุบัติเหตุที่ส่งผลที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บจากการทำงาน

4) เพื่อเสนอแนะแนวทางปรับปรุงการทำงานและนำรูปแบบการเรียนรู้และการแก้ปัญหาทางด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยมาใช้อบรมผู้ที่ทำงานในอุตสาหกรรมครัวเรือนกลุ่มเป้าหมาย

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

1) การคัดเลือกกลุ่มอุตสาหกรรมครัวเรือน/กลุ่มอาชีพ/วิสาหกิจในภาคใต้ โดยใช้หลักการประเมินความเสี่ยงจากการทำงานและทำการศึกษา 5 กลุ่มอาชีพ ประกอบด้วย กลุ่มอาชีพเครื่องปั้นดินเผา กลุ่มอาชีพโรงอิฐ กลุ่มอาชีพทอผ้า กลุ่มอาชีพเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ และกลุ่มอาชีพผลิตภัณฑ์กระจูด

2) ประสานงานกับอุตสาหกรรมครัวเรือนในภาคใต้และศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

3) ศึกษาและเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพในกลุ่มตัวอย่างโดยการสังเกตการณ์แบบมีส่วนร่วมด้านพฤติกรรมในการทำงานของกลุ่มอุตสาหกรรมครัวเรือนหรือกลุ่มอาชีพ และโดยสัมภาษณ์แบบเจาะลึกเพื่อหาพฤติกรรมที่อาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยจากการทำงาน และศึกษาการเรียนรู้ทางด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของอุตสาหกรรมครัวเรือนในภาคใต้ โดยแบ่งรายละเอียดของการดำเนินงานดังนี้

3.1) สำรวจสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพื่อการค้นหาและวิเคราะห์ปัญหาการยศาสตร์ และศึกษาข้อมูลทางด้านการยศาสตร์อื่นๆ ได้แก่ ท่าทางหรืออิริยาบถในการทำงาน ความซ้ำซากในการทำงาน เป็นต้น

3.2) ใช้เทคนิคการทำความเข้าใจกับกลุ่มอุตสาหกรรมครัวเรือนเกี่ยวกับปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

3.3) ขั้นการดำเนินงาน ประชุมกลุ่มตัวอย่างโดยใช้รูปแบบการเรียนรู้และแก้ปัญหาทางด้านอาชีวอนามัยความปลอดภัยที่ได้พัฒนาขึ้นมาในกลุ่มอุตสาหกรรมครัวเรือน วิเคราะห์ปัญหาร่วมกับกลุ่มพนักงานกลุ่มเป้าหมาย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย (JSA) เพื่อให้พนักงานมีส่วนร่วมในการค้นหาและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้วยตนเอง โดยผู้วิจัยทำหน้าที่ให้คำแนะนำ

4) ขั้นติดตามและประเมินผล เพื่อหาข้อสรุปและประเด็นที่ต้องการปรับปรุง จากกลุ่มอุตสาหกรรมครัวเรือนเพื่อให้ได้รูปแบบที่เหมาะสม ซึ่งการประเมินผลการดำเนินงานโดยการเปรียบเทียบข้อมูลทางด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และปัญหาสุขภาพจากการทำงานก่อนและหลังดำเนินการตามรูปแบบในกลุ่มอุตสาหกรรมครัวเรือน

4. กรอบแนวคิดการวิจัย

การพัฒนารูปแบบการจัดการความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือนในภาคใต้ ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยปฏิบัติแบบมีส่วนร่วม(Participatory Action Research: PAR) โดยอาศัยวิธีการศึกษาเชิงคุณภาพ (Qualitative Research Method) และเทคนิคกระบวนการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม (Participatory Learning Technique) โดยผู้วิจัยได้ประยุกต์รูปแบบของ กาญจนา นาถะพินธุ และ คณะ [2] และ รูปแบบของ วิทยา เมฆขำ และ บัญนษร สันฐาน [5], [6] แสดงดังรูปที่ 1

5. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยด้วยการปฏิบัติแบบมีส่วนร่วม โดยอาศัยเทคนิคกระบวนการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วมและวิธีการศึกษาเชิงคุณภาพ เช่น แบบสอบถาม แบบสัมภาษณ์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามที่ศึกษาพบว่า

5.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับปัญหาด้านการยศาสตร์และปัญหาสุขภาพ

จากการศึกษาปัญหาด้านการยศาสตร์และปัญหาสุขภาพของพนักงานของกลุ่มอาชีพ จำนวน 5 กลุ่มอาชีพ พบว่าจากพนักงานผู้ประกอบอาชีพ ร้อยละ 75 มีปัญหาด้านการยศาสตร์และปัญหาสุขภาพหรือโรคจากการทำงาน โดยพบว่าปัญหาด้านการยศาสตร์และปัญหาสุขภาพที่พบมากคือ ท่าทางในการทำงานและอิริยาบถที่ไม่เหมาะสมในการทำงาน พนักงานทำงานด้วยท่าทางที่ซ้ำๆ และต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ ทำให้เกิดอาการเจ็บปวดตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น ปวดหลัง ปวดเอว ปวดไหล่ ปวดมือ ปวดแขน ปวดมือ และจากการเก็บข้อมูลพบว่าพนักงานมีอาการเมื่อยล้า อ่อนเพลีย เนื่องจากการทำงานเป็นระยะเวลานานๆ ต่อเนื่อง และจากกลุ่มอาชีพ 5 กลุ่มอาชีพ พบว่าพนักงานผู้ประกอบอาชีพเครื่องปั้นดินเผา กลุ่มอาชีพเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ ร้อยละ 71 และร้อยละ 67 ตามลำดับ เคยได้รับบาดเจ็บและอุบัติเหตุจากการทำงาน โดยพบว่าประเภทของการเกิดการบาดเจ็บและอุบัติเหตุเนื่องมากจากการถูกของมีคมบาด และเสี้ยนไม้ไผ่ทิ่มแทง และการสะดุดสิ่งของในระหว่างการทำงาน

5.2 การเรียนรู้ปัญหาร่วมกัน แนวทางการแก้ไขปัญหา และผลการดำเนินงานตามรูปแบบ

จากการประชุมแบบมีส่วนร่วมของพนักงานในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมครัวเรือน ตามขั้นตอนรูปแบบการจัดการความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ปัญหาร่วมกันและการแก้ไขปัญหาร่วมกัน พบว่า

1) การมองปัญหาด้านการยศาสตร์และปัญหาด้านสุขภาพจากการทำงาน ทำให้พนักงานเรียนรู้ถึงด้านการยศาสตร์ ปัญหาสุขภาพ และความปลอดภัยที่เกิดจากการทำงานที่เคยเป็นและแลกเปลี่ยนประสบการณ์ด้วยกัน

2) การวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย (Job Safety Analysis ; JSA) โดยการแบ่งงานเป็นขั้นตอน ค้นหาอันตรายหรือแนวโน้มของการเกิดปัญหา และกำหนดวิธีการป้องกันและแก้ไขปัญหาในแต่ละขั้นตอน

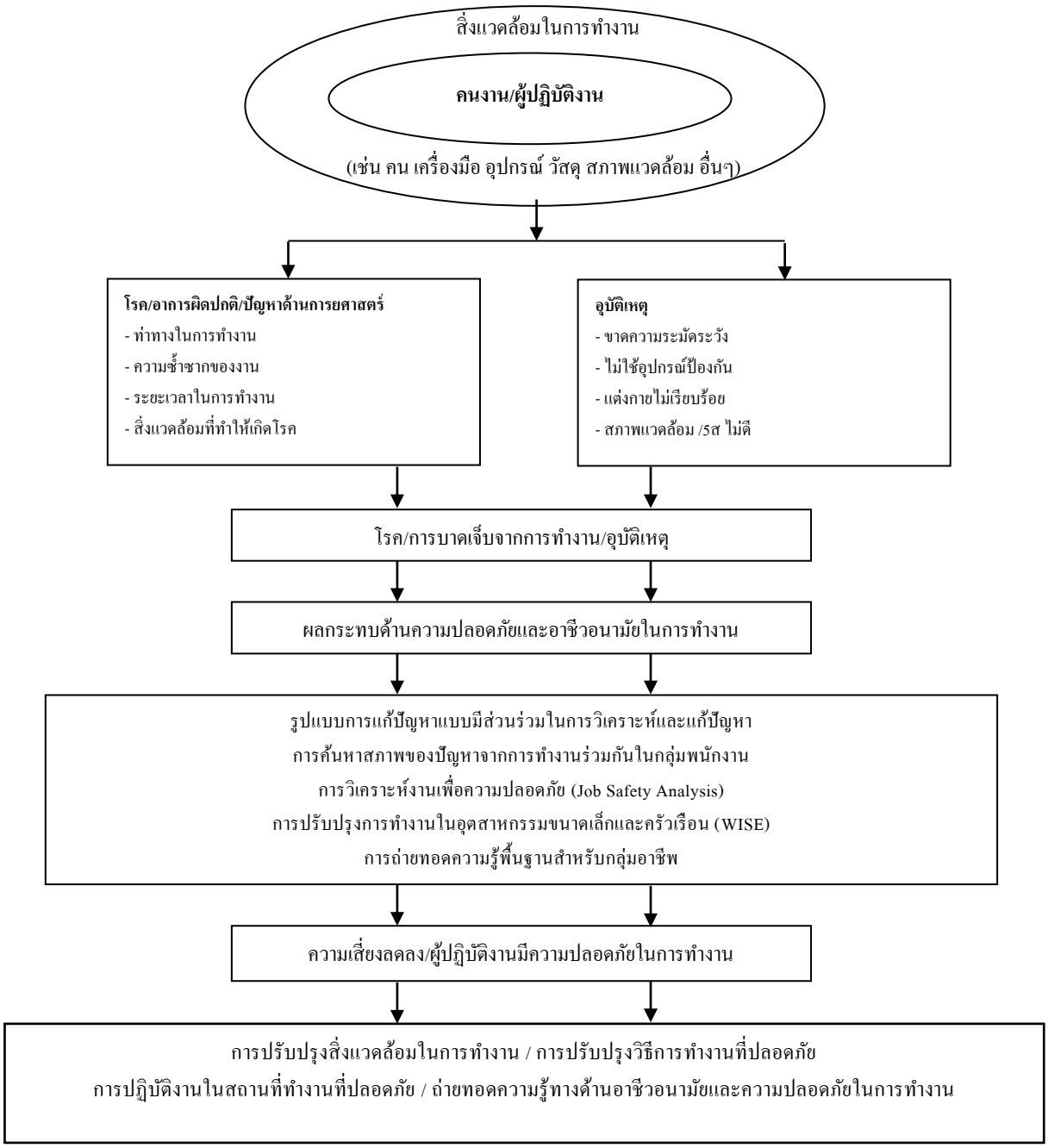
3) การหาแนวทางการป้องกันและแก้ไขปัญหาร่วมกัน เป็นการกำหนดกิจกรรมที่จะสามารถนำไปปฏิบัติเพื่อนำไปสู่มาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาสุขภาพอนามัยของพนักงานกลุ่มอาชีพดังกล่าว โดยสรุปสิ่งที่ผู้วิจัยและกลุ่มอาชีพมองเห็นด้วยกันมีกิจกรรมที่จะสามารถดำเนินการได้ทั้ง 5 กลุ่มอาชีพ มีดังนี้คือ

1) การปรับปรุงวิธีการทำงาน สถานที่ทำงาน และสิ่งแวดล้อมในการทำงาน

2) การอบรมให้ความรู้กับกลุ่มอาชีพเกี่ยวกับวิธีการทำงานที่ถูกหลักการยศาสตร์และการป้องกันอันตรายจากการทำงาน

3) การส่งเสริมสุขภาพโดยการออกกำลังกาย หรือการบริหารร่างกายร่วมกันในกลุ่มผู้ประกอบอาชีพ

กิจกรรมที่ได้กำหนดขึ้นโดยกลุ่มอาชีพ มีกิจกรรมที่กลุ่มอาชีพสามารถนำไปดำเนินการได้เอง และต้องการความรู้เพิ่มเติม เพื่อให้เกิดการประยุกต์และการปฏิบัติที่สามารถพัฒนา ป้องกัน และแก้ไขปัญหาได้ โดยการปรับปรุงวิธีการทำงาน ผู้วิจัยใช้หลักการยศาสตร์ สำหรับประเด็นการปรับปรุงสถานที่ทำงานและสิ่งแวดล้อมในการทำงานนั้น โดยผู้วิจัยได้แนะนำวิธีการปรับปรุงสภาพการทำงานในสถานประกอบการขนาดเล็ก (Work Improvement in Small Enterprises; WISE) ซึ่งเป็นเทคนิคที่แนะนำโดยองค์การแรงงานระหว่างประเทศในการปรับปรุงสำหรับสถานประกอบการขนาดเล็ก และใช้กิจกรรม 6ส (สะสาง สะดวก สะอาด สุขลักษณะ สร้างนิสัย และสุขภาพ) พบว่าการใช้กิจกรรม 6ส จะทำให้เกิดความเข้าใจในการปฏิบัติที่ง่ายกว่า เริ่มดำเนินการจากการสะสางแยกแยะสิ่งที่ต้องการและไม่ต้องการ ส่งผลให้การจัดวางสิ่งของสถานที่ทำงานเป็นระเบียบเรียบร้อยสะดวกในการนำไปใช้ต่อไป จากนั้นทำความสะอาดจะทำให้ได้ผลให้สถานที่ทำงานสุขลักษณะตามมา อีกทั้งส่งเสริมพนักงานทุกคนออกกำลังกายตอนเช้าก่อนเข้าทำงานและช่วงระหว่างทำงาน ประมาณ 10 นาที เป็นการส่งเสริมสุขภาพพนักงานและการเปลี่ยนอิริยาบถของท่าทางการทำงาน โดยให้ทุกคนทำกิจกรรม 6ส เป็นประจำทุกวันการอบรมให้ความรู้กับกลุ่มอาชีพในการป้องกันอันตรายจากการทำงาน โดยทั่วไปกลุ่มอาชีพต้องมีการอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากการทำงานและมีความต้องการทราบถึงวิธีการในการป้องกันอันตรายจากการทำงาน โดยเน้นที่เนื้อหาเกี่ยวกับการป้องกันการเจ็บป่วย การปวดกล้ามเนื้อตามอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งเป็นการเจ็บป่วยที่พนักงานเป็นอยู่แล้วหรือกำลังประสบอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 1 รูปแบบการเรียนรู้และในการแก้ไขปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงาน [3,] [5], [6]

สำหรับการส่งเสริมสุขภาพโดยการออกกำลังกายหรือการบริหารร่างกายร่วมกันในกลุ่มอาชีพนั้น เป็นความต้องการของกลุ่มอาชีพที่ต้องการให้นักวิจัยเข้าไปสอนท่าทางในการบริหารร่างกายที่จะสามารถแก้ปัญหาเรื่องการปวดเมื่อยร่างกายที่เกิดจากการทำงาน และผู้วิจัยได้เข้าไปให้คำแนะนำในการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขในการทำงานในกลุ่มอาชีพ จากนั้นผู้วิจัยได้ประเมินผลการดำเนินงานในการแก้ไขปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของกลุ่มอาชีพเป็นระยะๆ โดยใช้วิธีศึกษาข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการสังเกต ซักถามเชิงลึก และบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการทำงาน ซึ่งได้ผลการดำเนินงานของแต่ละกลุ่มอาชีพดังนี้

1) ผลการดำเนินงานในกลุ่มอาชีพเครื่องปั้นดินเผา จากการประชุมพนักงานพบว่าปัญหาสุขภาพที่สำคัญของกลุ่มอาชีพทำเครื่องปั้นดินเผา คือปัญหาสุขภาพจากการทำงานที่มีท่าทางในการทำงานไม่เหมาะสม การทำงานที่มีการใช้กล้ามเนื้อและออกแรงที่มีการทำงานติดต่อกันเป็นเวลานานๆ ซึ่งเป็นสาเหตุของการปัญหาสุขภาพ เช่น การปวดหลังส่วนล่าง กล้ามเนื้อมือ ไหล่ และแขน ส่วนใหญ่จะมีการทำงานที่เหมือนกัน

ส่วนปัญหาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของการทำงาน คือ ปัญหาควันไฟที่เกิดจากการใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งส่งผลให้คนงานแสบตา เจ็บตา และหายใจไม่ค่อยสะดวก

ข้อวิจารณ์และข้อเสนอแนะของผู้วิจัย มีความเห็นว่าเนื่องจากงานประเภทนี้มีการแบ่งหน้าที่ในการทำงาน ทำให้ปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละคนต่างกัน ผู้วิจัยจึงให้ข้อคิดเห็นในการปรับปรุงสภาพการทำงานตามลักษณะงาน ปัญหาที่พบส่วนใหญ่พนักงานมีปัญหาด้านสุขภาพที่เกิดอาการปวดตามอวัยวะของร่างกายที่มีการทำงานซ้ำท่าทางเดิมๆ เป็นเวลานานๆ ได้แก่ ปวดหลังส่วนล่าง มือ ไหล่ แขน และขา นักวิจัยได้อบรมให้ความรู้กับพนักงานโดยมีผู้เข้ารับการสาธิตและฝึกอบรมประมาณ 13 คน โดยอบรมให้ความรู้เรื่องท่าทางที่เหมาะสมในการทำงาน เสนอแนะให้มีช่วงพักระหว่างการทำงาน และการส่งเสริมสุขภาพด้วยการบริหารร่างกายเพื่อป้องกันอาการเจ็บป่วยและความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อจากการทำงาน

2) ผลการดำเนินงานในกลุ่มอาชีพโรงอิฐ ในกลุ่มอาชีพนี้การทำงานขึ้นอยู่กับความต้องการสินค้าของตลาด และการขึ้นรูปอิฐจะใช้เครื่องจักรเป็นหลัก ซึ่งคนงานต้องทำงานหลังจากเครื่องจักรขึ้นรูปอิฐเสร็จแล้ว โดยกระบวนการผลิตเริ่มตั้งแต่คนงานเตรียมวัตถุดิบป้อนเข้าเครื่องขึ้นรูป จากกนั้นเครื่องจักรจะขึ้นรูปแบบตามแบบที่ต้องการ และคนงานเคลื่อนย้ายอิฐที่ผ่านการขึ้นรูปไปผึ่งในโรงเรือนเพื่อรอเข้าเตาเผาต่อไป จากการประชุมพบว่าปัญหาสุขภาพที่สำคัญของกลุ่มอาชีพโรงอิฐคือพนักงานทำงานด้วยท่าทางที่ไม่เหมาะสม การทำงานที่มีการใช้กล้ามเนื้อส่วนใดส่วนหนึ่งโดยเฉพาะที่มีการทำงานติดต่อกันเป็นเวลานานๆ เช่น กล้ามเนื้อมือ ไหล่ และแขน ส่วนปัญหาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของการทำงานคือ มีฝุ่นมาก

ข้อวิจารณ์และข้อเสนอแนะของผู้วิจัย โดยมีความคิดเห็นว่ากิจกรรมการบริหารร่างกาย เพื่อให้พนักงานได้เห็นความสำคัญของการออกกำลังกายและการบริหารร่างกายก่อนการปฏิบัติงาน ซึ่งจะนำไปสู่การป้องกันการเจ็บปวดหรือการเกิดโรคจากการทำงาน ผู้วิจัยได้จัดอบรมให้ความรู้ด้านการยศาสตร์และผลกระทบจากการทำงานด้วยท่าทางที่ไม่ถูกต้อง อันตรายจากการทำงานและการป้องกันให้กับกลุ่มอาชีพโรงอิฐ เพื่อให้ตระหนักเกิดความรู้และสามารถนำไปใช้ปรับปรุงการทำงานด้วยตนเอง นอกจากนี้ผู้วิจัยได้อธิบายประกอบการสาธิตในการคลายและเหยียดกล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการบริหารร่างกายก่อนและหลังการทำงานได้

3) ผลการดำเนินงานในกลุ่มอาชีพทอผ้า จากการประชุมพบว่าปัญหาสุขภาพที่สำคัญของกลุ่มอาชีพนี้คือปัญหาการปวดตามอวัยวะส่วนต่างๆ ของร่างกายเนื่องจากต้องนั่งทอผ้าเป็นเวลานานๆ หลังจากการประชุมเพื่อหาสภาพปัญหาและการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย รวมถึงการกำหนดกิจกรรมที่ต้องการให้ผู้วิจัยเข้าไปช่วยดำเนินการนั้น ปรากฏว่ากลุ่มอาชีพนี้ต้องการให้ผู้วิจัยอบรมท่าทางในการบริหารร่างกายเพื่อช่วยแก้ปัญหาในเรื่องการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อของร่างกายจากการทำงาน นักวิจัยได้สาธิตการส่งเสริมสุขภาพด้วยการบริหารร่างกายโดยการคลายและยืดกล้ามเนื้อ มีผู้เข้ารับการสาธิตและฝึกอบรมประมาณ 17 คน โดยผู้วิจัยได้

แจกเอกสารคู่มือฝึกดังกล่าวให้กับพนักงานเพื่อให้ผู้ประกอบอาชีพสามารถใช้ทบทวนและปฏิบัติได้ด้วยตนเอง ในกลุ่มผู้รับการอบรมได้เลือกตัวแทนที่จะเป็นผู้นำกลุ่มในการนำการบริหารร่างกาย โดยได้มีการปฏิบัติการบริหารร่างกายสม่ำเสมอเป็นประจำสัปดาห์ละหลายวันที่สถานที่บริเวณกลุ่มทอผ้า และเมื่อเสร็จจากการบริหารร่างกายแล้วก็จะมีการเต้นแอโรบิคต่อทำให้กิจกรรมการรวมกลุ่มนี้ได้รับความสนใจอย่างมาก บางคนจะบริหารร่างกายอยู่กับบ้านโดยดูตามคู่มือที่แจกไป โดยสรุปจากการติดตามผลการดำเนินงานปรากฏว่าการบริหารร่างกายโดยการคลายและยืดกล้ามเนื้อ จะช่วยแก้ปัญหาอาการปวดเมื่อยร่างกายที่เคยเป็นอยู่ให้หายหรือเบาบางลงได้

ข้อวิจารณ์และข้อเสนอแนะของผู้วิจัย จากการประชุมกลุ่มได้ข้อสรุปว่าชาวบ้านให้ความสำคัญในการบริหารร่างกายและออกกำลังกาย ถึงแม้ว่าในบางฤดูกาลที่มีภารกิจด้านอื่น เช่น การทำนา ทำสวน ไม่มีการปฏิบัติการบริหารร่างกายร่วมกัน แต่ก็ยังมีการบริหารร่างกายกันเองที่บ้าน และจากการติดตามผู้ที่ปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอ พบว่าให้ผลที่ดีต่อสุขภาพ ซึ่งจะกระตุ้นให้มีการส่งเสริมสุขภาพโดยการบริหารร่างกายและเห็นประโยชน์ที่จะได้รับมากขึ้นประกอบกับงานทอผ้าจะมีการทำเฉพาะในกลุ่มสตรีเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นความสัมพันธ์ภายในกลุ่มอาชีพนี้ค่อนข้างจะดี

4) ผลการดำเนินงานในกลุ่มอาชีพเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ ลักษณะการทำงานของแรงงานในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่แรงงานทำงานด้วยวิธีการและท่าทางผิดธรรมชาติ โดยทั่วไปลักษณะงานพนักงานต้องใช้แรงมาก นั่ง ยืน ทำงานที่ไม่ถูกตามหลักการยศาสตร์ ซึ่งจะส่งผลต่อปวดเมื่อย การเจ็บป่วย และอุบัติเหตุจากการทำงาน ซึ่งจะส่งผลต่อการทำงาน ระบบการทำงานของกลุ่มอาชีพนี้ค่าจ้างจะเป็นแบบจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ทำได้ ถ้าพนักงานขยันจะได้ค่าจ้างมาก โดยพนักงานสามารถหยุดพักได้ตลอดเวลาเมื่อเกิดความล้า

จากแบบสอบถามและข้อมูลจากการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ พบว่าพนักงานมีปัญหาด้านการยศาสตร์ อาชีวอนามัยและความปลอดภัย จะเป็นการปวดเมื่อยลำตัว ปวดเอว ปวดหลัง และอุบัติเหตุจากเสี้ยนไม้ทิ่มแทง ผู้วิจัยจึงได้อธิบายประกอบการสาธิตในการคลายและเหยียดกล้ามเนื้อ และความปลอดภัยในการทำงาน สามารถประยุกต์ใช้สำหรับการบริหารร่างกายก่อนและหลังการทำงาน ซึ่งได้ใช้กับกลุ่มอาชีพผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ มีผู้เข้ารับการสาธิตและฝึกอบรมประมาณ 15 คน และผู้วิจัยได้แจกเอกสารคู่มือการฝึกอบรมดังกล่าวเพื่อให้สามารถทบทวนและสามารถปฏิบัติด้วยตนเองได้ และพนักงานมีการรวมตัวกันเพื่อออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอในตอนเช้าก่อนทำงานและช่วงระหว่างการทำงาน เมื่อลดการนั่ง ยืนทำงานด้วยท่าทางที่ซ้ำๆ เป็นเวลานานๆ เพื่อส่งเสริมสุขภาพและการแก้ไขปัญหาสุขภาพ ภายหลังการติดตามการบริหารร่างกายของพนักงาน ได้ข้อคิดเห็นว่าการบริหารร่างกายที่ได้ปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้วิจัยสามารถช่วยลดอาการปวดเมื่อยเจ็บปวดร่างกายจากการทำได้อย่างน่าพอใจและช่วยส่งผลดีต่อร่างกายที่พร้อมทำงาน อีกทั้งช่วยให้การทำงานกระฉับกระเฉงมากขึ้น

ข้อวิจารณ์และข้อเสนอแนะของผู้วิจัย โดยมีความคิดเห็นว่ากิจกรรมการบริหารร่างกายและการทำงานที่ปลอดภัย เพื่อให้พนักงานได้เห็นความสำคัญของการออกกำลังกายและการบริหารร่างกายก่อนการปฏิบัติเพื่อส่งเสริมสุขภาพของร่างกายและการทำงานที่ปลอดภัย ผู้วิจัยได้จัดอบรมให้ความรู้ด้านการยศาสตร์และผลกระทบจากการทำงานด้วยท่าทางที่ไม่ถูกต้องเพื่อนำไปใช้ปรับปรุงการทำงานและการตระหนักถึงความปลอดภัยในการทำงาน

5) ผลการดำเนินงานในกลุ่มอาชีพผลิตภัณฑ์กระจูด เนื่องจากกลุ่มอาชีพต้องการให้ผู้วิจัยช่วยสอนวิธีการในการบริหารร่างกายเพื่อช่วยแก้ปัญหาการปวดกลังส่วนล่าง ปวดเมื่อยหลัง โดยผู้วิจัยได้อธิบายประกอบการสาธิตในการคลายและเหยียดกล้ามเนื้อซึ่งสามารถประยุกต์ใช้สำหรับการบริหารร่างกายก่อนและหลังการทำงาน ซึ่งได้ใช้กับกลุ่มอาชีพผลิตภัณฑ์กระจูด มีผู้เข้ารับการสาธิตและฝึกอบรมประมาณ 16 คน โดยผู้วิจัยได้แจกเอกสารคู่มือการฝึกอบรมดังกล่าวเพื่อให้สามารถทบทวนและสามารถปฏิบัติด้วนตนเองได้ โดยระยะแรกได้มีการรวมตัวกันเพื่อออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอในตอนเย็นหลังเลิกงานแต่ด้วยแรงงานหลายคนติดภารกิจส่วนตัวบ้าง ติดงานบ้านบ้าง ทำให้พนักงานมาออกกำลังกายไม่ค่อยสม่ำเสมอ ผู้วิจัยจึงกระตุ้นพนักงาน

ให้เห็นความสำคัญของการส่งเสริมสุขภาพเพื่อลดการแก้ปัญหาสุขภาพ ทำให้กลุ่มพนักงานและชาวบ้านใกล้เคียงได้รวมกลุ่มกันออกกำลังกายโดยการเต้นแอโรบิคที่ลานกีฬาของหมู่บ้านในช่วงตอนเย็น เพื่อส่งเสริมสุขภาพอย่างยั่งยืน สำหรับพนักงานบางคนที่มีครอบครัวแล้วและไม่ค่อยมีเวลาว่าง ก็ได้นำท่าการบริหารร่างกายที่ได้รับการฝึกสอนไปใช้ในการบริหารร่างกายตามลำพังเองที่บ้าน และพนักงานได้ให้ข้อคิดเห็นว่าการบริหารร่างกายที่ได้ปฏิบัติอยู่นั้นสามารถช่วยลดอาการปวดเมื่อยร่างกายจากการทำงานได้

ข้อวิจารณ์และข้อเสนอแนะของผู้วิจัย โดยมีความคิดเห็นว่ากิจกรรมการบริหารร่างกายนั้นพนักงานกลุ่มอาชีพสามารถทำได้เองที่บ้าน เพียงแต่ให้พนักงานได้รับความรู้ในวิธีการบริหารร่างกายและสามารถนำไปปฏิบัติได้ สำหรับความสม่ำเสมอในการปฏิบัตินั้นขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของปัญหาการปวดเมื่อยของแต่ละคนและความสม่ำเสมอของการบริหารร่างกาย ซึ่งในผู้ที่มีการปฏิบัติเป็นประจำนั้น ส่วนหนึ่งต้องการแก้ไขปัญหาจากการปวดเมื่อยร่างกายที่เป็นอยู่ จากผลของการปฏิบัติที่ได้ผลดีต่อร่างกาย ซึ่งจะต้องมีการกระตุ้นและชี้ให้เห็นความสำคัญของการบริหารร่างกาย เพื่อส่งเสริมสุขภาพร่างกาย ซึ่งจะนำไปสู่การป้องกันมากกว่าการแก้ปัญหา

จากผลการดำเนินงานวิจัยโดยรวมพบว่าการปรับปรุงสภาพการทำงานด้วยการนำหลักการยศาสตร์ (Ergonomics) ไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการทำงาน เช่น ผู้ทำงานที่มีอาการปวดบริเวณเอว หลังส่วนล่าง ไหล่ และข้อมือ เนื่องจากการนั่งด้วยท่าทางเดิมซ้ำๆ เป็นเวลานาน และการเคลื่อนไหวของมือและไหลจากท่าทางการทำงาน โดยเฉพาะกลุ่มอาชีพเครื่องปั้นดินเผา กลุ่มอาชีพผลิตภัณฑ์กระจูด และกลุ่มทอผ้า ผู้วิจัยได้เสนอแนะแนวทางการแก้ไขโดยการแนะนำให้พนักงานเปลี่ยนอิริยาบถในการทำงานบ่อยๆ และปรับเปลี่ยนท่าทางในการทำงานไม่ให้ทำงานท่าทางเดิมๆ อย่างต่อเนื่อง ในส่วนของท่าทางในการทำงานมีพนักงานหลายคนที่มีการปรับปรุงที่นั่งและโต๊ะทำงานเพื่อให้นั่งสบายขึ้นไม่ปวดหลัง และปรับท่าทางการทำงานที่สามารถลดการต้องก้มหลังขณะทำงาน โดยการปรับระดับหน้างานให้เหมาะสมขึ้น และปรับเปลี่ยนพฤติกรรมหรือรูปแบบการทำงานในลักษณะที่ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงทางการยศาสตร์และระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ

6. สรุปการวิจัย

จากการศึกษาและปรับปรุงผลการใช้รูปแบบการเรียนรู้และการแก้ปัญหาทางด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงานในอุตสาหกรรมครัวเรือน โดยการใช้เทคนิควิธีการต่างๆ ในกลุ่มอาชีพทั้ง 5 กลุ่มอาชีพ การนำความรู้ที่ได้รับจากขั้นตอนต่างๆ ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการทำงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและส่งเสริมสุขภาพในการทำงาน จะขึ้นกับปัจจัยสำคัญดังนี้

1) ลักษณะของงาน จากความแตกต่างของลักษณะงาน ขั้นตอนการทำงาน และสภาพแวดล้อมในการทำงานสำหรับบางประเภทที่มีลักษณะหรือข้อจำกัดของงาน เช่น ในกลุ่มอาชีพทำเครื่องปั้นดินเผา จะมีปัญหาเรื่องแสงสว่างไม่เพียงพอต้องใช้สายตาในการเพ่งและมีควันไฟทำให้แสบตา ส่วนขั้นตอนการเขียนลาย การแก้ไขปัญหาเรื่องแสงสว่างที่ไม่เพียงพออาจปรับปรุงได้โดยการยกเครื่องปั้นดินนำมาเขียนลายในด้านนอกๆ ที่มีแสงสว่างเพียงพอ ก็จะสามารถทำได้เฉพาะงานปั้นที่มีขนาดเล็ก เพราะถ้าเครื่องปั้นที่มีขนาดใหญ่ก็ยากในการยกย้ายและอาจส่งผลให้งานปั้นชำรุดเสียหายได้ รวมทั้งเสียเวลาในการเคลื่อนย้ายงาน ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการบาดเจ็บเมื่อยล้าได้ ในการแก้ไขนั้นทำได้โดยจะต้องเน้นในการปรับปรุงที่จุดทำงานของแต่ละคน และปรับสภาพแสงให้เพียงพอในการทำงาน

2) ความสัมพันธ์ในกลุ่มผู้ประกอบอาชีพ การปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ต้องการทำงานร่วมกันจำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากทุกๆ คน ความสัมพันธ์ของผู้ทำงานในกลุ่มที่ทำด้วยกันจึงมีความสำคัญมาก โดยทั่วไปคนงานจะมีความรู้จักคุ้นเคยกัน แต่ในแง่ของการทำงานแล้ว จะเป็นการทำงานแบบต่างคนต่างทำไม่ยุ่งเกี่ยวกัน เมื่อบางคนมีการดูแลสภาพงานดี แต่คนอื่นรอบข้างไม่ให้ความสนใจ ทำให้เกิดสภาพแวดล้อมการทำงานที่ไม่เหมาะสม เกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งต่อตนเองและผู้อื่นได้ ดังนั้นในการทำงานอาชีพอุตสาหกรรมครัวเรือน สิ่งที่สำคัญในการแก้ไขปรับปรุงสภาพแวดล้อมคือความร่วมมือร่วมใจกันในการปฏิบัติ

ร่วมกัน นอกจากนี้ในการทำงานที่มีการทำงานอยู่คนละสถานที่ก็จะไม่ยุ่งเกี่ยวกัน กรณีนี้จะให้เจ้าของกิจการเป็นผู้ริเริ่มในการชักจูงพนักงานเพื่อให้เกิดการยอมรับและปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสภาพการทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงาน

3) ผลกระทบของปัญหา ระดับของปัญหาสุขภาพที่พนักงานแต่ละคนได้รับหรือเคยมีประสบการณ์มาก่อนจะเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแก้ไขปัญหา เช่น ปัญหาสุขภาพที่เกิดจากการใช้ท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสม การทำงานที่ไม่มีระยะพักงาน หรือการทำงานติดต่อกันที่นานเกินไป ในคนที่เคยประสบปัญหาการเจ็บปวดตามอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย กลุ่มที่มีปัญหาปวดเมื่อยเรื้อรัง เช่น กลุ่มอาชีพเครื่องปั้นดินเผาและกลุ่มผลิตภัณฑ์กระจูด ซึ่งพนักงานส่วนหนึ่งเคยได้รับการบำบัดรักษา จะเห็นความสำคัญและมีความกระตือรือร้นในการป้องกันและแก้ไขปัญหา โดยเฉพาะในด้านการส่งเสริมสุขภาพมากกว่าในผู้ที่ไม่เคยประสบปัญหาจากการทำงาน แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการประชุมกลุ่มอาชีพในการมองปัญหา การวิเคราะห์ปัญหาด้านความปลอดภัย ก็เป็นส่วนที่สำคัญที่ทำให้ทุกคนที่ประกอบอาชีพเดียวกันได้เกิดความตระหนักในอันตรายที่เกิดจากการทำงานได้ทราบปัญหาและความรุนแรงของปัญหาที่เกิดกับผู้อื่น ทำให้เกิดการยอมรับและเห็นด้วยในการปรับปรุงการทำงาน

7. อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาและการพัฒนารูปแบบการจัดการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานในอุตสาหกรรมครัวเรือน จำนวน 5 กลุ่มอาชีพ พบว่าพนักงานต้องทำงานด้วยอิริยาบถ และท่าทางที่ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ ทำให้เกิดอาการเจ็บปวดตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น ปวดหลัง ปวดเอว ปวดไหล่ ปวดมือ ปวดแขน ปวดมือ และในกลุ่มอาชีพ เช่น กลุ่มอาชีพเครื่องปั้นดินเผา และกลุ่มอาชีพผลิตภัณฑ์กระจูด พบว่าพนักงานมีอาการเมื่อยล้า อ่อนเพลียจากการทำงานที่ต่อเนื่องยาวนานกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของกลุ่มแรงงานทำไม้กวาดร่มสุข [7] พบว่าพนักงานส่วนใหญ่จะนั่งทำงานซึ่งคล้ายกับการวิจัยนี้ โดยพบว่าลักษณะท่าทางการทำงานที่เสี่ยงในระดับที่ต้องมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมทางการยศาสตร์การทำงานเพื่อป้องกันความผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อและสอดคล้องกับผลการศึกษาปัญหาสุขภาพและสภาพแวดลอมในการทำงานของช่างเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้า พบว่ามีปัญหาสุขภาพและสภาพแวดล้อมในการทำงานของช่างเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าซึ่งท่าทางในการทำงานส่วนใหญ่เป็นการนั่งและยืนทำงาน ผลการศึกษาพบว่าพนักงานส่วนใหญ่จะเกิดการเจ็บป่วยซึ่งเกิดจากอาการปวดกล้ามเนื้อแขน รองลงมาคือ อาการปวดกล้ามเนื้อขา ปวดหัวไหล่ และปวดตามหลัง ตามลำดับ [3] และการวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาความผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาชีพอุตสาหกรรมสิ่งทอจังหวัดขอนแก่น [8] พบว่าจะเกิดอาการปวดหลังส่วนล่าง ไหล่ และคอ ตามลำดับ และงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของแรงงานกลุ่มดัดเหล็กปลอกเสาระบบมือโยกซึ่งลักษณะงานต้องใช้มือในการทำงาน พบว่ามีความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อตามลำดับความรุนแรงดังนี้ ข้อมือ/มือ หลังส่วนล่าง และไหล่ [9].

จากการศึกษาสภาพแวดล้อมในการทำงานพบว่ากลุ่มอาชีพส่วนใหญ่มีสภาพความไม่เหมาะสมในการทำงานด้านแสงสว่าง เสียง ฝุ่น ความร้อน ที่มีผลต่อการทำงาน ซึ่งสอดคล้องกับการสำรวจตรวจวัดสภาพการทำงานของผู้ประกอบอาชีพอุตสาหกรรมในครัวเรือนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความไม่เหมาะสมด้านสภาพแวดล้อมหลายด้านซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงาน [2]

8. ข้อเสนอแนะ

1. การส่งเสริมสุขภาพในการทำงาน ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับการบริหารร่างกาย ที่ใช้ในการผ่อนคลายกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกาย

2. ความรู้ทางด้านการยศาสตร์เกี่ยวกับท่าทางการทำงานที่เหมาะสมในการทำงาน การออกแรงทำงาน และการยกของที่เหมาะสมและไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ การปรับระดับความสูงของหน้างานให้เหมาะสมกับการทำงาน รวมถึงความรู้เกี่ยวกับการกำหนดระยะพักที่เหมาะสมในช่วงการทำงาน เป็นต้น

3. การจัดสภาพแวดล้อมในการทำงานที่เหมาะสม ได้แก่ การระบายอากาศในบริเวณที่ทำงาน การจัดแสงสว่างที่เหมาะสมกับงาน อันตรายจากเสียงและการป้องกันอันตราย การป้องกันอันตรายจากสารเคมี เป็นต้น

โดยผู้วิจัยได้ทำคู่มือในการให้ความรู้ในเรื่องดังกล่าว เพื่อนำไปใช้ในการให้ความรู้แก่กลุ่มผู้ประกอบอาชีพอุตสาหกรรมครัวเรือน (ได้ทำคู่มือความรู้ 3 เรื่อง ประกอบด้วย 1) คู่มือการบริหารร่างกายเพื่อสุขภาพ 2) คู่มือการปรับสภาพงานและท่าทางในการทำงานที่เหมาะสม และ 3) คู่มือการปรับปรุงสถานที่ทำงานโดยใช้กิจกรรม 6 ส

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากงบประมาณประจำปี 2556 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และขอบคุณกลุ่มอาชีพอุตสาหกรรมครัวที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลและให้ความสะดวกในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] รายงานประจำปี 2556 สำนักงานประกันสังคม www.sso.go.th สำนักงานกองทุนเงินทดแทน กองทุนเงินทดแทน, 2556.

[2] กาญจนา นาถะพินธุ สมชาย นาถะพินธุ กิ่งแก้ว เกษโกวิท ภาณี ฤทธิ์มาก เฟื่องฟ้า กาญจโนภาส และจริยา อินทรรัศมี, การศึกษาและพัฒนารูปแบบการเรียนรู้และการแก้ปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงานอุตสาหกรรมในครัวเรือนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, วารสารวิจัย มข. 8(2). หน้า 32-40. 2546.

[3] พรรณี นันทะแสง และ กาญจนา นาถะพินธุ, ปัญหาสุขภาพและสภาพแวดลอมในการทำงานของช่างเชื่อมโลหะดวยไฟฟ้า อำเภอเมือง จังหวัดหนองบัวลำภู, วารสารวิจัยสาธารณสขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ปีที่ 5 ฉบับที่ 3. หน้า 21-30. 2555.

[4] ประภัสสร อักษรพันธ์, วีระพร ศุทธากรณ์ และ วราภรณ์ เลิศพูนวิไลกุล, ปัจจัยคุกคามสุขภาพจากการทำงานและภาวะสุขภาพตามความเสี่ยงของคนงานโรงงานยางแผ่นรมควัน, พยาบาลสาร, ปีที่ 39 ฉบับที่ 3. หน้า 26-36. 2555.

[5] วิทยา เมฆขำ, การพัฒนารูปแบบการจัดการความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดลอมในการทำงานงานศิลปหัตถกรรมโลหะที่ใช้ภูมิ ปัญญาท้องถิ่นกรุงรัตนโกสินทร์, วารสารศึกษาศาสตร์, ปีที่ 19 ฉบับที่ 2. หน้า 33-44. 2551.

[6] วิทยา เมฆขำ วิทยา อยู่สุข สิน พันธุ์พินิจ และละอองทิพย์ มัทธุรศ, ผลกระทบด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานงานศิลปหัตถกรรมโลหะที่ใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นกรุงรัตนโกสินทร์, วารสารพัฒนบริหารศาสตร์ การจัดการสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 48 ฉบับที่ 1. หน้า 137-156. 2551.

[7] สุนิษา ชายเกลี้ยง และ ธัญญาวัฒน์ หอมสมบัติ, การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์การทำงานโดยมาตรฐาน RULA ในกลุ่มแรงงานทำไม้กวาดร่มสุข, ศรีนครินทร์เวชสาร, 26(1). หน้า 35-40. 2554.

[8] เพชรรัตน์ แก้วดวงดี รุ่งทิพย์ พันธ์เมธากุล วัณทนา ศรีธราธิวัตร ยอดชาย บุญประกอบ สาวิตรี วันเพ็ญภาณุ ฤทธิมาก และ ยุพา ถาวรพิทักษ์, ความชุกและปัจจัยด้านท่าทางการทำงานที่สัมพันธ์กับอาการปวดหลังส่วนล่างในกลุ่มอาชีพอุตสาหกรรมสิ่งทอ (แหอวน) จังหวัดขอนแก่น, ศรีนครินทร์เวชสาร, 26(4). หน้า 317-324. 2554.

[9] วิวัฒน์ สังฆะบุตร และ สุนิสา ชายเกลี้ยง, ความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในแรงงานนอกระบบกลุ่มดัดเหล็กปลอกเสาระบบมือโยก: การศึกษานำร่อง, ศรีนครินทร์เวชสาร, 26(3). หน้า 225-232. 2554.

การสมดุลสายการผลิตของกระบวนการประกอบชุดพื้นที่นั่งของรถยนต์

A Line Balancing of the Car Seat Aria Assembly Process

ภีม พรประเสริฐ* คณิศร ภูมิคม บัญชา เกิดมณี
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190*
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี เขตหนองแขม จ.กรุงเทพมหานคร 10160

Peema Pornprasert* Kanitsorn Poonikom Bancha Keardmanee
Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Muang, Ubonratchathani 34000
Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190
Faculty of Engineering, Thonburi University, Nong Khaem Bangkok 10160
E-mail: peema2000@yahoo.com*

บทคัดย่อ

การสมดุลสายการผลิตของกระบวนการประกอบชุดพื้นที่นั่งของรถยนต์ ของบริษัทตัวอย่างเป็นการปฏิบัติงานซึ่งใช้คนกับโรบอทปฏิบัติงานร่วมกัน ปัจจุบันมีความต้องการของลูกค้าที่ 648 ชิ้นต่อวันแต่กำลังการผลิตสามารถผลิตได้สูงสุดเพียง 500 ชิ้นต่อวัน เพื่อทำการผลิตให้ได้ตามเป้าหมายที่ลูกค้าต้องการ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตในสายการผลิตโดยลดเวลาการผลิตที่ไม่จำเป็น เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานครั้งนี้ประกอบด้วย หลักการลดความสูญเปล่า 7 ประการ เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง แล้วเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดแนวทางการปรับปรุง จากนั้นจึงทำการลดรอบเวลา ด้วยหลักการศึกษาการทำงาน การจัดสมดุลสายการผลิต และเทคนิคการออกแบบอุปกรณ์จับยึด ผลการดำเนินการวิจัย พบว่าสามารถควบคุมรอบเวลาการผลิตไม่ให้เกินจังหวะความต้องการของลูกค้าที่ 74.07 วินาที ได้ทุกขั้นตอนการปฏิบัติงาน ลดรอบเวลาการผลิตรวมได้ร้อยละ 9.02 ลดชั่วโมงการปฏิบัติงานในช่วงการทำงานนอกเวลาได้ ผลิตภาพการผลิตเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 129.47 และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 669 ชิ้นต่อวัน

คำหลัก การเพิ่มผลผลิต สมดุลสายการผลิต การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

Abstract

A line balancing of the car seat aria assemblies process in the case study company that working by used operators and robots together. The current demands of order are 648 pieces/day but the capacities are 500 pieces/day. So for increase a capacity to achieve the customer's target this research is aim to increase the productivity in production line by reduce unnecessary production times. The research tools are the principle of 7 waste eliminating and 7 QC tools. Then collect data for problems analyzing and determine the improvement planning. Then we decrease a cycle times by apply the work study principle, production line balancing and jigs design. The research result found to the cycle time is controlled from customer deployment at 74.04 sec in every process. The total cycle times are reduced to 9.02%, toe over times are reduced, the productivity are increased to 129.47% and the capacity are increased to 669 pieces / day.

Keywords: productivity, line balance, Jigs and fixtures Design

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์ในระดับโลก ในประเทศที่มีกำลังการผลิตสูงสุด 2 ประเทศ คือ จีน และสหรัฐอเมริกา โดยพิจารณาจากช่วงไตรมาสแรกของปี 2556 พบว่า จีนสามารถผลิตรถยนต์นั่งคิดเป็นร้อยละ 25.38 ของปริมาณทั้งหมดและ สหรัฐอเมริกาสามารถผลิตรถยนต์นั่งคิดเป็นร้อยละ 10.54 ของปริมาณทั้งหมด ในด้านของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย ถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่ทางภาครัฐได้ให้การส่งเสริมสนับสนุน โดยมีเป้าหมายอย่างชัดเจน และต่อเนื่องที่จะให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการผลิตและส่งออกยานยนต์ ผลของการดำเนินงานในแนวทางนี้ ทำให้อุตสาหกรรมยานยนต์ไทยเติบโตขึ้นเป็นลำดับอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทย พบว่ามีบริษัทที่เป็นสมาชิกของสภาอุตสาหกรรมยานยนต์ทั้งสิ้น 43 บริษัท โดยบริษัทรถยนต์ในประเทศไทยที่มีการขายในตลาดของประเทศสูงสุด 5 อันดับ คือ โตโยต้า อีซูซุ ฮอนด้า ฟอร์ด และนิสสัน บริษัท ไทยซัมมิท อีสเทิร์นซีบอร์ด โอโตพาร์ท อินดัสตรี จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 64/46 หมู่ที่ 4 ต.ปลวกแดง อ.ปลวกแดง จ.ระยอง 21140 มีทุนจัดทะเบียน 500 ล้านบาท ปัจจุบันมีพนักงาน 1,800 คน เป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ให้กับค่ายรถ มาสด้า ฟอร์ด นิสสัน และเชฟโรเลต ซึ่งเป็นกลุ่มบริษัท Auto Alliance Thailand

โดยปัจจุบันยอดขายรถฟอร์ดในประเทศไทยทำสถิติใหม่ ซึ่งได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่องจากลูกค้าในประเทศไทย ด้วยยอดขายในเดือนมีนาคม 2557 อยู่ที่ 3,305 คัน เพิ่มขึ้น 28 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับเดือนเดียวกันของปีที่แล้ว ส่งผลให้ในเดือนที่ผ่านมา ฟอร์ดมียอดขายรวมประจำเดือนมีนาคม ในระดับสูงที่สุดเป็นประวัติการณ์ โดยรถยนต์นั่งขนาดเล็กยอดนิยม ฟอร์ดเฟียสต้า และรถกระบะที่สร้างนิยามใหม่ให้แก่ตลาดรถกระบะขนาด คอมแพ็ก ฟอร์ด เรนเจอร์ ใหม่ยังคงเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ส่งผลให้ฟอร์ดมียอดขายในระดับที่ดีเยี่ยมในปีนี้ ยอดขายที่แข็งแกร่งในเดือนมีนาคม ยังส่งผลให้ฟอร์ดทำสถิติยอดขายต่อไตรมาสในระดับสูงสุดเป็นประวัติการณ์ โดยช่วงเดือนมกราคม ถึง มีนาคม ฟอร์ดมียอดขายอยู่ที่ 9,961 คันเพิ่มขึ้น 48 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีที่แล้ว จึงทำให้ใบสั่งซื้อชิ้นส่วนทุกชิ้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้บริษัทผลิตชิ้นส่วนบางชิ้นไม่ทันตามความต้องการของลูกค้า ทำให้มีการเปิดทำงานล่วงเวลาโดยเฉพาะชิ้นส่วนพื้นนั่งของรถยนต์ ยี่ห้อ FORD รุ่น FORD RANGER NEW ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ชิ้นส่วนพื้นนั่งของรถยนต์

ปัจจุบันมีความต้องการลูกค้าอยู่ที่ 15,552 ชิ้นต่อเดือน ซึ่งต้องผลิตให้ได้วันละ 648 ชิ้น แต่กำลังการผลิตของบริษัทสามารถตอบสนองได้เพียง 500 ชิ้นต่อ 2 กะการทำงาน (16 ชั่วโมง) ผู้บริหารจึงต้องมการผลิตช่วงเวลาการทำงานล่วงเวลา (Over Time) อีก 4 ชั่วโมง ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าต้องใช้จำนวนชั่วโมงทำงานถึง 20 ชั่วโมงทำงาน จึงจะสามารถผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ให้ได้ตามความต้องการของลูกค้า

ตารางที่ 1 ข้อมูลยอดการผลิตสายการผลิตตัวอย่าง ปี พ.ศ.2557

Sep.	ม.ค.	ก.พ.	พ.ค.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
Plan/Day	15,552	15,552	15,552	15,552	15,552	15,552
Actual	15,648	15,720	15,672	15,600	15,648	15,624
Day/Date	24	24	24	24	24	24
(Cap/Day)	652	655	653	650	652	651
Hr./ Day	20	20	20	20	20	20
Man/Day	6	6	6	6	6	6

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัย จึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ได้ตามความต้องการของลูกค้าภายใน 2 กะการทำงาน จึงได้มีแนวคิดในการศึกษาเวลาการทำงาน การเคลื่อนไหวของพนักงาน (Motion Study) การเคลื่อนไหวของโรบอท (Robot) รอบเวลาการผลิต (Cycle Time) และปรับปรุงเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต จากนั้นจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing) โดยจะพยายามให้กระบวนการผลิตเกิดความสมดุลมากที่สุด เพื่อที่สามารถเพิ่มผลผลิตสร้างมาตรฐาน และประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานให้กับองค์กรได้

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing) ของกระบวนการประกอบชิ้นส่วนชุดพื้นนั่งของรถยนต์ทุกสถานีงานให้รอบเวลาการผลิต (Cycle Time) มีค่า

ใกล้เคียงหรือเท่ากับแต่ค่า Takt Time ที่ 74.07 วินาที สามารถเพิ่มผลผลิต (Productivity) ให้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้าที่ 648 ชิ้นต่อ 2 กะการทำงาน และจัดทำเอกสารการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐาน (Standard Operating Procedure: SOP) ให้กับพนักงานได้

1.2 ขอบเขตการศึกษางานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา และปรับปรุงกระบวนการประกอบชิ้นส่วนชุดพื้นที่นั่งของรถยนต์ เพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้ตามความต้องการของลูกค้าที่ 648 ชิ้นต่อวัน โดยพยายามลดรอบเวลาการทำงานของกระบวนการประกอบชิ้นส่วนชุดพื้นที่นั่งของรถยนต์ ให้ได้ตามเวลาในการทำงาน 2 กะ (16 ชั่วโมงต่อวัน) ด้วยเทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตโดยจะพยายามลดรอบเวลาของแต่ละสถานีงานในสายการผลิตตัวอย่าง ให้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับแต่ไม่เกินจังหวะความต้องการของลูกค้าที่ 74.07 วินาที โดยเลือกศึกษาเฉพาะกระบวนการประกอบชิ้นส่วนชุดพื้นนั่งของรถยนต์ยี่ห้อ FORD รุ่น FORD RANGER NEW ของบริษัท ตัวอย่าง เท่านั้น

1.3 สมมุติฐานงานวิจัย

หลังจากปรับปรุงวิธีการทำงานของกระบวนการประกอบชิ้นส่วนชุดพื้นนั่งของรถยนต์ยี่ห้อ FORD รุ่น FORD RANGER NEW ด้วยเทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตแล้ว สามารถเพิ่มผลผลิตให้ได้ตามความต้องการของลูกค้าที่ 648 ชิ้นต่อ 2 กะการทำงาน และสามารถนำไปกำหนดให้เป็นเอกสารการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐานให้กับพนักงานได้

2. วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีดังตารางที่ 2 เพื่อการเพิ่มผลผลิตตามความเหมาะสม [1] โดยใช้หลักการวัดผลงานเป็นตัวชี้วัด [2] และใช้แผนผังอิชิกาว่า (Ishikawa Diagram) ซึ่งพัฒนาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1943 [3] ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มผลผลิตพบว่าองค์กรที่จะสามารถอยู่รอดได้ในโลกแห่งการแข่งขันทางธุรกิจ คือ องค์กรที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพของการทำงานอย่างต่อเนื่อง การออกแบบและปรับปรุงอุปกรณ์ในการทำงานเป็นเทคนิคที่จำเป็นอย่างหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นได้ อีกทั้งยังทำให้สินค้ามีคุณภาพ และประหยัด ซึ่งจะทำให้เป็นที่แน่ใจว่าสินค้าที่ผลิตออกไปจะได้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลตามความต้องการของลูกค้า [4]

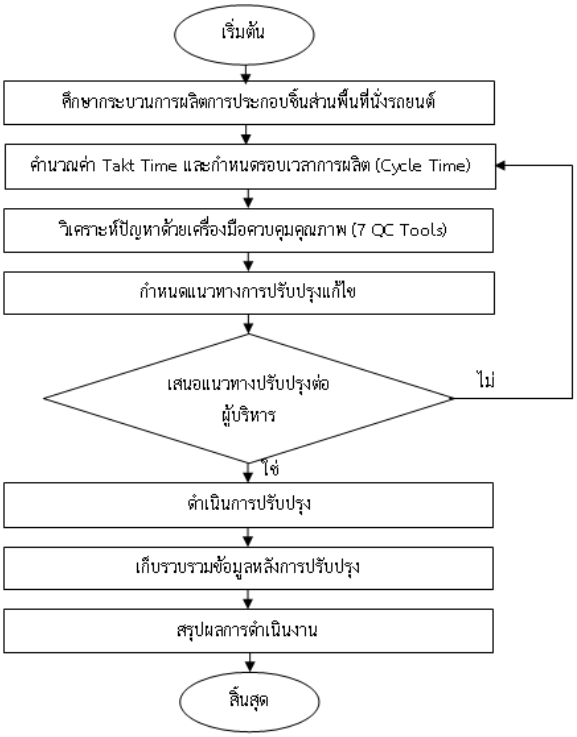
นอกจากนี้การจัดสมดุลสายการผลิต เพื่อให้เวลาในแต่ละสถานีสัมพันธ์กันหรือใกล้เคียงกัน จะทำให้พนักงานแต่ละคนทำงานอย่างเหมาะสมภายใต้เวลาที่กำหนดไว้ โดยคำนึงถึง ลำดับขั้นตอนการทำงาน ความยากง่ายของงานและที่สำคัญที่สุดคือ เวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดต้องใกล้เคียงกับเวลาที่กำหนดไว้ [5] โดยมีวิศวกรอุตสาหการหลายท่านได้นำวิธีการการวัดอัตราผลิตภาพ การศึกษาการทำงาน การออกแบบอุปกรณ์จับยึดมาทำให้กระบวนการผลิตเกิดความสมดุลมากที่สุด เช่น กรณีศึกษาในอุตสาหกรรมผลิตหม้อหุงข้าว [6] ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงเพื่อลดจำนวนพนักงาน และสถานีงานของ และอุตสาหกรรมล้างขวด[7] ใช้วิธีการศึกษาการทำงานสามารถเพิ่มอัตราผลิตภาพของผลิตภัณฑ์ได้ถึง 36% นอกจากนี้ S. Gangopadhyay [8] ยังได้ปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตแกนทรายโดยใช้แผนภูมิกระบวนการผลิตวิเคราะห์กระบวนการและใช้เทคนิค ECRS ปรับปรุง พบว่า อัตราผลิตภาพหลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้น 9%

ตารางที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย	ทฤษฎีที่ใช้
ศึกษากระบวนการผลิต	Method Study
ศึกษาเวลาการทำงาน	Work Measurement
วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา	QC tools
กำหนดแนวทางการแก้ไข	Simulation
ดำเนินการปรับปรุง	Jig Design/Line Balancing
ตรวจสอบผลการปรับปรุง	Check Sheet/Graph
จัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน	Work Instruction Sheet

3. วิธีการการดำเนินงานวิจัย

จากการสำรวจปัญหาที่เกิดขึ้นภายในโรงงานตัวอย่าง และการศึกษาทฤษฎีหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้นในส่วนนี้จะเป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการนำทฤษฎีมาใช้ในการแก้ไขปัญหาเพื่อที่จะลดเวลาในสายการผลิตให้ได้ตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนผังขั้นตอนและระเบียบวิธีในการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

สายการผลิตชิ้นส่วนพื้นนั่งของรถยนต์กรณีศึกษาเป็นชิ้นส่วนยานยนต์ของรถยนต์ยี่ห้อ FORD รุ่น FORD RANGER NEW ซึ่งทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนรับแรงในการนั่งของคนและรับแรงในการวางสิ่งของภายในรถ โดยมีข้อมูลในการปฏิบัติงานของสายการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลในการปฏิบัติงานของสายการผลิตตัวอย่าง

รายการ	กะเช้า	OTเช้า	กะค่ำ	OT ค่ำ	รวม
ชั่วโมงทำงาน	10	2	10	2	24
พนักงาน	3	3	3	3	12

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการปฏิบัติงานในสายการผลิตจะใช้เวลาในการปฏิบัติงานในแต่ละกะจำนวน 10 ชั่วโมง โดยเป็นเวลาทำงานปกติ กะละ 8 ชั่วโมง และการทำงานล่วงเวลากะละ 2 ชั่วโมง ซึ่งมีพนักงานปฏิบัติงานในสายการผลิตกะละ 3 คนโดยมีขั้นตอนในการปฏิบัติงานดังรายละเอียดต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน Station1 จะใช้พนักงานในการยกชิ้นงานใส่กับจิ๊กประกอบชิ้นส่วน (Jig Assembly) ก่อนที่จะใช้โรบอทเชื่อมจุด โดยชิ้นงานจะมีทั้งหมดจำนวน 3 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 3 ชิ้นส่วนพื้นนั่งของรถยนต์ Station 1

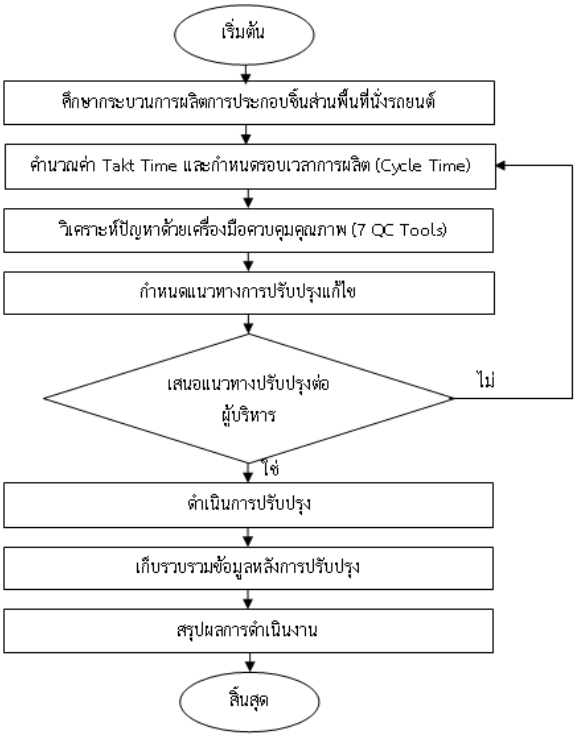
ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน Station 2 เมื่อโรบอทตัวที่ 1 ทำการยิง (Spot) เสร็จจากนั้นจะเป็นขั้นตอนของการยิงของโรบอทตัวที่ 2 โดยเริ่มจากโรบอทตัวที่ 2 เข้าไปจับชิ้นงานจากรางใส่ชิ้นงาน โดยใช้อุปกรณ์หยิบจับ (Grippers) เป็นตัวจับแล้วทำการย้ายไปจับชิ้นงานจากจิ๊กตัวที่ 2 ไปวางไว้ที่จิ๊กตัวที่ 3 ต่อจากนั้นโรบอทตัวที่ 2 จะทำการใส่ชิ้นงานด้านซ้าย และด้านขวาแล้วทำการเชื่อมจุดชิ้นงาน (Spot) ที่จิ๊กตัวที่ 3 จะได้ชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4 แล้วชิ้นงานจะไหลลงไปตามรางเลื่อนเพื่อเขากระบวนการอื่นต่อไป

รูปที่ 4 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน Station 2

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน Station 3 เมื่อชิ้นงานไหลลงจากรางเลื่อน พนักงานจะยกชิ้นงานจากรางเลื่อนนำไปวางที่จิ๊กที่ 4 แล้วหยิบชิ้นส่วนอีก 3 ชิ้น ใส่เข้าไปกับชิ้นงานบนจิ๊กจากนั้นจึงกดสวิตซ์ล๊อคชิ้นงาน และกดสวิตซ์อีกครั้งเพื่อเรียกโรบอทให้มาทำงานโดยจะใช้โรบอทตัวที่ 3 กับโรบอทตัวที่ 4 ทำการเชื่อมจุด (Spot) ชิ้นงานพร้อมกัน จะได้ชิ้นงานดังรูปที่ 5 แล้วเคลื่อนย้ายไปสู่กระบวนการต่อไป

รูปที่ 5 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน Station 3

ขั้นตอนการนำทฤษฎีมาใช้ในการแก้ไขปัญหาเพื่อที่จะลดเวลาในสายการผลิตให้ได้ตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนผังขั้นตอนและระเบียบวิธีในการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

สายการผลิตชิ้นส่วนพื้นนั่งของรถยนต์กรณีศึกษาเป็นชิ้นส่วนยานยนต์ของรถยนต์ยี่ห้อ FORD รุ่น FORD RANGER NEW ซึ่งทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนรับแรงในการนั่งของคนและรับแรงในการวางสิ่งของภายในรถ โดยมีข้อมูลในการปฏิบัติงานของสายการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลในการปฏิบัติงานของสายการผลิตตัวอย่าง

รายการ	กะเช้า	OTเช้า	กะค่ำ	OT ค่ำ	รวม
ชั่วโมงทำงาน	10	2	10	2	24
พนักงาน	3	3	3	3	12

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการปฏิบัติงานในสายการผลิตจะใช้เวลาในการปฏิบัติงานในแต่ละกะจำนวน 10 ชั่วโมง โดยเป็นเวลาทำงานปกติ กะละ 8 ชั่วโมง และการทำงานล่วงเวลากะละ 2 ชั่วโมง ซึ่งมีพนักงานปฏิบัติงานในสายการผลิตกะละ 3 คนโดยมีขั้นตอนในการปฏิบัติงานดังรายละเอียดต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน Station1 จะใช้พนักงานในการยกชิ้นงานใส่กับจิ๊กประกอบชิ้นส่วน (Jig Assembly) ก่อนที่จะใช้โรบอทเชื่อมจุด โดยชิ้นงานจะมีทั้งหมดจำนวน 3 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 3 ชิ้นส่วนพื้นนั่งของรถยนต์ Station 1

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน Station 2 เมื่อโรบอทตัวที่ 1 ทำการยิง (Spot) เสร็จจากนั้นจะเป็นขั้นตอนของการยิงของโรบอทตัวที่ 2 โดยเริ่มจากโรบอทตัวที่ 2 เข้าไปจับชิ้นงานจากรางใส่ชิ้นงาน โดยใช้อุปกรณ์หยิบจับ (Grippers) เป็นตัวจับแล้วทำการย้ายไปจับชิ้นงานจากจิ๊กตัวที่ 2 ไปวางไว้ที่จิ๊กตัวที่ 3 ต่อจากนั้นโรบอทตัวที่ 2 จะทำการใส่ชิ้นงานด้านซ้าย และด้านขวาแล้วทำการเชื่อมจุดชิ้นงาน (Spot) ที่จิ๊กตัวที่ 3 จะได้ชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4 แล้วชิ้นงานจะไหลลงไปตามรางเลื่อนเพื่อเขากระบวนการอื่นต่อไป

รูปที่ 4 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน Station 2

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน Station 3 เมื่อชิ้นงานไหลลงจากรางเลื่อน พนักงานจะยกชิ้นงานจากรางเลื่อนนำไปวางที่จิ๊กที่ 4 แล้วหยิบชิ้นส่วนอีก 3 ชิ้น ใส่เข้าไปกับชิ้นงานบนจิ๊กจากนั้นจึงกดสวิตซ์ล๊อคชิ้นงาน และกดสวิตซ์อีกครั้งเพื่อเรียกโรบอทให้มาทำงานโดยจะใช้โรบอทตัวที่ 3 กับโรบอทตัวที่ 4 ทำการเชื่อมจุด (Spot) ชิ้นงานพร้อมกัน จะได้ชิ้นงานดังรูปที่ 5 แล้วเคลื่อนย้ายไปสู่กระบวนการต่อไป

รูปที่ 5 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน Station 3

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน Station 4 เมื่อชิ้นงานถูกวางลงในจิ๊กที่ 5 โรบอทเชื่อมตัวที่ 5 จะทำการเชื่อมตรงจุดเชื่อมทั้งด้านซ้ายและด้านขวา หลังจากเชื่อมเสร็จชิ้นงานจะไหลลงตามรางเลื่อนเพื่อเข้า

ทำการเช็คคุณภาพผลิตภัณฑ์ (Quality) ก่อนที่จะทำการส่งเข้าที่จัดเก็บ (Warehouse) เพื่อจะส่งขายไปให้กับลูกค้าต่อไป ดังรูปที่ 6

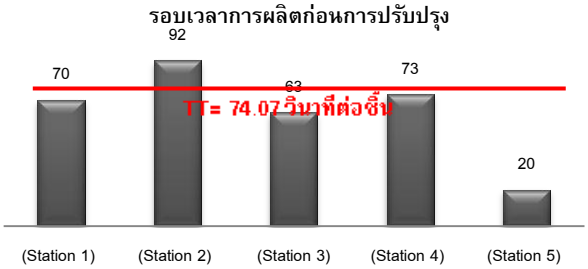
รูปที่ 6 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน Station 4

จากขั้นตอนการปฏิบัติงานทั้งหมด 4 สถานีงาน มีลักษณะการวางผังในการผลิตดังแสดงในรูปที่ 8 จากนั้นผู้วิจัยได้นำมาทำการสรุปรอบเวลาเวลาในแต่ละสถานีงาน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รอบเวลาของแต่ละขั้นตอนการผลิต

กระบวนการผลิต	เวลา (วินาที)
โรบอทตัวที่ 1	70
โรบอทตัวที่ 2	92
โรบอทตัวที่ 3	62
โรบอทตัวที่ 4	73
โรบอทตัวที่ 5	20
Total Cycle Time	317

คำนวณค่า Takt Time และกำหนดรอบเวลาการผลิต (Cycle Time)จังหวะความต้องการของลูกค้า (Takt Time) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบกับความเร็วในการขาย (Sale Speed) ที่จะถูกกำหนดให้สามารถผลิต ชิ้นงานได้ 1 ชิ้น โดยค่า Takt Time ในบริษัทตัวอย่างได้กำหนดเวลาทำงานปกติไว้ที่ 16 ชั่วโมงต่อวัน เวลาพักครั้งละ 10 นาที 2 ครั้งต่อกะ (เช้า-กลางคืน) เบิกอุปกรณ์และเตรียมเครื่องจักรก่อนการปฏิบัติงาน 30 นาทีต่อกะ ส่งคืนอุปกรณ์และบำรุงรักษาเครื่องจักรหลังเลิกงาน 30 นาทีต่อกะ ความต้องการชิ้นงานจำนวน 648 ชิ้นต่อวัน ดังนั้น Takt Time สามารถคำนวณได้ดังนี้ Takt Time = [(16x60) – (40+60+60)] x 60] / 648 = 74.07 วินาที/โรบอท 1 ตัว จากการคำนวณพนักงานจะต้องใช้เวลาในการทำงาน 1 ชิ้นให้เสร็จภายในเวลา 74.07 วินาทีจากนั้นค่า Takt Time จะถูกนำมากำหนดเป็นรอบเวลาการผลิตเป้าหมาย (Target Cycle Time) เพื่อใช้เปรียบเทียบรอบเวลาการทำงาน (Cycle Time) ของการทำงานของโรบอท ซึ่งสามรถแสดงได้ดังรูปที่ 7

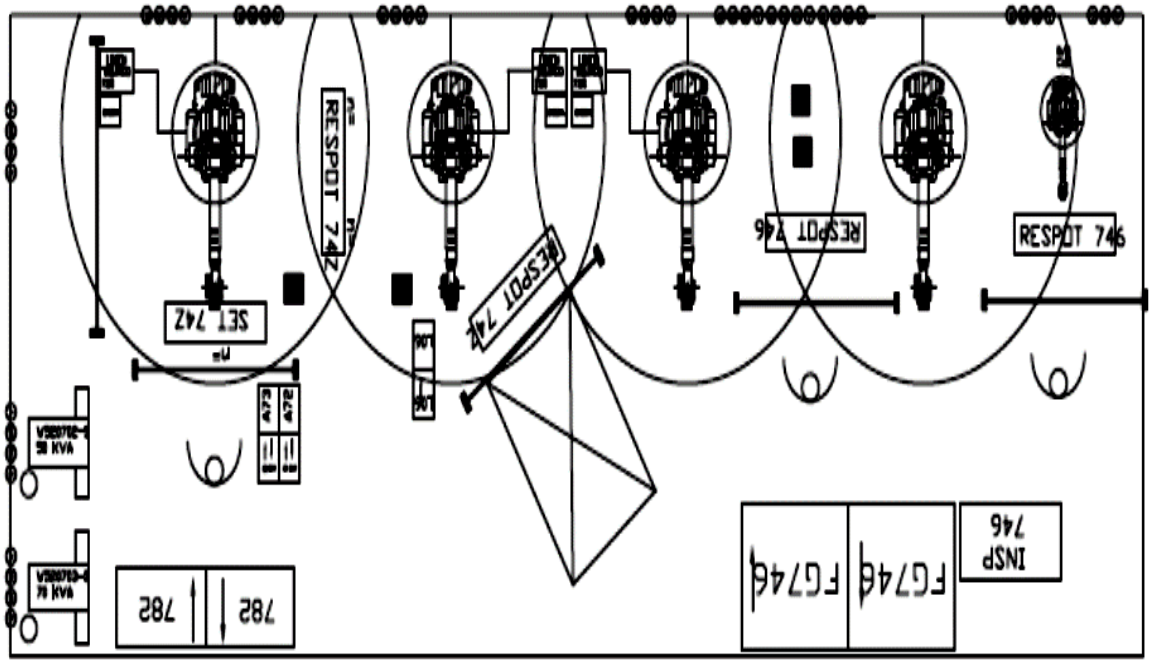


รูปที่ 7 รอบเวลาการผลิตกับค่า Takt Time ก่อนการปรับปรุง

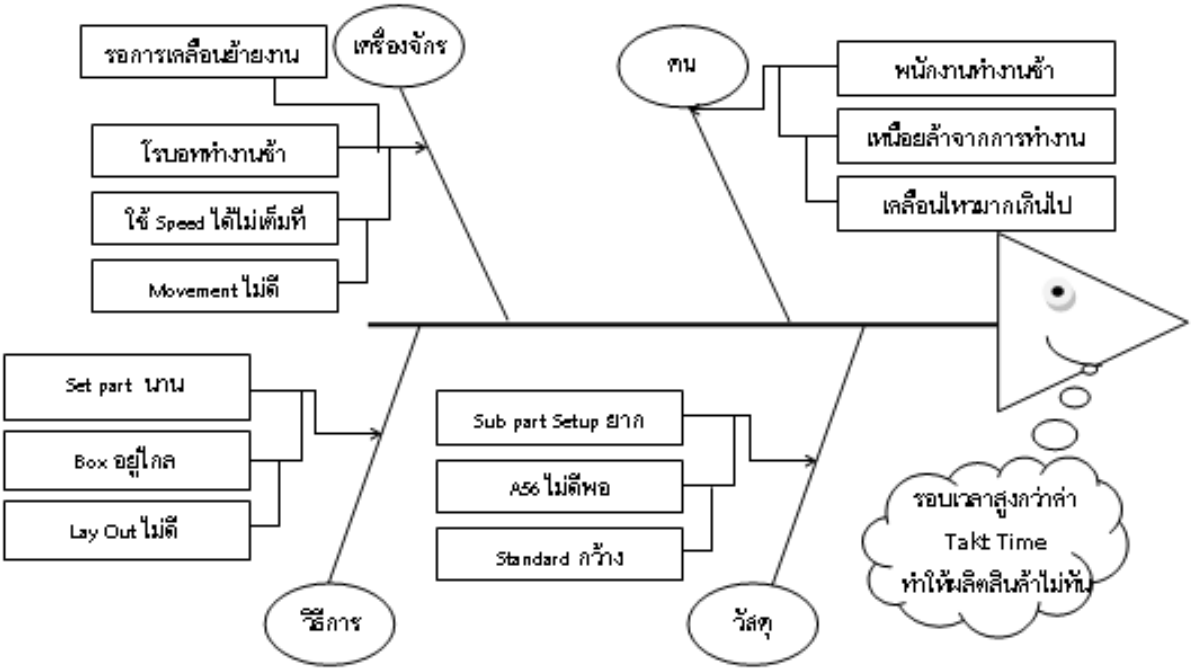
จากรูปที่ 7 พบว่าสถานีงานที่ 2 มีรอบเวลาการผลิตเกินค่า Takt Time เป้าหมายอยู่ 17.93 วินาที และสถานีงานดังกล่าวยังเป็นจุดงานคอขวดซึ่งเป็นจุดที่กำหนดกำลังการผลิตต่อวันของสายการผลิตนี้ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้ กำลังการผลิต = [(16 x 60) – (40+60+60)] x 60] / 92 = 521.73 ชิ้นต่อวัน

จากการคำนวณกำลังการผลิตพบว่าในการทำงาน 2 กะการทำงาน สามารถผลิตชิ้นงานได้ 521.73 ชิ้นต่อวัน ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าที่ 648 ชิ้นต่อวัน จึงเป็นสาเหตุให้ต้องมีการเปิดทำงานล่วงเวลาอีกกะละ 2 ชั่วโมงต่อวัน โดยปัจจุบันสายการการผลิตตัวอย่างมีค่าประสิทธิภาพก่อนการปรับปรุง สามารถคำนวณได้ดังนี้ ประสิทธิภาพสายการผลิต = [317 x 100]/[5 x 92] = 68.91%

จากนั้นผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ปัญหาด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพ (7 QC Tools) จากสภาพของปัญหาในสายการผลิตตัวอย่างผู้วิจัยได้นำมาทำการวิเคราะห์ความสูญเปล่าโดยเลือกใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผลซึ่งเป็นเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) มาช่วยในการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 9

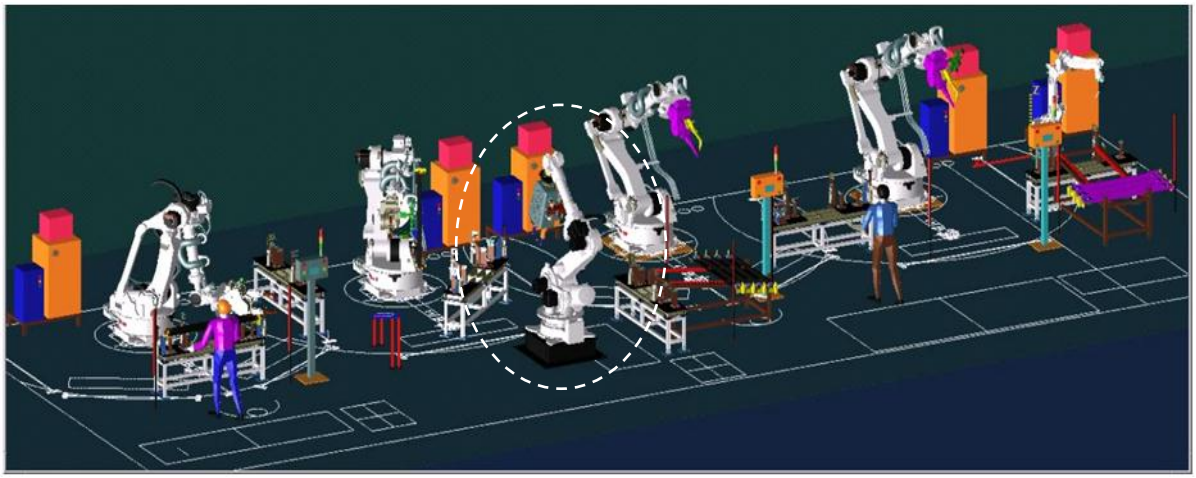


รูปที่ 8 ผังกระบวนการประกอบชิ้นส่วนพื้นนั่งของรถยนต์



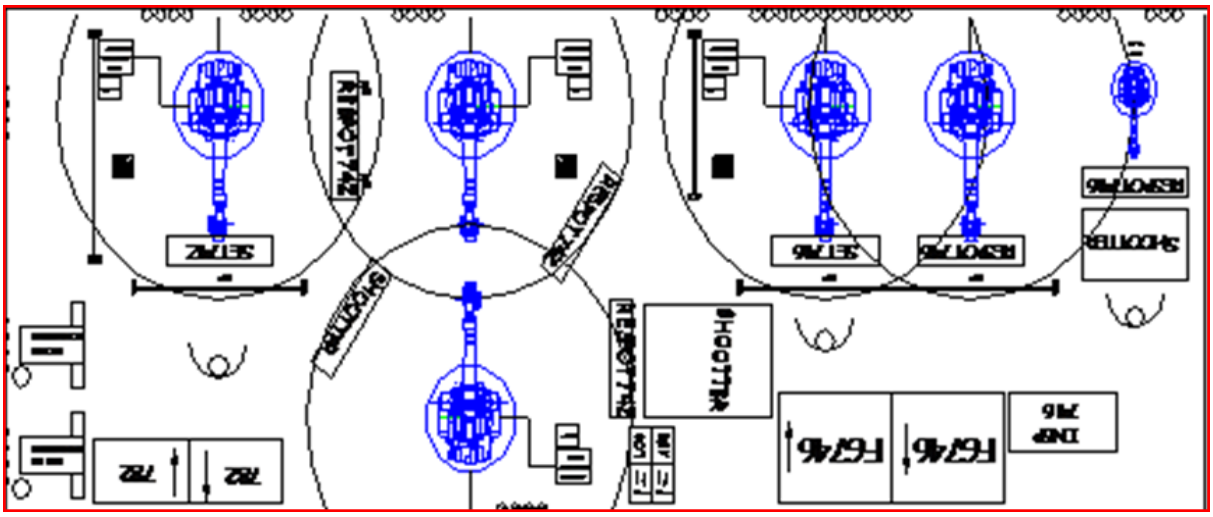
รูปที่ 9 ผังแสดงสาเหตุและผลวิเคราะห์ปัญหาของสายการผลิตตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยผังแสดงสาเหตุและผลในรูปที่ 9 พบว่า ปัญหาหลักที่ทำให้ผลิตสินค้าไม่ทันตามความต้องการของลูกค้าเกิดจากปัญหาด้านกระบวนการผลิต (Processing) ซึ่งมีการใช้พื้นที่การวาง (Plant Lay out) โรบอทไม่ค่อยดีและการทำงานของโรบอท Movement อีกทั้งโรบอทในสายการผลิตไม่เพียงพอ ทำให้ใช้ Speed ได้ไม่เต็มที่เท่าทีควร และการใช้เครื่องมือที่ไม่เหมาะสม (Improper Tools) ขาดการปรับปรุงพัฒนา ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลดังที่กล่าวมา ๆทำการกำหนดแนวทางการแก้ไขโดยในสถานีงานที่ 2 ซึ่งมีรอบเวลาการผลิตสูงเกินค่า Takt Time ผู้วิจัยได้เสนอให้เพิ่มโรบอทช่วยทำงานอีกหนึ่งตัวโดยให้เพิ่มจิ๊กในการรองรับชิ้นงานด้วยเพื่อให้รอบเวลาของโรบอทตัวหลักทำงานน้อยลง เนื่องจากการที่จะเร่งความเร็วของโรบอทไม่สามารถทำได้เพราะอาจมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แบบจำลองการกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหาของสายการผลิตตัวอย่าง

จากรูปที่ 10 ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์แนวทางในการแก้ไขสายการผลิตตัวอย่างโดยมีการเพิ่มแขนกลเครื่องเชื่อมความต้านทาน และอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพิ่มอีกอย่างละ 1 ตัว พร้อมทั้งมีการปรับปรุงจิ๊กประกอบ (Jig Assembly) ใหม่เพื่อให้สามารถทำงานกับวิธีการทำงานแบบใหม่ จากนั้นจึงนำอุปกรณ์ไปทำการติดตั้งในพื้นที่ ตามแบบที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 11



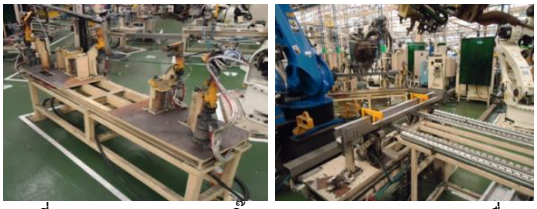
รูปที่ 11 การออกแบบพื้นที่การจัดวางสายการผลิตหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 11 ลักษณะการออกแบบพื้นที่การจัดวางสายการผลิตหลังการปรับปรุงโดยผู้ออกแบบได้นำชุดอุปกรณ์แขนกล เครื่องเชื่อมความต้านทาน จัดวางในตำแหน่งหันหน้าเข้าชนกันกับแขนกลของสถานีงานที่ 2 เพื่อช่วยลดรอบเวลาในการเชื่อมความต้านทานของอุปกรณ์เชื่อมหลัก จากนั้นจึงนำไปติดตั้ง ซึ่งสามารถอธิบายตามขั้นได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หลังจากนำอุปกรณ์หลักวางในตำแหน่งตามการออกแบบแล้วผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งหัวเชื่อมความต้านทานเข้ากับแขนกลและติดตั้งอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 12

รูป 12 การติดตั้งอุปกรณ์เชื่อมความต้านทานและอุปกรณ์จับยึด

ขั้นตอนที่ 2 จัดวางตำแหน่งจิ๊กประกอบ (Jig Assembly) ตัวใหม่ที่จัดทำขึ้นในพื้นที่ Lay out และทำการติดตั้งรางเลื่อนเพื่อให้ง่ายต่อการขนย้ายชิ้นงานแทนการใช้พนักงานเดินส่งงานให้แขนกล ดังแสดงในรูปที่ 13

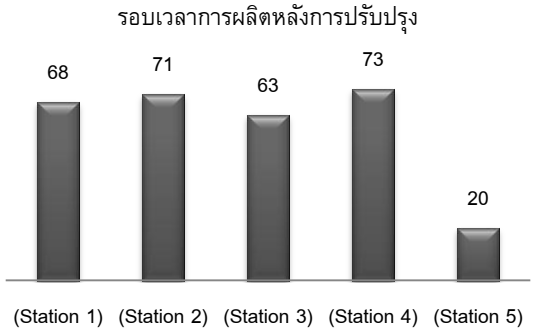


รูปที่ 13 การวางตำแหน่งจิ๊กประกอบ และตำแหน่งรางเลื่อน

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากทำการประกอบ และติดตั้งเสร็จคณะผู้จัดทำได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์โปรแกรม (Re Teaching Robot) ใหม่ จากนั้นทำการทดสอบการทำงานของแขนกลตัวจับชิ้นงาน (Gripper) จิ๊กประกอบ (Jig Assembly) และรางเลื่อนตัวใหม่

4. ผลการดำเนินงานงานวิจัย

เมื่อทำการทดสอบการทำงานของโรบอทที่ทำการเพิ่มเข้าไปในสายกระบวนการผลิตและทำการปรับปรุงเปลี่ยนวิธีการทำงานของโรบอทเข้ากับพื้นที่สายการผลิตใหม่แล้วทำการจับเวลาการทำงานในสายการผลิตหลังการปรับปรุง สามารถแสดงได้ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 รอบเวลาการผลิต หลังการปรับปรุง

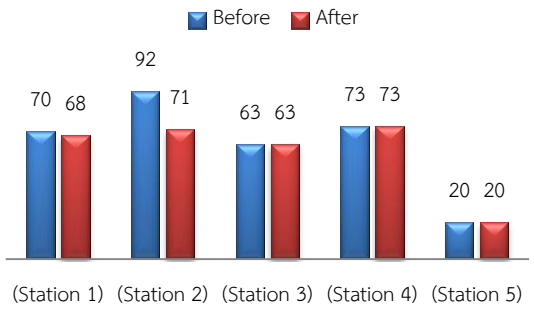
จากรูปที่ 14 แสดงให้เห็นว่าหลังการปรับปรุงสายการผลิตโดยเพิ่มแขนกล อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เครื่องเชื่อม ปรับปรุงจิ๊กวางชิ้นงาน และลางเลื่อน สามารถลดรอบเวลาการผลิตให้มีค่าต่ำกว่า Takt Time ได้ทุกสถานีงาน ทำให้ประสิทธิภาพสายการผลิต (% LINE BALANCING) เพิ่มขึ้นซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\%\ \text{Line Balancing} = \frac{295 \times 100}{5 \times 73} = 80.82\%$$

เปรียบเทียบผล ก่อนและหลังการปรับปรุง

จากผลการดำเนินงานผู้วิจัยได้นำมาทำการเปรียบเทียบผล ก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. รอบเวลาการผลิตกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพื้นที่นั่งรถยนต์ ของบริษัทตัวอย่างเปรียบเทียบ ก่อนและหลังการปรับปรุง แสดงได้ดังรูปที่ 15

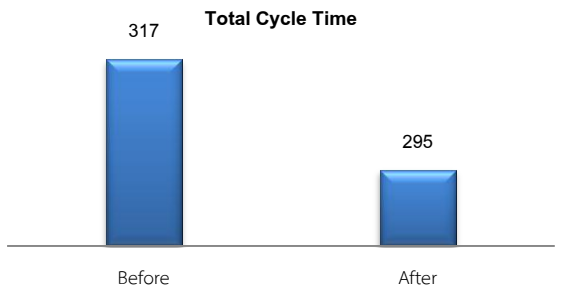


รูปที่ 15 เปรียบเทียบรอบเวลาการผลิต ก่อน-หลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 15 จะเห็นว่ารอบเวลาการผลิตในสถานีงานที่ 2 ซึ่งเป็นสถานีงานที่เป็นจุดคอขวดหลังจากมีการ

ปรับปรุงวิธีการทำงานด้วยหลักการจัดสมดุลสายการผลิต สามารถรอบเวลาการผลิตได้จาก 92 วินาที เหลือ 71 วินาที ลดลง 21 วินาที คิดเป็น 22.83%

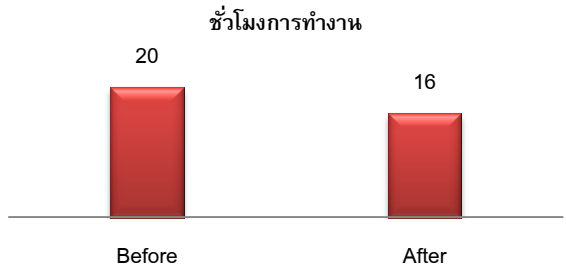
2. รอบเวลาการผลิตรวมกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพื้นที่นั่งรถยนต์ ของบริษัทตัวอย่างเปรียบเทียบ ก่อนและหลังการปรับปรุง แสดงได้ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 เปรียบเทียบรอบเวลาการผลิตรวม ก่อน-หลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 16 หลังการปรับปรุงรอบเวลาการผลิตรวม ลดลงจาก 317 วินาทีต่อชิ้น เหลือ 295 วินาทีต่อชิ้น ลดลง 22 วินาทีต่อชิ้น คิดร้อยละ 6.94

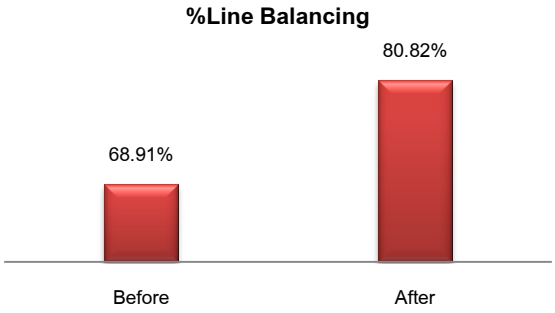
3. ชั่วโมงทำงานในสายการผลิตตัวอย่าง จากการศึกษากระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง สามารถแสดงเป็นข้อมูลได้ ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 เปรียบเทียบชั่วโมงทำงาน ก่อน-หลังการปรับปรุง

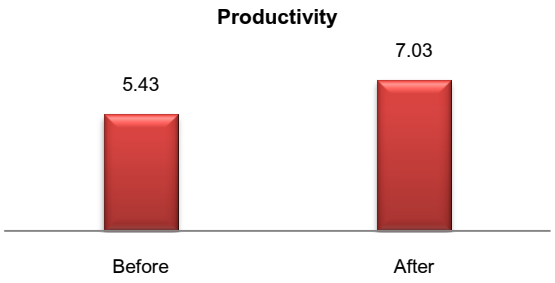
จากรูปที่ 17 หลังการปรับปรุงชั่วโมงทำงาน ลดลงจาก 20 ชั่วโมงต่อวัน เหลือ 16 ชั่วโมงต่อวัน ลดลง 4 ชั่วโมงต่อวัน คิดร้อยละ 20

4. ประสิทธิภาพสายการผลิตกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพื้นที่นั่งรถยนต์ ของบริษัทตัวอย่างเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง แสดงได้ดังรูปที่ 18 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตที่เพิ่มขึ้นจาก 68.91% เป็น 80.82% คิดเป็น 11.91%



รูปที่ 18 ประสิทธิภาพสายการผลิต ก่อน-หลังการปรับปรุง

5. อัตราผลิตภาพกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพื้นที่นั่งรถยนต์ ของบริษัทตัวอย่างเปรียบเทียบ ก่อนและหลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้นจาก 5.43 เป็น 7.03 เพิ่มขึ้น 1.6 คิดเป็น 29.46% สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 19



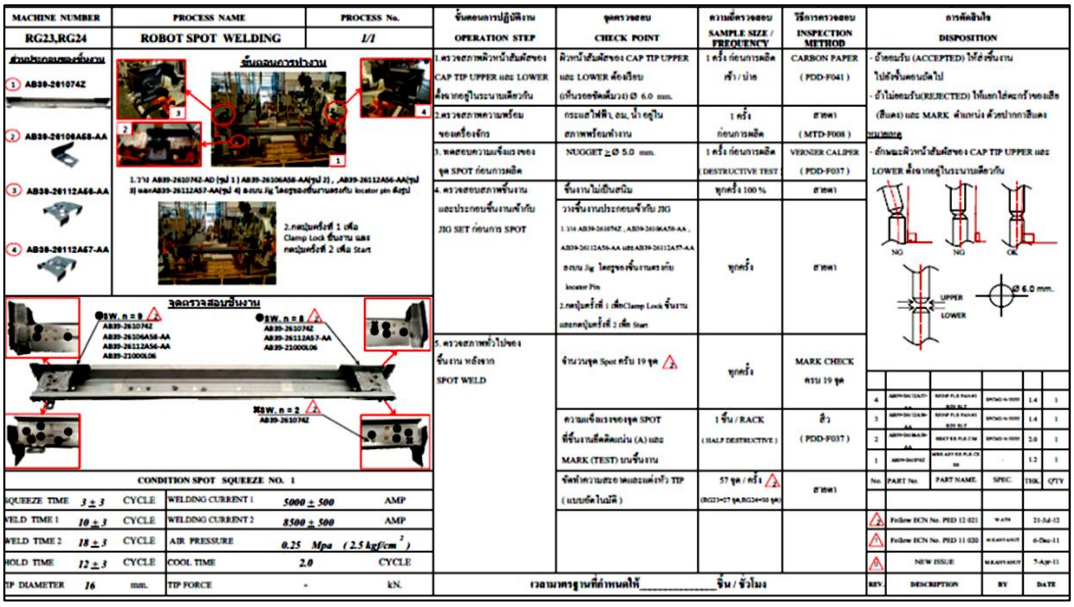
รูปที่ 19 เปรียบเทียบอัตราผลิตภาพ ก่อน-หลังการปรับปรุง

6. สามารถกำหนดให้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานให้กับพนักงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 20

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผล

จากการปรับปรุงการทำงานของพนักงานและการออกแบบอุปกรณ์จับยึด สามารถลดรอบเวลาได้ทุกขั้นตอนรวมได้ 232 วินาที คิดเป็นร้อยละ 9.02 ลดชั่วโมงการปฏิบัติงานนอกเวลา ผลิตภาพเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 129.47 และกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 669 ชิ้นต่อวัน คล้ายกับงานวิจัยของ [8] ที่ปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตแกนทรายในประเทศอินเดียซึ่งใช้แรงงานเป็นหลัก โดยการวิเคราะห์การทำงานจากแผนภูมิกระบวนการผลิตและทำการปรับปรุง โดยอาศัยเทคนิค ECRS พบว่าระยะทางการเคลื่อนที่ลดลงเหลือ 725 เซนติเมตร และเวลาการทำงานลดลงเหลือ 260 วินาที ต่อรอบเวลาการทำงาน อัตราผลิตภาพหลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้น 9%



รูปที่ 20 เอกสารการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐาน

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยนี้พบว่ามีหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มผลผลิตในโรงงานตัวอย่าง เช่น ตัวพนักงานเองคิดว่าการปรับวิธีการทำงานเป็นการเพิ่มภาระให้กับตัวพนักงานเองทำให้เกิดความยุ่งยากในการทำงาน เพราะต้องมีการทำงานตามลำดับขั้นตอนที่ทำการปรับปรุง ทำให้เวลาว่างลดลง การแก้ไข คือ จัดการอบรมชี้แจงในเรื่องของวัตถุประสงค์ที่ทำการปรับปรุงให้พนักงานรับทราบผลที่ได้จากการปรับปรุง

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในครั้งต่อไป

ในการศึกษาครั้งต่อไป หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในสายการผลิต ควรให้ความสำคัญกับการบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม (TPM) เนื่องจากในโรงงานส่วนมากจะใช้โรบอทในการทำงานในสายการผลิตมากกว่าการทำงานโดยใช้คน ดังนั้นวิธีการเปลี่ยนแปลงการทำงานของโรบอทในสายการผลิตอื่นๆ ก็จะต้องนำมาทำการศึกษาต่อไป เพื่อหาทางลดเวลาการทำงานให้น้อยลงและให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นกว่าเดิม โดยจะต้องส่งผลิตภัณฑ์ให้ทันตามความต้องการของลูกค้า

เอกสารอ้างอิง

[1] วันชัย ริจิรวนิช. 2545. “การศึกษาการทำงานหลักการและกรณีศึกษา.” กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] อิสระ ธีระวัฒน์สกุล, 2542, การศึกษาความเคลื่อนไหว และเวลา (MOTION AND TIME STUDY), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[3] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. เครื่องควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). สืบค้นจาก (ออนไลน์) http://youth.ftpi.or.th, [เข้าถึง19 มิถุนายน 2557]

[4] วัชระ มีทอง. 2545. “การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์.” พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพฯ : ส.ส สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย–ญี่ปุ่น).

[5] วิจิตร ตัณฑสุทธิ์ และคณะ. 2539. “การศึกษาการทำงาน.” โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] สุพัฒตรา เกษราพงศ์, 2552. การเพิ่มอัตราการผลิตในสายการผลิตหม้อหุงข้าวโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการปรับปรุงวิธีการทำงานและจัดสมดุลสายการผลิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยศรีประทุม.

[7] พิทธพนธ์ พิทักษ์, 2552. การศึกษากระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษา อุตสาหกรรมล้างขวด, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[8] S. Gangopadhyay, I. Das, and G. Ghoshal. 2006. Work organization in sand core manufacturing for health and productivity, International Journal of Industrial Ergonomics.

การปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานเพื่อเพิ่มผลผลิตชิ้นส่วนคานกันกระแทก

Improvement Procedure to Increase Productivity Strn Asy Parts

ยุทธณรงค์ จงจันทร์* คณิศร ภูมิคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี เขตหนองแขม จ.กรุงเทพมหานคร 10160*
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
E-mail: yunarong.die@gmail.com*

Yuthanarong Jongjun* Kanitsorn Poonikom
Faculty of Engineering, Thonburi University, Nong Khaem Bangkok 101 60
Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190
E-mail: yunarong.die@gmail.com*

บทคัดย่อ

กระบวนการเชื่อมคานกันกระแทกรถยนต์ของบริษัทตัวอย่างเป็นกระบวนการปฏิบัติงานซึ่งใช้คนกับแขนกลเชื่อมปฏิบัติงานร่วมกันโดยปัจจุบันมีความต้องการของลูกค้าที่ 1,000 ชิ้นต่อวันแต่กำลังการผลิตสามารถผลิตได้สูงสุดเพียง 700 ชิ้นต่อวัน บริษัทตัวอย่างจึงมีความจำเป็นต้องขยายเวลาการปฏิบัติงานเพิ่มโดยมีเป้าหมายเพื่อผลิตชิ้นงานให้ได้ตามต้องการลูกค้า และเพื่อเป็นการรักษาส่วนแบ่งทางการตลาดไว้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับสายการผลิตตัวอย่างโดยจะพยายามลดรอบเวลาการผลิตในขั้นตอนที่มีค่าเกินจังหวะความต้องการของลูกค้า ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้บริษัทต้องเพิ่มเวลาจาก 1 กะเป็น 2 กะการปฏิบัติงาน เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย หลักการลดความสูญเปล่า 7 ประการ เครื่องมือควบคุมคุณภาพแบบใหม่ 7 ชนิด ซึ่งใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ปัญหา และกำหนดแนวทางการแก้ไข จากนั้นจึงปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานเพื่อลดรอบเวลาให้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับแต่ไม่เกินจังหวะความต้องการของลูกค้าด้วยเทคนิคการออกแบบอุปกรณ์จับยึด วิเคราะห์และคำนวณหาจำนวนคนที่เหมาะสมในการควบคุมเครื่องจักรด้วยแผนภูมิคน-เครื่องจักร ผลการดำเนินการวิจัยพบว่าสามารถควบคุมรอบเวลาการผลิตไม่ให้เกินจังหวะความต้องการของลูกค้าที่ 52.80 วินาทีต่อชิ้นได้ทุกขั้นตอนการปฏิบัติงาน ลดรอบเวลาการผลิตรวมได้ 26.28 วินาที คิดเป็น 49.12% ลดชั่วโมงการปฏิบัติงานได้ 4 ชั่วโมง คิดเป็น 33.33% ผลิตภาพการผลิตเพิ่มสูงขึ้น 821.43% ประสิทธิภาพเครื่องจักรเพิ่มขึ้น 53.27%และประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้น 53.32%

คำหลัก อัตราผลิตภาพ จังหวะความต้องการของลูกค้า การออกแบบอุปกรณ์จับยึด แผนภูมิคน-เครื่องจักร

Abstract

Welding beam shockproof automobile company example is an operational processes which people use the robotic arm to work together to present the needs of the client 1,000 pieces per day, but the capacity to produce up to 700 pieces per day, the company for example, it is necessary to extend the period of performance with a goal to increase production to meet customer needs and to maintain the market share. This research aims to increase production to the production line, for example by trying to reduce the cycle time in step with the rhythm out weigh the needs of the customer. Which is the main reason that the company had to increase the time of the first shift, the second shift operations. Tools used to conduct this research include The 7 Wastes, reduce new 7 QC tools are used to collect data. Order to

analyze the problem. And define solutions. Then, to improve performance, reduce cycle time, make the value equal to or less than the timing requirements of the clients. Design techniques jigs. Results showed that the cycle time can be controlled not to exceed the needs of customers who beat 52.80 seconds per piece at every stage performance. Reduce cycle time and was 26.28 seconds with a 49.12% reduction in hours of work to 4 hours for 33.33% reduction productivity increase of 821.43% efficacy machines increased 53.27%and efficacy to work of employees increased 53.32%

Keywords : Productivity Takt Time Jig Design Man-Machine Charts

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์ และชิ้นส่วนได้ถูกกำหนดจากภาครัฐให้เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์เพื่อการพัฒนาในภาคอุตสาหกรรม และการส่งออกของไทยที่มีการพัฒนาเคียงคู่กันมาตลอดระยะเวลากว่า 30 ปี จากวิกฤตการณ์น้ำท่วมในช่วงปลายปี 2554 ส่งผลให้โรงงานผลิตรถยนต์ และชิ้นส่วนหลายแห่งหยุดเดินสายการผลิตชั่วคราว เนื่องจากต้องเผชิญกับความเสียหายที่รุนแรง ทั้งที่เกิดจากผลกระทบของน้ำท่วมโดยตรง และผลกระทบทางอ้อมจากการขาดชิ้นส่วนที่ป้อนเข้าโรงงานประกอบชิ้นส่วนยานยนต์จนต้องชะลอการผลิต ส่งผลให้ยอดการผลิตรถยนต์ทรุดตัวแตะระดับต่ำสุดในเดือนพฤศจิกายน 2554 ที่ 1.45 ล้านคัน ต่ำกว่าเป้า 1.8 ล้านคันที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์เริ่มทยอยฟื้นตัวเป็นลำดับหลังจากเริ่มมีการฟื้นฟูโรงงานจนเริ่มทยอยกลับมาเดินเครื่องผลิตได้อีกครั้ง ล่าสุดยอดการผลิตรถยนต์เดือนมีนาคม 2555 พุ่งแตะระดับ 1.9 แสนคัน เพิ่มขึ้น 11% เมื่อเทียบกับช่วงทรุดตัว ซึ่งเป็นยอดผลิตรถยนต์รายเดือนที่สูงสุดในรอบ 50 ปี สัญญาณดังกล่าวบ่งชี้ถึงการกลับมาฟื้นตัวอย่างแท้จริงอีกครั้งของอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ ซึ่งจะสังเกตได้จากยอดการผลิตรถยนต์ของค่ายรถยนต์รายใหญ่ของญี่ปุ่นเดือนมีนาคม 2555 กลับสู่ระดับปกติอาทิเช่น ฮอนด้า เพิ่มขึ้น 245% โตโยต้าเพิ่มขึ้น 182% และมาสด้าเพิ่มขึ้น 165% จึงเป็นโอกาสสำหรับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ของไทย ซึ่งเป็นหนึ่งในห่วงโซ่อุปทานชิ้นส่วนยานยนต์ของโลกในการรับใบสั่งซื้อ (Sourcing) ใหม่ๆ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

บริษัท ตัวอย่าง เป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ให้กับกลุ่มบริษัท Auto Alliance Thailand ซึ่งเป็นชิ้นส่วนคานกันกระแทกรถยนต์ยี่ห้อ MAZDA รุ่น BT50 NEWCHANGE ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ชิ้นส่วนคานกันกระแทกรถยนต์ยี่ห้อ MAZDA รุ่น BT50 NEWCHANGE

ปัจจุบันความต้องการลูกค้าเพิ่มมากขึ้นโดยมีใบสั่งซื้อ (Order) จากลูกค้า 13,000 ชิ้นต่อเดือน ซึ่งต้องผลิตให้ได้ 500 ชิ้นต่อวัน แต่กำลังการผลิตของบริษัทสามารถตอบสนองได้เพียง 316 ชิ้นต่อกะ ผู้บริหารจึงต้องยอมแบกรับภาระต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นโดยการเพิ่มการผลิตเป็น 2 กะต่อวัน ซึ่งทำให้ต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น แต่มีความจำเป็นที่ต้องรักษาส่วนแบ่งทางการตลาดของลูกค้าเอาไว้ จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้สามารถที่จะกลับมาทำการผลิตเป็น 1 กะต่อวัน และให้สามารถผลิตสินค้าได้ทันตามความต้องการของลูกค้าที่มีเพิ่มมากขึ้นได้ จากปัญหาที่กล่าวมาผู้จัดทำงานวิจัยมีความต้องการที่จะดำเนินการปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานโดยการศึกษาการเคลื่อนไหว(Motion Study) ในการทำงานของพนักงาน และเครื่องจักร ด้วยแผนภูมิคน-เครื่องจักร คำนวณหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมในการทำงานกับเครื่องจักร 1 เครื่อง จากนั้นใช้เทคนิคการออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ (Jig Design) ออกแบบ และปรับปรุงเครื่องมือ เพื่อเพิ่มผลผลิตสร้างมาตรฐาน และประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานให้กับองค์กร

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อเพิ่มผลผลิต (Productivity) ในกระบวนการเชื่อมคานกันกระแทกด้วยแขนกล (Robot Welding MA1400) ให้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า และสามารถเพิ่ม

ประสิทธิภาพในการทำงานของคนและเครื่องจักรได้

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อเพิ่มผลิตภาพ (Productivity) ดังต่อไปนี้

2.1 การเพิ่มผลผลิต (Productivity Improvement)

ผลผลิตตามแนวคิดวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งที่สามารถวัดค่าได้ ทำให้สามารถมองเห็นได้ว่า การทำงานนั้นมีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลหรือไม่ โดยอาจใช้แนวทางการเพิ่มผลผลิตตามความเหมาะสมขององค์กร ดังต่อไปนี้ [1]

- ปัจจัยการผลิตเท่าเดิม แต่ทำให้ผลิตผลเพิ่มขึ้น
- ปัจจัยการผลิตน้อยลง แต่ทำให้ผลิตผลเท่าเดิม
- ปัจจัยการผลิตน้อยลง แต่ทำให้ผลิตผลเพิ่มขึ้น
- ปัจจัยการผลิตเพิ่มขึ้นแต่ทำให้ผลิตผลเพิ่มขึ้นมากกว่า
- ลดจำนวนผลิตผลลงจากเดิม โดยลดอัตราการใช้ปัจจัยการผลิตในอัตราส่วนที่มากกว่า

2.1.1 อัตราผลิตภาพ คือ อัตราส่วนของผลผลิตจริง (Output) ต่อทรัพยากรที่ใช้จริง (Input) โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่1

$$\textit{อัตราผลิตภาพ} = \frac{Output}{Input} \qquad (1)$$

2.1.2 อัตราการผลิต (Capacity) อัตราสูงสุดที่ระบบการผลิตสามารถผลิตได้เต็มที่ในช่วงเวลาหนึ่งของดำเนินงานซึ่งผลผลิตจริงต่อ 1 วันจะสามารถกำหนดได้จากสถานีงานที่เป็นงานคอขวด (Bottleneck) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 2

$$\textit{กำลังการผลิตต่อวัน} = \frac{\textit{เวลาการทำงานจริงต่อวัน}}{\textit{จุดงานคอขวด}} \qquad (2)$$

2.2.3 จังหวะความต้องการของลูกค้า (Takt Time) คือ ค่าอัตราความต้องการสินค้าของลูกค้าที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงานเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้า หรือกำหนดอัตราการผลิตให้เท่ากับอัตราการขาย โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$\textit{Takt Time} = \frac{\textit{เวลาการทำงานเฉลี่ยปกติต่อวัน}}{\textit{ชิ้นงานที่ต้องการต่อวัน}} \qquad (3)$$

2.2 การศึกษางาน (Work Study)

2.2.1 ศึกษาวิธีการทำงาน(Method Study)การศึกษาวิธีการทำงานเป็นการบันทึก และวิเคราะห์วิธีการทำงานที่เป็นอยู่ หรือเสนอใหม่อย่างมี ระบบเป็นเครื่องมือเพื่อพิจารณา และประยุกต์ให้ง่ายขึ้นรวมทั้งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ ลดค่าใช้จ่าย โดยการศึกษาวิธีการจะช่วยปรับปรุง กระบวนการ การวางผังโรงงาน ออกแบบโรงงานและอุปกรณ์ช่วยลดความเมื่อยล้าของพนักง่ายยึดหลักกายศาสตร์ (Ergonomic) และสิ่งแวดล้อมในการทำงาน [2]

2.2.2 การวัดผลงาน(Work Measurement) การวัดผลงาน คือ การหาเวลามาตรฐานในการทำงาน (Standard Time) ซึ่งเทคนิคการวัดผลงานที่นิยมใช้คือการศึกษาเวลาโดยตรง หมายถึง การจับเวลาขณะพนักงานปฏิบัติงาน จากนั้นคำนวณเวลาทำงานปกติ (Normal Time) ประเมินอัตราการทำงาน (Rating) และคิดเวลาเผื่อ (Allowance) จึงคำนวณเวลามาตรฐาน (Standard Time) [3]

2.3 แผนภูมิคน-เครื่องจักร (Man-Machine Charts)

แผนภูมิคน-เครื่องจักรคือ แผนภูมิกิจกรรมทวีคูณชนิดพิเศษที่ใช้บันทึกเฉพาะการทำงานของคน และเครื่องจักรเท่านั้น เป็นการบันทึกเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของการทำงานระหว่างคนกับเครื่องจักร ซึ่งส่วนใหญ่เครื่องจะจะทำงานในขณะที่คนยืนหรือมองดูเฉยๆซึ่งเป็นการรอคอยเครื่องจักรอัตโนมัติทำงาน ตรงกันข้ามในขณะที่เครื่องจักรทำงานเสร็จคนก็จะเริ่มทำงานโดยที่เครื่องจักรจะหยุดเฉยๆเหมือนกัน หลักของการศึกษาวิธีการปรับปรุงการทำงานของคน-เครื่องจักรด้วยแผนภูมิชนิดนี้ คือ “เครื่องจักรต้องไม่หยุดทำงานเพื่อรอคนและคนก็ต้องไม่หยุดทำงานเพื่อรอเครื่องจักร”โดยอาศัยการคำนวณจำนวนพนักงานที่เหมาะสมกับการควบคุมเครื่องจักร 1 เครื่อง ดังสมการที่ 4

$$Nm = \frac{O_e + M}{O_e + O_i} \qquad (4)$$

เมื่อ

Nm = จำนวนเครื่องจักรที่พนักงาน 1 คนคุมได้

Oe = เวลางานที่ต้องทำเมื่อเครื่องหยุดเดิน

Oi = เวลางานที่ต้องทำเมื่อเครื่องเดินอัตโนมัติ

M = เวลาทำงานอัตโนมัติของเครื่องจักร

2.3 ความสูญเสีย7 ประการ (7Wastes) [4]

1) การผลิตมากเกินไป (Overproduction)
2) การเก็บวัสดุคงคลัง (Inventory)
3) การขนส่ง (Transpiration)
4) การเคลื่อนไหว (Motion)
5) กระบวนการผลิต (Processing)
6) การรอคอย (Delay)
7) การผลิตของเสีย (Defect)

2.4 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพในกระบวนการผลิตซึ่งช่วยในการเก็บข้อมูล และศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหาซึ่งประกอบด้วย แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) ผังพาเรโต (Pareto Diagram) กราฟ (Graph) ผังแสดงเหตุ (Cause & Effect Diagram) ผังการกระจาย (Scatter Diagram) แผนภูมิควบคุม (Control Chart) และฮิสโตแกรม (Histogram) [5]

2.5 เครื่องมือควบคุมภาพแบบใหม่

เป็นเครื่องมือที่พัฒนาเพิ่มเติมมาจากเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (QC 7 Tools) ให้มีความเหมาะสมและเป็นประโยชน์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นคำพูดเพื่อวางแผนกลยุทธ์ แผนปฏิบัติการในเชิงป้องกันหรือเชิงรุก โดยการระดมความคิดและข้อเท็จจริงรวมถึงการมองภาพความต้องการ เพื่อกำหนดแผนงาน/โครงการในอนาคตขององค์กรได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งประกอบด้วย แผนภูมิการจัดกลุ่มความคิด (Affinity Diagram) แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ (Relation Diagram) แผนภูมิต้นไม้ตัดสินใจ (Tree Diagram) แผนภูมิเมตริกซ์ (Matrix Diagram) แผนภาพการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเมตริกซ์ (Matrix Data Analysis Chart) แผนภาพทางเลือกตัดสินใจเพื่อบริหารความเสี่ยง (Process Decision Program Chart, PDPC)และแผนภูมิลูกศร (Arrow Diagram) [6]

2.6 การออกแบบอุปกรณ์จับยึด (Jig Design)

การออกแบบ และปรับปรุงอุปกรณ์ในการทำงานเป็นเทคนิคที่จำเป็นในการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถเพิ่มผลผลิต (Productivity) ให้สูงขึ้นได้ และการออกแบบเครื่องมือที่เกี่ยวกับเครื่องจักรในอุตสาหกรรม รวมทั้งเครื่องมือพิเศษอื่นๆ ทำให้การผลิตชิ้นงานทำได้อย่างรวดเร็ว และมีปริมาณสูงอีกทั้งยังทำให้สินค้ามีคุณภาพ และประหยัด ซึ่งจะทำให้เป็นที่แน่ใจว่าสินค้าที่ผลิตออกไปจะได้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลตามความต้องการของลูกค้า [7, 8]

3.วิธีการดำเนินงานวิจัย

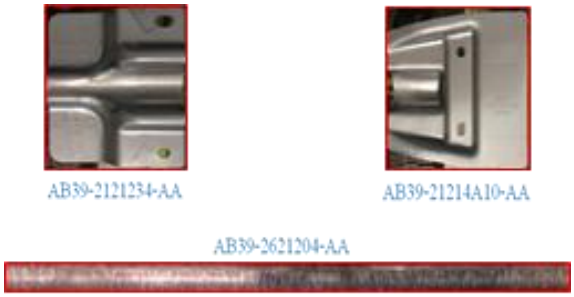
3.1 การศึกษากระบวนการผลิต

3.1.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์

สายการผลิตชิ้นส่วนคานกันกระแทกเป็นชิ้นยานยนต์ (Assembly Part) รถยนต์ยี่ห้อ MAZDA รุ่น MAZDA BT50 NEWCHANGE ซึ่งทำหน้าที่รับแรงกระแทกเมื่อเกิดอุบัติเหตุการชนจากด้านข้างประตู ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 ชิ้นส่วนคานกันกระแทกรถยนต์

จากรูปที่ 2 ชิ้นส่วนคานกันกระแทกมีส่วนประกอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ส่วนประกอบชิ้นส่วนยานยนต์ (Assembly Part)

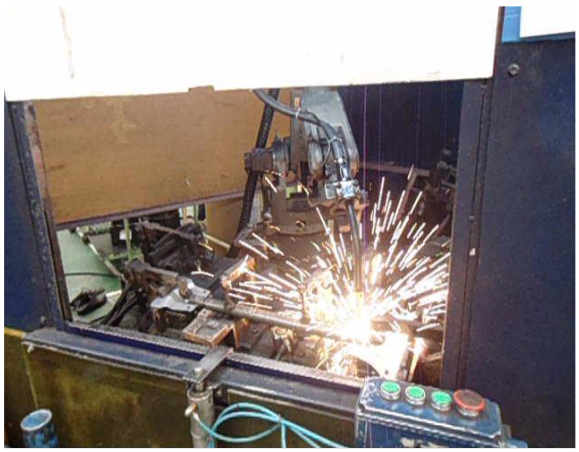
โดยขั้นตอนในการผลิตมีทั้งหมด 5 ขั้นตอน สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หยิบชิ้นงานใส่แคลมป์เป็นขั้นตอนการนำชิ้นส่วนคานกันกระแทกที่มีทั้งหมด 3 ชิ้นใส่ลงในแค

ลมป์โดยขั้นตอนนี้พนักงานจะมีการเคลื่อนไหวทั้งหมด 3 จังหวะ เริ่มจากการหยิบชิ้นส่วน AB392121234 REINF STRN DR, ชิ้นส่วน AB3926214A10 AB REINF DR O/S PNL และชิ้นส่วน AB39-2621204 STRN DR O/S PNL พร้อมกับกดสวิตซ์ล๊อคชิ้น และสวิตซ์เดินเครื่องแขนกล (Robot Welding MA1400) ดังแสดงในรูปที่ 4

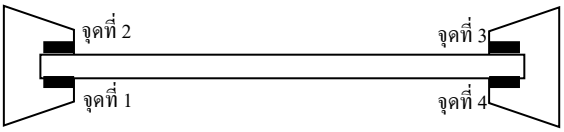
รูปที่ 4 ขั้นตอนการหยิบชิ้นงานใส่แคลมป์

ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมอาร์กอน (Welding Argon) โดยใช้แขนกล (Robot Welding MA1400) เป็นเครื่องจักรในการทำงานแทนคน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเชื่อมงานด้วย Robot Welding MA1400

ซึ่งการเชื่อมในปัจจุบันจะมีการเชื่อมทั้งหมด 4 ตำแหน่งโดยแต่ละตำแหน่งจะใช้เวลาในการเชื่อมตำแหน่งละ 20 วินาทีซึ่งเป็นเวลามาตรฐาน (Standard Time) โดยงานที่เชื่อมเสร็จแล้วจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ลักษณะตำแหน่งและแนวเชื่อม

จากรูปที่ 6 การเชื่อมของแขนกลจะทำงานทั้งหมด 4 จังหวะ คือ เชื่อมจุดที่ 1 และ 2 ใช้เวลา 22วินาที รวมการเคลื่อนย้ายจุด และจุดที่ 3 และ 4 ใช้เวลา 24วินาที รวมการเคลื่อนย้าย จากจุดที่ 2 ไปจุดที่ 3 แลจุดที่ 3 ไปจุดที่ 4

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนการนำชิ้นงานออกจากแคลมป์พร้อมทำการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา (Visual Control) ชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบเบื้องต้นพนักงานจะใช้ปากกาสีแบบลบไม่ออกทำเครื่องหมายไว้ดังแสดงในรูปที่ 7

รูปที่ 7 ชิ้นงานที่ถูกทดสอบด้วยสายตา

3.1.2 สภาพของปัญหา

จากการเก็บข้อมูลรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รอบเวลาการเชื่อมคานกันกระแทกก่อนปรับปรุง

ขั้นตอน	รอบเวลา(วินาที)
ใส่ชิ้นงานใส่จิ๊กพร้อมกดสวิตซ์	17.91
Robot เชื่อม	46
หยิบชิ้นงานออกจากจิ๊ก ตรวจสอบ วางเก็บ	11.49
รวม	75.40

จากรอบเวลาการผลิตดังตารางที่ 1 เมื่อนำมา

คำนวณอัตราการผลิตต่อวันสามารถคำนวณได้ดังนี้

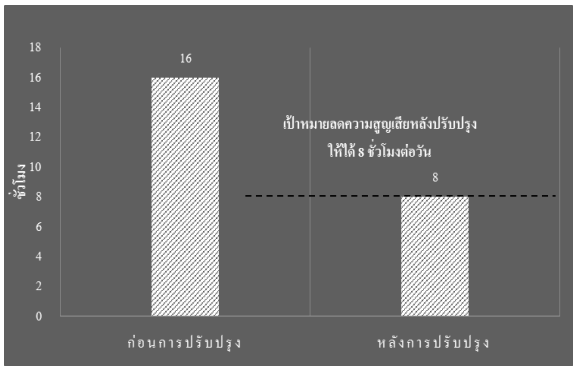
- เวลาทำงานต่อวัน 8 x 60 x 60 = 28,800 วินาที
- เตรียมเครื่องจักรและอุปกรณ์ = 1,200 วินาที
- ทำความสะอาดและซ่อมบำรุง = 1,200 วินาที

อัตรากำลังการผลิต = (28,800-2,400)/75.40
= 350 ชิ้นต่อวัน

แต่ปัจจุบันความต้องการของลูกค้าในอยู่ที่ 26,000 ชิ้นต่อเดือน หรือต้องผลิตให้ได้ 1,000 ชิ้นต่อวัน จากเวลาทำงาน 26 วันต่อเดือนเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการเชื่อมมีจำนวน 2 ชุด แสดงว่าแต่ละชุดจะต้องผลิตงานให้ได้ 500 ชิ้นต่อวัน ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณค่า Takt Time สามารถอธิบายได้ดังนี้

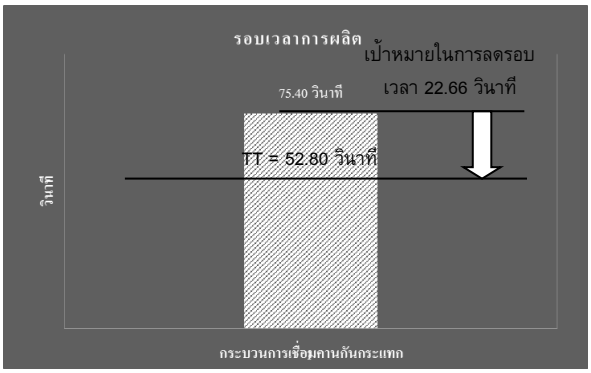
Takt Time = (28,800-2,400)/500
= 52.80 วินาที/ชิ้น

ผลจากการคำนวณหมายความว่าพนักงานต้องทำงานให้ได้ 52.80 วินาทีต่อชิ้น จึงจะเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าที่ 500 ชิ้นต่อวัน ทำให้บริษัทจำเป็นต้องเพิ่มเวลาการผลิตเพิ่มอีกวันละ 4 ชั่วโมง ส่งผลให้ต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุบกระบวนการผลิตให้สามารถผลิตชิ้นงานให้ทันตามความต้องการของลูกค้าภายในเวลาทำงานปกติ 8 ชั่วโมง โดยมีการตั้งเป้าหมายในงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 เป้าหมายการดำเนินงานวิจัย

ปัจจุบันความต้องการของลูกค้าในอยู่ที่ 26,000 ชิ้นต่อเดือน หรือต้องผลิตให้ได้ 1,000 ชิ้นต่อวัน จากเวลาทำงาน 26 วันต่อเดือน เครื่องจักรและอุปกรณ์ในการเชื่อมมีจำนวน 2 ชุด แสดงว่าแต่ละชุดจะต้องผลิตงานให้ได้ 500 ชิ้นต่อวัน ซึ่งค่า Takt Time ที่คำนวณไว้ในบทที่ 3 ที่เป้าหมายการทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน คือ 52.80 วินาที/ชิ้น นั้นหมายความว่าพนักงานจะต้องทำงานให้ได้ 1 ชิ้นภายในเวลา 52.80 วินาที เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรอบเวลาการผลิตในปัจจุบัน แสดงได้ดังรูปที่ 9



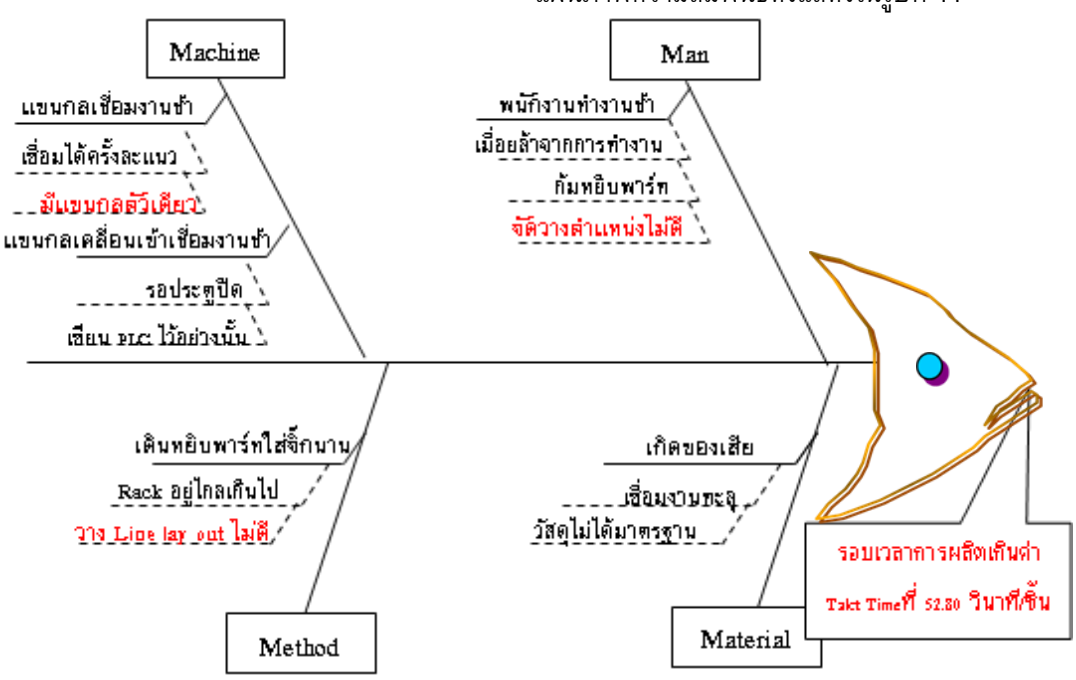
รูปที่ 9 รอบเวลาการผลิตเปรียบเทียบกับค่า Takt Time เป้าหมาย

3.1.3 วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและกำหนดแนวทางการแก้ไข

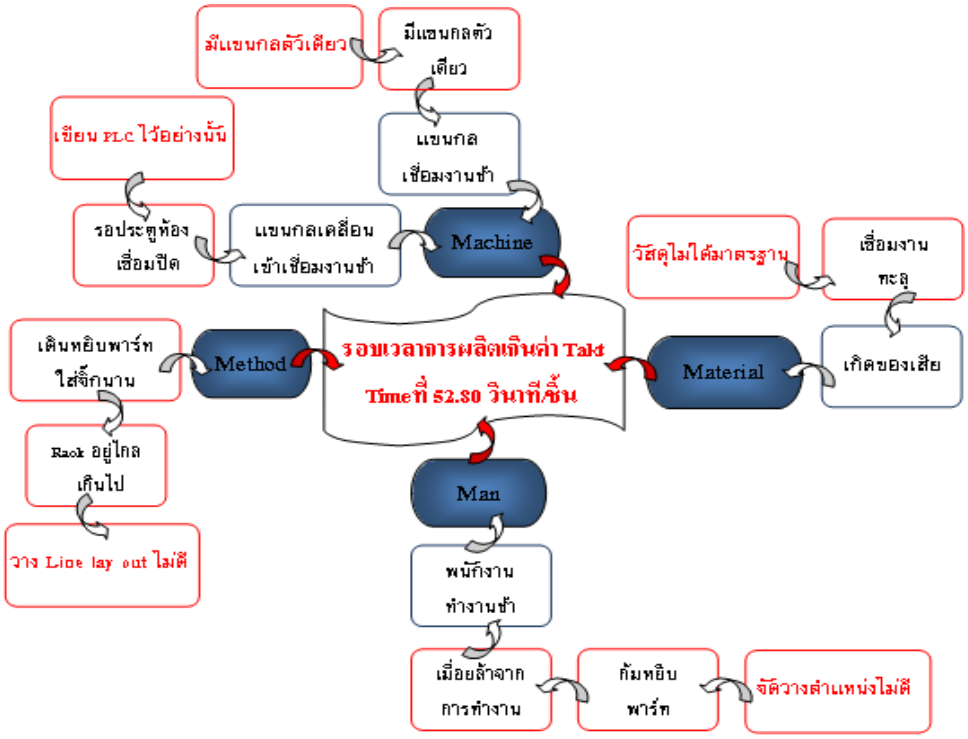
ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้มาทำการประชุม (Meeting) และระดมสมอง (Brainstorm) ของผู้วิจัย หัวหน้างาน และพนักงานผู้ปฏิบัติงานที่มีประสบการณ์มีความคุ้นเคยในกระบวนการผลิต โดยการวิเคราะห์ผู้วิจัยได้อาศัยเครื่องมือควบคุมคุณภาพ (7 Qc Tools) มาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อค้นหาสาเหตุย่อยๆ ของข้อบกพร่อง ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้แผนผังแสดงสาเหตุ และผล (Cause and Effect Diagram) โดยเลือกวิเคราะห์ตามหลัก 4 M 1E เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สามารถแสดงให้เห็นถึงสาเหตุต่าง ๆ ของปัญหา และผลที่เกิดขึ้นที่มีมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปมสำคัญที่จะนำไปทำการปรับปรุงแก้ไข ดังแสดงในรูปที่ 10

จากรูปที่ 10 เมื่อผู้วิจัยทำการระดมสมองจากผู้ร่วมปฏิบัติงานและพนักงานที่ปฏิบัติงานจริง ณ จุดปฏิบัติงาน โดยอาศัยเครื่องมือควบคุมภาพ ผังแสดงสาเหตุและผล สรุปได้ว่า ปัญหาความล่าช้าในกระบวนการเชื่อมคานกันกระแทกเกิดจากหัวเชื่อมโรบอทมีหัวเดียว และได้ถูกกำหนดขนาดความเร็วในการเชื่อมมาแล้วตามมาตรฐาน

จึงทำให้รอบเวลาการผลิตไม่ทันจังหวะความต้องการของลูกค้า แต่เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าปัญหาดังกล่าวที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพเป็นปัญหาที่ต้องนำมาทำการแก้ไขเป็นอันดับแรกจริงๆ และไม่เกิดการตกหล่นของปัญหาอื่นที่มีผลกระทบเหมือนกัน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเครื่องมือควบคุมคุณภาพแบบใหม่ (New 7 Qc Tools) อีก 1 ชนิด ซึ่งมีลักษณะการวิเคราะห์ที่คล้ายคลึงกันมาทำการวิเคราะห์เพิ่ม ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้แผนภาพความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 10 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพ



รูปที่ 11 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพแบบใหม่

จากรูปที่ 11 หลังจากผู้วิจัยใช้ผังแสดงความสัมพันธ์วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาซ้ำ ปรากฏว่าปัญหาที่พบยังคงเป็นปัญหาเดียวกันกับการวิเคราะห์ด้วย ผังแสดงสาเหตุและผลจึงได้นำมากำหนดแนวทางในการแก้ไข ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหากระบวนการเชื่อมคานกันกระแทก

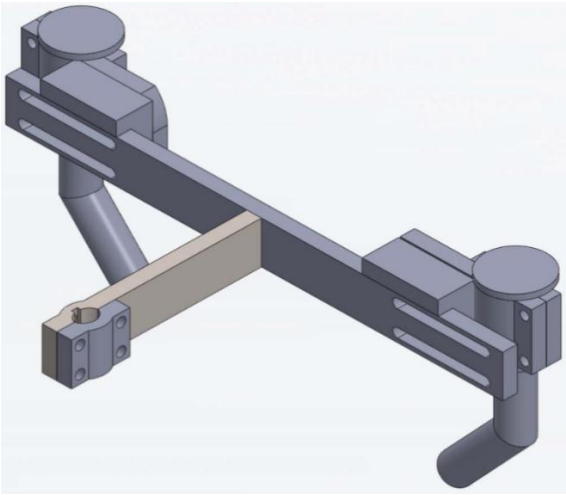
ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
รอบเวลาการผลิตเกินค่าจังหวะความต้องการของลูกค้า	หัวเชื่อมจะทำการเชื่อม 1 รอบการทำงานโดยเชื่อมทั้งหมด 4 จุด ใช้เวลาในการเชื่อมจุดละ 17.5 วินาที และเคลื่อนย้ายหัวเชื่อมระหว่างจุด 2 วินาที	1) เพิ่มโรบอท หัวเชื่อม และเครื่องเชื่อมอย่างละ 1 ชุด แล้วทำการติดตั้งให้โรบอทสองตัวทำงานพร้อมกันจะสามารถลดรอบเวลาการผลิตลงได้ครึ่งต่อครึ่ง
		2) ออกแบบอุปกรณ์จับยึดติดตั้งที่ปลายแขนของโรบอทให้สามารถจับหัวเชื่อมได้ 2 หัว เพิ่มหัวเชื่อมและเครื่องเชื่อม 1 ชุด
เสียเวลาในการเดินหยิบชิ้นส่วนวัตถุดิบ	การจัดวางตำแน่งของวัตถุดิบแต่ละชิ้นอยู่คนละที่ และพนักงานต้องใช้ลักษณะการเดินไปหยิบ ทำให้เสียเวลา และส่งผลให้เกิดความเมื่อยล้า	1) จัดวางตำแหน่งของวัตถุดิบให้อยู่ใกล้พื้นที่ทำงานของพนักงานมากที่สุด ให้พนักงานสามารถเอื้อมมือไปหยิบได้โดยไม่ต้องเดน
เสียเวลายืนคอยประตูตู้เชื่อมปิด	พนักงานตั้งระบบ PLC ในการปิด-เปิดประตู ช้า	1) ตั้งค่าระบบการปิด-เปิด ประตูตู้เชื่อมใหม่ให้ทำงานเร็วขึ้น

4. ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

จากข้อมูลการกำหนดแนวทางการแก้ไขในตารางที่ 2 ผู้วิจัยได้นำมาทำการปรับปรุงแก้ไขตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1การปรับปรุงรอบเวลาการผลิต

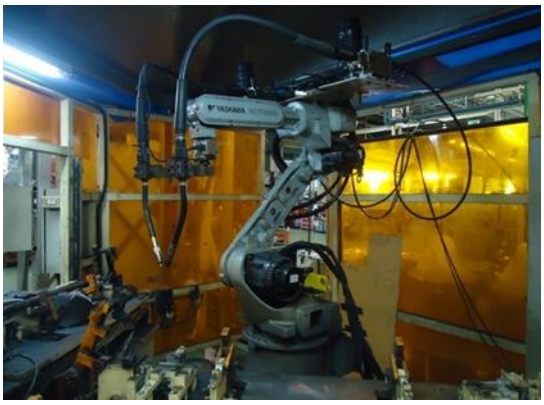
ปัจจุบันรอบเวลาการผลิตอยู่ที่ 75.40 วินาทีต่อชิ้น แต่เมื่อคำนวณค่าจังหวะความต้องการของลูกค้าต่อ 1 วัน รอบเวลาการผลิตจะอยู่ที่ 52.80 วินาทีต่อชิ้น ซึ่งนั้นหมายความว่าความเร็วในการผลิตให้ได้ชิ้นงาน 1 ชิ้น จะต้องใช้เวลาไม่เกิน 52.80 วินาที จึงจะสามารถผลิตได้ตามจำนวนที่ลูกค้าต้องการภายในเวลาทำงานปกติ 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยไม่ต้องมีการเปิดทำงานล่วงเวลา จากการระดมสมองและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาในขั้นตอนการเชื่อมสามารถสรุปถึงสาเหตุของปัญหาได้ดังนี้ หัวเชื่อมจะทำการเชื่อม 1 รอบการทำงาน โดยเชื่อมทั้งหมด 4 จุด ใช้เวลาในการเชื่อมจุดละ 11 วินาที แนวทางในการแก้ไขประการแรกมีแนวคิดจะเพิ่มโรบอท หัวเชื่อม และเครื่องเชื่อมอย่างละ 1 ชุด แล้วทำการติดตั้งให้โรบอทสองตัวทำงานพร้อมกันจะสามารถลดรอบเวลาการผลิตลงได้ครึ่งต่อครึ่ง แต่มีปัญหาในด้านต้นทุนในการจัดซื้อโรบอทที่มีราคา 450,000 บาทต่อตัว จึงทำให้ผู้วิจัยหันมาให้ความสนใจแนวทางในการแก้ไขประการที่ 2 คือการออกแบบอุปกรณ์จับยึดเพื่อติดตั้งที่ปลายแขนของโรบอทให้สามารถจับหัวเชื่อมได้ 2 หัว เพิ่มหัวเชื่อม และเครื่องเชื่อม 1 ชุด ที่มีราคาถูกกว่า ซึ่งการดำเนินการปรับปรุงตามแนวทางการแก้ไขประการที่ 2 สามารถ แสดงได้ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แนวคิดในการจัดสร้างอุปกรณ์จับยึดหัวเชื่อมต้นแบบ

จากนั้นได้นำเสนอต่อผู้บริหารเพื่อขออนุมัติจัดสร้าง

อุปกรณ์จับยึดต้นแบบและจะนำไปทดลองใช้ในสายการผลิตตัวอย่าง โดยอุปกรณ์จับยึดต้นแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 การติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบกับแขนกล

หลังจากได้อุปกรณ์จับยึดต้นแบบผู้วิจัยได้นำไปทดลองผลิตในสายการผลิตคานกันกระแทกตัวอย่าง แล้วทำการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงได้ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รอบเวลาการเชื่อมคานกันกระแทกหลังปรับปรุง

ขั้นตอน	รอบเวลา(วินาที)
ใส่ชิ้นงานใส่จิ๊กพร้อมกดสวิตซ์	17.91
Robot เชื่อม	24
หยิบชิ้นงานออกจากจิ๊ก ตรวจสอบ วางเก็บ	11.49
รวม	53.40

จากตารางที่ 3 แสดงข้อมูลรอบเวลาการผลิตหลังการปรับปรุงโดยออกแบบแบอุปกรณ์จับยึดที่สามารถจับหัวเชื่อมได้สองหัวทำการเชื่อมพร้อมกัน ส่งผลให้รอบเวลาการผลิตในกระบวนการเชื่อม ลดลงจาก 46 วินาที เหลือ 24 วินาที ลดลง 22 วินาที คิดเป็น 47.83% รอบเวลาการผลิตรวมลดลงจาก 75.40 วินาที เหลือ 53.40 วินาที ลดลง 22 วินาที คิดเป็น 29.18% จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงจังหวะการเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงานของแขนกลโดยการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใหม่ (เป็นความลับของทางผู้ประกอบการไม่สามารถนำข้อมูลมาเปิดเผยได้) พร้อมทั้งปรับตั้งค่าระบบอัตโนมัติ (PLC) ของการเปิด-ปิด ประตูห้องเชื่อมให้มีความเร็วมากขึ้นและพอกันดีกับจังหวะการเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงานของหัวเชื่อม พร้อมทั้งจัดตำแหน่งสถานที่วางพาร์ทชิ้นงานใหม่เพื่อลดระยะทางการเดินหยิบพาร์ทชิ้นของพนักงานให้สั้นลง ลดความเมื่อยล้า และเวลาในการทำงานให้น้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 14

ก่อนปรับปรุง หลังปรับปรุง

รูปที่ 14 ตำแหน่งการวางพาร์ทชิ้นงาน ก่อน และหลังปรับปรุง

หลังจากปรับปรุงส่วนที่เหลือจากอุปกรณ์จับยึดหัวเชื่อมแล้วผู้วิจัยได้ทดลองผลิตอีกครั้งและทำการเก็บบันทึกข้อมูล รอบเวลาแล้วคำนวณรอบเวลามาตรฐาน แสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รอบเวลาการเชื่อมคานกันกระแทกหลังปรับปรุง (2)

ขั้นตอน	รอบเวลา(วินาที)
ใส่ชิ้นงานใส่จิ๊กพร้อมกดสวิตซ์	12.07
Robot เชื่อม	24
หยิบชิ้นงานออกจากจิ๊ก ตรวจสอบ วางเก็บ	9.49
รวม	45.56

หลังจากมีการปรับปรุงส่วนของระบบอัตโนมัติ และการวางตำแหน่งพาร์ทชิ้นส่วนรถยนต์ ส่งผลให้รอบเวลาการผลิตรวมลดลงอีกจาก 53.40 วินาที เหลือ วินาที ลดลง 45.56 วินาที คิดเป็น 14.68% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่า Takt Time เป้าหมายที่ 52.80 วินาที อยู่ 7.24% โดยสามารถนำไปคำนวณอัตราการกำลังการผลิตได้ดังนี้

อัตรากำลังการผลิต = (28,800-2,400)/45.56 = 579 ชิ้น/เครื่อง/วันในทำการงานปกติ 8 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อรวม 2 เครื่อง 1 วัน สามารถผลิตได้ถึง 1,158 ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าที่มีความต้องการ 1,000 ชิ้นต่อวัน หรือ 26,000 ชิ้นต่อเดือนจากนั้นผู้วิจัยได้นำข้อมูลรอบเวลามาตรฐานมาทำการวิเคราะห์ต่อเนื่องเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงาน ของพนักงานผู้ปฏิบัติงาน และเครื่องจักร ด้วยแผนภูมิคนและเครื่องจักร ดังแสดงในภาพที่ 15

พนักงาน			เครื่องจักร		
กิจกรรม	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์กิจกรรม	กิจกรรม	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์กิจกรรม
หยิบชิ้นงานใส่ Jig พร้อมกดสวิตซ์	10.07		Jig ถูกใส่ชิ้นงาน	10.07	
ตรวจสอบแนวเชื่อม นำชิ้นงานวางใส่ภาชนะ	5.49		Clamp ล๊อด ประตูปิด	2	
			แขนกลเชื่อมงานอัตโนมัติ	24	
ว่าง	22.51				
			Clamp เปิด ประตูเปิด	2	
หยิบชิ้นงานออกจาก Jig	2		ชิ้นงานถูกหยิบออกจาก Jig	2	

รูปที่ 15 แผนภูมิคน-เครื่องจักร วิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการเชื่อมคานกันกระแทก

จากข้อมูลในรูปที่ 15 ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์ด้วยการคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพในการทำงานของคนและเครื่องจักร แสดงได้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การคำนวณประสิทธิภาพของคน และเครื่องจักร

กิจกรรม	พนักงาน	เครื่องจักร
เวลาว่าง	28.00	17.15
เวลาทำงาน	17.15	28.00
เวลาทั้งหมด	45.56	45.56
%เวลาว่างงาน	61.46	38.54
%เวลาทำงาน	38.54	61.46

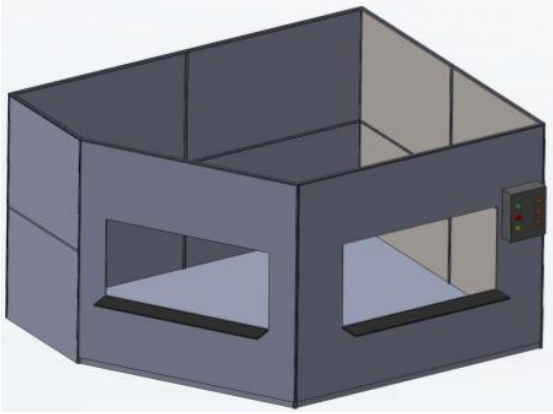
จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าพนักงานมีอัตราการทำงานจริงแค่ 38.54% ว่างงานถึง 61.46% ในเวลาที่ว่างงานจะเป็นลักษณะการยืนรอให้โรบอทเชื่อมงานเสร็จผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ต่อเนื่องด้วยวิธีคำนวณหาเครื่องจักรที่เหมาะสมต่อพนักหนึ่งเมื่อเทียบกับเวลาพื้นฐาน การคำนวณสามารถแสดงได้ดังนี้

$$Nm = \frac{O_e + M}{O_e + O_i}$$

$$Nm = \frac{12.07 + 28}{12.07 + 5.49}$$

Nm = 2.34 เครื่อง หรือ 2 เครื่อง

ผลจากการคำนวณจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับพนักงานเมื่อเทียบกับเวลาจริงในการทำงานปรากฏว่าพนักงาน 1 คน สามารถทำงานกับเครื่องจักรได้ 2 เครื่อง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบตู้เชื่อมให้มีช่องประตูสองช่อง เพิ่มเครื่องเชื่อม หัวเชื่อม และแคลมป์ล๊อคชิ้นงานอย่างละ 1 ชุด ดังแสดงในรูปที่16



รูปที่ 16 ลักษณะการออกแบบตู้เชื่อมสองประตู

จากรูปที่ 4.16 ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบตู้เชื่อมสองประตูโดยเปิดช่องที่จะติดตั้งแคลมป์ล๊อคให้อยู่คนละข้างติดกันทำมุม 120 องศา ให้พนักงานเดินทำงานระหว่างช่องที่เปิดไว้ จากนั้นผู้วิจัยได้นำเสนอและขออนุมัติจัดสร้างจากผู้บริหาร และนำไปทดลองทำการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 17

รูปที่ 17 ลักษณะการออกแบบตู้เชื่อมสองประตู

จากรูปที่ 4.17 หลังจากผู้วิจัยได้ทำการออกแบบตู้เชื่อมแบบสองประตูแล้วนำไปทดลองผลิตคานกันกระแทกผลปรากฏว่าสามารถเพิ่มผลผลิตได้ถึง 100% และยังสามารถลดเวลาการว่างงานของพนักงานลงได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นดังแสดงได้ในรูปที่ 4.18

จากข้อมูลในรูปที่ 4.18 ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์ด้วยการคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพในการทำงานของคนและเครื่องจักร เมื่อใช้พนักงาน 1 คน ทำงานกับเครื่องจักร 2 เครื่อง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การคำนวณประสิทธิภาพของคน และเครื่องจักรหลังปรับปรุง

กิจกรรม	พนักงาน	เครื่องจักร1	เครื่องจักร 2
เวลาว่าง	4.00	8.49	7.93
เวลาทำงาน	45.12	40.60	41.19
เวลาทั้งหมด	49.12	49.12	49.12
%เวลาว่างงาน	8.14	17.13	16.14
%เวลาทำงาน	**91.86**	**82.65**	**83.86**

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการจัดสร้างอุปกรณ์ต้นแบบโดยการเปิดช่องการทำงานอีก 1 ช่อง เพิ่มเครื่องเชื่อม 1 เครื่อง และแคลมป์ล๊อคชิ้นชิ้นงานอีก 1 ตัว ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้นจาก 38.54% เป็น 91.81% เพิ่มขึ้นถึง 53.27% และสามารถผลิตชิ้นงานได้เป็น 2 เท่า โดยสามารถคำนวณอัตรากำลังการผลิตได้ดังนี้

อัตรากำลังการผลิต = [(28,800-2,400)/49.12] x 2 = 1,075 ชิ้น/เครื่อง/วันในทำการงานปกติ 8 ชั่วโมง โดยสามารถผลิตให้ได้ตามความต้องการของลูกค้าที่ 1,000 ชิ้น/วัน ด้วยพนักงานงานเพียงคนเดียวและลดจำนวนพนักงานในสายการผลิตตัวอย่างได้ 1 คน

4.2 ผลการดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

4.2.1 รอบเวลาการผลิตรวมในขั้นตอนการเชื่อมคานกันกระแทกลดลงจาก 75.40 วินาทีต่อชิ้น เหลือ 49.12 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็นลดลงร้อยละ 49.12

4.2.2 ชั่วโมงการปฏิบัติงานในสายการผลิตตัวอย่างหลังลดลงจาก 12 ชั่วโมง เหลือ 8 ชั่วโมงคิดเป็น 33.33%

4.2.3 ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้นถึง 53.27% คิดเป็นร้อยละ 138.22

4.2.4 เพิ่มอัตรากำลังการผลิตได้ 1,075 ชิ้น/เครื่อง/วัน ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าที่ 1,000 ชิ้น/วัน และสามารถลดจำนวนพนักงานได้ 1 คน คิดเป็นร้อยละ 50

4.2.5 ผลิตภาพการผลิตเพิ่มขึ้น 119.79 Pcs./Man/Hr. คิดเป็น 821.43%

4.2.6 สามารถกำหนดให้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานให้กับพนักงานได้ดังแสดงในรูปที่ 19

พนักงาน			เครื่องจักรช่องที่ 1			เครื่องจักรช่องที่ 2		
กิจกรรม	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์กิจกรรม	กิจกรรม	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์กิจกรรม	กิจกรรม	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์กิจกรรม
รอประตู กับ Clamp เปิด	2		Clamp เปิด ประตูเปิด	2		แขนกลเชื่อมงานอัตโนมัติ	24	
หยิบชิ้นงานออกจากjig	2		ชิ้นงานถูกหยิบออกจาก jig	2				
หยิบชิ้นงานใส่ Jig พร้อมกดสวิตซ์ช่องทำงานที่ 1	10.07		Jig ถูกใส่ชิ้นงาน	10.07				
ตรวจสอบแนวเชื่อม นำชิ้นงานวางใส่ภาชนะ	5.49		Clamp ล๊อค ประตูปิด	2				
			รอแขนกล	8.49				
เดินไปเครื่องจักรช่องที่ 2	5							
รอประตู กับ Clamp เปิด	2		แขนกลเชื่อมงานอัตโนมัติ	24		Clamp เปิด ประตูเปิด	2	
หยิบชิ้นงานออกจากjig	2					ชิ้นงานถูกหยิบออกจาก jig	2	
หยิบชิ้นงานใส่ Jig พร้อมกดสวิตซ์ช่องทำงานที่ 2	10.07					Jig ถูกใส่ชิ้นงาน	10.07	
ตรวจสอบแนวเชื่อม นำชิ้นงานวางใส่ภาชนะ	5.49					Clamp ล๊อค ประตูปิด	2	
						รอแขนกล	7.93	
เดินไปเครื่องจักรช่องที่ 1	5							

รูปที่ 18 แผนภูมิ คน-เครื่องจักร วิเคราะห์ประสิทธิภาพกระบวนการเชื่อมคานกันกระแทก ของพนักงาน 1 คน กับเครื่องจักร 2 เครื่อง

MACHINE NUMBER	PROCESS NAME	PROCESS NO.
RW11	ROBOT WELDING CO_2	1/1

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน OPERATION STEP	จุดตรวจสอบ CHECK POINT	ความถี่ตรวจสอบ SAMPLE SIZE / FREQUENCY
1. ตรวจสภาพเครื่อง MAG WELDING (CO_2),JIG และหัวเชื่อม	ลวดเชื่อม,กระแสไฟ,(CO_2) อยู่ในสภาพพร้อมทำงาน	1 ครั้ง ก่อนการผลิต
	JIG อยู่ในสภาพพร้อมที่จะทำงาน	1 ครั้ง ก่อนการผลิต
	ไม่มีสะเก็ดเชื่อมติดอยู่บริเวณผิวหน้าสัมผัสของ LOCATOR	ทุกครั้ง
2. ตรวจสอบสภาพชิ้นงานก่อนการเชื่อม	ชิ้นงานไม่เป็นสนิม	ทุกครั้ง 100%
	เช็ดคราบน้ำมันที่ชิ้นงานออกให้หมดก่อนเชื่อม	ทุกครั้ง
3. ประกอบชิ้นงานเข้ากับ JIG SET	1. วาง AB39 26214A10 AB 2. วาง AB39 2121234 3. วาง AB39 2626014 AA 4. กดปุ่มครั้งที่ 1 เพื่อ Clamp Lock ชิ้นงาน และกดปุ่มครั้งที่ 2 เพื่อ Start	ทุกครั้ง
4. ตรวจสภาพทั่วไปของชิ้นงานหลังจากเชื่อมเสร็จ	ตำแหน่งแนวเชื่อมครบ 4 จุด *ความยาวแนวเชื่อม 20 $^{+5}_{-0}$ mm.	3 ชิ้น / SHIFT

รูปที่ 19 เอกสารการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐานกระบวนการผลิตคานกันกระแทกรถยนต์

4.3 ระยะเวลาคืนทุน

รายละเอียดค่าใช้จ่ายของการจัดสร้างอุปกรณ์จับยึดต้นแบบ และเครื่องเชื่อมอาร์กอน (CO2) ซึ่งสามารถสรุปค่าใช้จ่ายในการดำเนินการปรับปรุงครั้งนี้เป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 404,780 บาท ส่วนต้นทุนที่สามารถลดได้ต่อเดือนได้แก่ ลดพนักงานได้ 1 คน 21,000 บาท/เดือน ลดการทำงานล่วงเวลาได้วันละ 4 ชั่วโมงๆ ละ 87.50 บาท 1 เดือนทำงาน 26 วัน = 4x 87.50 x 26 = 9,100 บาท/เดือน

ระยะเวลาคืนทุน =404,780 / 30,1000

ระยะเวลาคืนทุน = 13.48 เดือน หรือ 404 วัน

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการปรับปรุงวิธีการทำงานในขั้นตอนการเชื่อมคานกันกระแทกด้วยเทคนิคการออกแบบอุปกรณ์จับยึด (Jig Design) สามารถลดรอบเวลาการผลิตรวมได้ 49.12% โดยสามารถควบคุมไม่ให้เกินค่า Takt Time เป้าหมายที่ 52.80 วินาที ลดจำนวนพนักงานได้ 50% ลดเวลาการทำงานต่อวันได้ 33.33% ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้น 53.27% อัตราผลิตภาพสูงขึ้น 821.43% และสามารถกำหนดเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานของพนักงานได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษางานวิจัยนี้พบว่ามีหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มผลผลิตในโรงงานตัวอย่าง เช่น ตัวพนักงานเองคิดว่าการปรับวิธีการทำงานเป็นการเพิ่มภาระให้กับตัวพนักงานเองทำให้เกิดความยุ่งยากในการทำงาน เพราะต้องมีการทำงานตามลำดับขั้นตอนที่ทำการปรับปรุง ทำให้เวลาว่างลดลง การแก้ไข คือ จัดการอบรมชี้แจงในเรื่องของวัตถุประสงค์ที่ทำการปรับปรุง และเมื่อทำการปรับปรุงแล้วตัวพนักงานจะได้อะไรจากการปรับปรุง เมื่อองค์กรสามารถเพิ่มผลผลิต และจัดส่งสินค้าได้มากตามความต้องการของลูกค้า

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทตัวอย่างผู้เป็นเจ้าของข้อมูลที่ได้อนุญาตให้ข้อมูลของทางโรงงานและอำนวยความสะดวกให้ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ดำเนินงานและขอขอบคุณพนักงานฝ่ายผลิตทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] นพเก้า ศิริพลไพบูลย์. 2548. หลักการเพิ่มผลผลิต (Productivity Improvement).พิมพ์ครั้งที่5. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ประชาชน.

[2] วันชัย ริจิรวนิช. 2548. การศึกษาการทำงาน และกรณีศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 4, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] วัชรินทร์ สิทธิเจริญ. 2547. การศึกษางาน (Work Study). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์โอเดียนสโตร์.

[4] ดวงรัตน์ ชีวปัญญาโรจน์. และศุภศักดิ์ พงษ์อนันต์. 2554. ความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes). กรุงเทพฯ : สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.

[5] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. เครื่องคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). แหล่งที่มา http://youth.ftpi.or.th, 19 ตุลาคม 2553

[6] โยชิโนบุนายาทานิ และคณะ. 2541. New 7 QC Tools เครื่องมือสู่คุณภาพยุคใหม่.แปลโดยวิฑูรย์ สิมะโชคดี. พิมพ์ครั้งที่ 1: กรุงเทพฯ,

[7] วัชระ มีทอง. 2545. การออกแบบจิ๊ก และฟิกซ์เจอร์. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).

[8] ศุภชัย รมยานนท์. 2547. การออกแบบอุปกรณ์นำเจาะและจับงาน. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

การจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการประกอบรถพ่วง

Line Balancing Production Process For Full Box

ณรงค์ บุญเสนอ* คณิศร ภูมิคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
E-mail: eddy22413@yahoo.com

Narong Boonsaner* Kanitsorn Poonikom
Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190*
E-mail: eddy22413@yahoo.com

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตฝาข้างตัวถังรถบรรทุก และพ่วงกระบะ (Full Box) ของบริษัทตัวอย่างมีความต้องการของลูกค้าในปัจจุบันที่ 4 คันต่อวัน แต่กำลังการผลิตสามารถผลิตได้สูงสุดเพียง 3 คันต่อวัน บริษัทตัวอย่างจึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มการปฏิบัติงานล่วงเวลาอีกวันละ 4 ชั่วโมง เพื่อให้สามารถผลิตชิ้นงานได้ตามเป้าหมายที่ลูกค้าต้องการ เพื่อรักษาส่วนแบ่งทางการตลาดไว้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีเพิ่มผลผลิตให้กับสายการผลิต โดยจะพยายามลดรอบเวลาการผลิตในขั้นตอนที่มีค่าเกินจังหวะความต้องการของลูกค้าซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้บริษัทตัวอย่างต้องเปิดการทำงานล่วงเวลา เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยนี้ประกอบด้วย หลักการลดความสูญเปล่า 7 ประการ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีความสูญเปล่าที่ต้องแก้ไข คือ ความสูญเปล่าที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสม สายการผลิตขาดการปรับปรุงพัฒนาทำให้การผลิตไม่ทันตามความต้องการของลูกค้า การดำเนินการปรับปรุงแก้ไขเริ่มจากใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพในการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ปัญหา และกำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพแบบใหม่ จากนั้นจึงปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานเพื่อลดรอบเวลาด้วยเทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยหลักการ ECRS ผลการดำเนินการวิจัย พบว่าสามารถควบคุมรอบเวลาการผลิต ไม่ให้เกินจังหวะความต้องการของลูกค้าที่ 146.66 นาทีต่อคัน ได้ทุกสถานีงาน ลดรอบเวลาการผลิตรวมได้ 221 นาที คิดเป็นร้อยละ 28.89 ลดชั่วโมงการปฏิบัติงานได้ 4 ชั่วโมง คิดเป็น 33.33% ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้น 24.28% ผลิตภาพการผลิตเพิ่ม 40% สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 4 ชิ้นต่อวัน ภายในการปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมง

คำหลัก การเพิ่มผลผลิต สมดุลสายการผลิต รอบเวลาการผลิต

Abstract

The coating parts side panel full box of the parent company which needs to manage capacity to produce up to 4 pieces per day which not enough. It's necessary to add working two shifts to produce to meet the target customers want to preserve the market share. The objective of this research is to study how to improve productivity for production line, always trying to reduce cycle time steps with exceeds takt time which is the main reason for parent company required over time to add working one shift be one shift production. This research implements 7 wastes research. The wrong process makes production lagging behind the needs of customers. Implementation improvement began 7 qc tools for data collection causes analysis and defined modification new 7 qc tools performance improve with line balancing by ECRS. The result shows an ability to control cycle time not to exceed takt time at 146.66 seconds for all stations. Total cycle time can be decreased 221 seconds which accounts for 28.89% hours of performance can be

decreased 4 hours which accounts for 33.33% line balancing increases 24.28% productivity increases 40.00% the process capacity reaches 4 pieces per day one shift operation 8 hours.

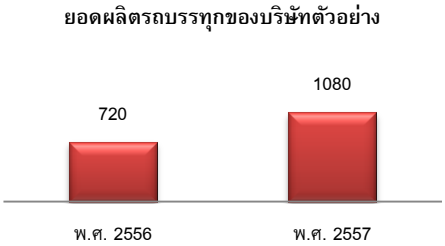
Keywords: Productivity Improvement Line Balancing Cycle Time,

1. บทนำ

ตลาดรถบรรทุกเป็นดัชนีชี้วัดภาวะเศรษฐกิจ โดยรวมตั้งแต่ช่วงต้นปีที่ผ่านมาเศรษฐกิจไทยอยู่ในภาวะชะลอตัว แต่ตลาดรถบรรทุกยังคงประคองตัวอยู่ได้ แม้ว่าจะมีสัญญาณการเติบโตลดลง แต่ผู้ประกอบการยังเชื่อว่าอนาคตยังมีโอกาสขยายตัวได้อีก จึงทำให้มีผู้สนใจเข้าสู่ตลาดนี้อีกเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะผู้ประกอบการรถบรรทุกจากประเทศจีนทำให้มีแนวโน้มในการแข่งขันสูงเพื่อส่วนแบ่งทางการตลาดโดยมีการพยากรณ์ปริมาณยอดผลิตรถบรรทุกของ ปี 2557 จากเดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 การพยากรณ์ยอดการผลิตรถบรรทุก

บริษัทตัวอย่างเป็นผู้ประกอบการในการผลิตและประกอบตัวถังรถบรรทุกยกเทให้กับภาคเอกชน และหน่วยงานราชการทั่วไป มียอดการสั่งผลิตในปี พ.ศ. 2556 ทั้งหมด 720 คัน คิดเป็นมูลค่า 288,000,000 บาท และมีการพยากรณ์ยอดผลิตของปี พ.ศ. 2557 ไว้ที่ 1,080 คัน เพิ่มขึ้นถึง 50% คิดเป็นมูลค่า 432,000,000 บาท ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ยอดสั่งผลิตของบริษัทตัวอย่าง

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่ายอดสั่งผลิตรถบรรทุกของบริษัทตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งมียอดสั่งผลิตจำนวนพนักงาน และเวลาในการปฏิบัติงานต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลยอดการผลิตสายการผลิตตัวอย่าง

Sep.	Mar	Apr	May	June	July	Aug
Plan	78	78	78	78	78	78
Day/Date	26	26	26	26	26	26
Cap/Day	3	3	3	3	3	3
Hr./Day	12	12	12	12	12	12
Man/Day	12	12	12	12	12	12

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าสายการผลิตรถพ่วงกระบะ ต้องการผลิตให้ได้ตามความต้องการของลูกค้าวันละ 3 คัน แต่ปัจจุบันบริษัทต้องเปิดทำงานล่วงเวลา (Over Time) วันละ 4 ชั่วโมง เพื่อให้พนักงานทำงานให้ทันตามความต้องการของลูกค้า จากปัญหาที่กล่าวมาผู้จัดทำปริญญานิพนธ์มีความต้องการที่จะดำเนินการแก้ไขโดยได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงต่อผู้บริหารตามลำดับขั้นตอนไว้ดังนี้ เริ่มจากการศึกษาเวลามาตรฐานของแต่ละขั้นตอนการทำงาน จากนั้นจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing) ด้วยหลักการ ECRS โดยจะพยายามให้ทำกระบวนการผลิตเกิดความสมดุลมากที่สุด สามารถเพิ่มผลผลิตสร้างมาตรฐานและประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานให้กับองค์กรได้

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผลิตรถพ่วงกระบะให้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า โดยสามารถทำการผลิตได้ภายในระยะเวลาทำงานปกติ 8 ชั่วโมงต่อวัน และกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติให้กับพนักงานได้

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อเพิ่มผลิตภาพ (Productivity) ดังต่อไปนี้

2.1 การเพิ่มผลผลิต (Productivity Improvement)

ผลผลิตตามแนวคิดวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งที่สามารถวัดค่าได้ ทำให้สามารถมองเห็นได้ว่า การทำงานนั้นมีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลหรือไม่ โดยอาจใช้แนวทางการเพิ่มผลผลิตตามความเหมาะสมขององค์กร ดังต่อไปนี้ [1,2,3]

- ปัจจัยการผลิตเท่าเดิม แต่ทำให้ผลิตผลเพิ่มขึ้น
- ปัจจัยการผลิตน้อยลง แต่ทำให้ผลิตผลเท่าเดิม
- ปัจจัยการผลิตน้อยลง แต่ทำให้ผลิตผลเพิ่มขึ้น
- ปัจจัยการผลิตเพิ่มขึ้นแต่ทำให้ผลิตผลเพิ่มขึ้นมากกว่า
- ลดจำนวนผลิตผลลงจากเดิม โดยลดอัตราการใช้ปัจจัยการผลิตในอัตราส่วนที่มากกว่า

2.1.1 อัตราผลิตภาพ คือ อัตราส่วนของผลผลิตจริง (Output) ต่อทรัพยากรที่ใช้จริง (Input) โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$\textit{อัตราผลิตภาพ} = \frac{Output}{Input} \qquad (1)$$

2.1.2 อัตราการผลิต (Capacity) อัตราสูงสุดที่ระบบการผลิตสามารถผลิตได้เต็มที่ในช่วงเวลาหนึ่งของดำเนินงานซึ่งผลผลิตจริงต่อ 1 วันจะสามารถกำหนดได้จากสถานีงานที่เป็นงานคอขวด (Bottleneck) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 2

$$\textit{กำลังการผลิตต่อวัน} = \frac{\textit{เวลาการทำงานจริงต่อวัน}}{\textit{จุดงานคอขวด}} \qquad (2)$$

2.2 ความสูญเสีย 7 ประการ (7Wastes) [4]

1) การผลิตมากเกินไป (Overproduction)
2) การเก็บวัสดุคงคลัง (Inventory)
3) การขนส่ง (Transpiration)
4) การเคลื่อนไหว (Motion)
5) กระบวนการผลิต (Processing)
6) การรอคอย (Delay)
7) การผลิตของเสีย (Defect)

2.3 เครื่องมือควบคุมคุณภาพแบบใหม่

เป็นเครื่องมือที่พัฒนาเพิ่มเติมมาจากเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (QC 7 Tools) ให้มีความเหมาะสมและเป็นประโยชน์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นคำพูดเพื่อวางแผนกลยุทธ์ แผนปฏิบัติการ ในเชิงป้องกันหรือเชิงรุก โดยการระดมความคิดและข้อเท็จจริงรวมถึงการมองภาพความต้องการ เพื่อกำหนดแผนงาน/โครงการในอนาคตขององค์กรได้อย่างเป็นระบบซึ่งประกอบด้วย แผนภูมิการจัดกลุ่มความคิด (Affinity Diagram) แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ (Relation Diagram) แผนภูมิต้นไม้ตัดสินใจ (Tree Diagram) แผนภูมิเมตริกซ์ (Matrix Diagram) แผนภาพการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเมตริกซ์ (Matrix Data Analysis Chart) แผนภาพทางเลือกตัดสินใจเพื่อบริหารความเสี่ยง (Process Decision Program Chart, PDPC)และแผนภูมิลูกศร (Arrow Diagram) [5]

2.5 หลักเกณฑ์ ECRS

Eliminate - ขจัดงานที่ไม่จำเป็นออกจากกระบวนการ
Combine - รวมงานลักษณะใกล้เคียงเข้าด้วยกัน
Rearrange - จัดลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่
Simplify - ปรับปรุงการทำงานให้ง่ายขึ้น [6]

2.5 การจดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing)

สมดุลสายการผลิต คือ การจัดเวลาในแต่ละสถานีงานให้สัมพันธ์กันหรือใกล้เคียงกัน เพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดจากความล่าช้าของงาน [7,8,9]

2.5.1 จังหวะความต้องการของลูกค้า (Takt Time) คือ ค่าอัตราความต้องการสินค้าของลูกค้าที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงานเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้าหรือกำหนดอัตราการผลิตให้เท่ากับอัตราการขาย โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$\text{Takt Time} = \frac{\textit{เวลาการทำงานเฉลี่ยปกติต่อวัน}}{\textit{ชิ้นงานที่ต้องการต่อวัน}} \qquad (3)$$

2.5.2 ประสิทธิภาพสายการผลิต (Line Efficacy) การคำนวณประสิทธิภาพของสายการผลิตมีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบเวลารอคอยในระบบ เมื่อเทียบกับจุดงานคอขวดว่ามีมากน้อยกี่เปอร์เซ็นต์โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

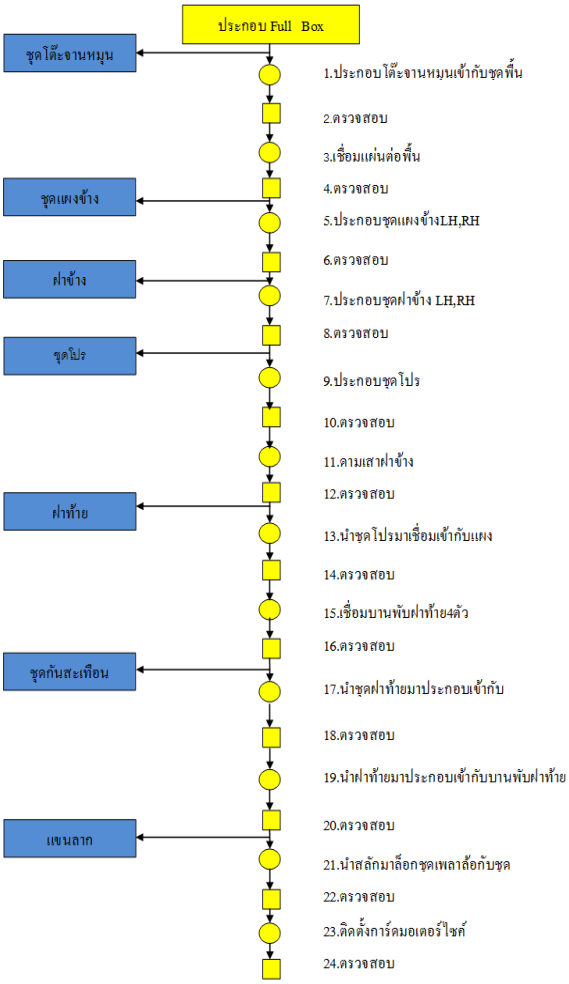
$$\text{Line Efficacy} = \frac{\text{รอบเวลาการผลิตรวม} \times 100}{\text{จำนวนสถานีงาน} \times \text{จุดงานคอขวด}} \quad (4)$$

3.วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษากระบวนการผลิต

3.1.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์

สายการผลิตรถพ่วงกระบะของบริษัทตัวอย่าง มีกระบวนการผลิตในสายการประกอบ ดังแสดงในแผนภูมิกระบวนการผลิตโดยสังเขป รูปที่ 3



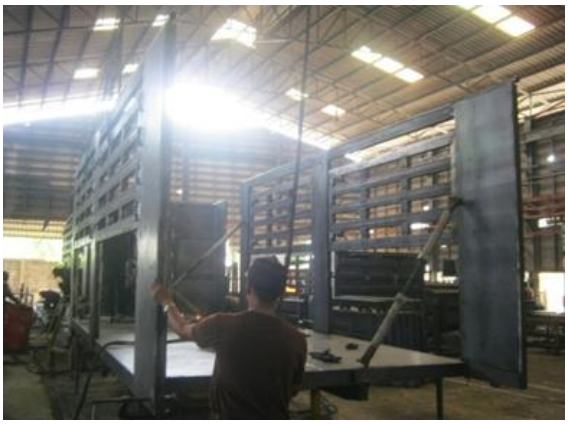
รูปที่ 3 กระบวนการประกอบรถพ่วงกระบะ

การประกอบจะมีชิ้นส่วนในการประกอบทั้งหมด 9 ชิ้น ประกอบด้วย ชุดโต๊ะจานหมุน ชุดเฟรม ชุดแผงข้าง RH-LH (2 ชิ้น) ชุดพื้น ชุดโปรลอน ชุดฝาท้ายลอน ชุดฝาข้างลอนคู่ ชุดระบบกันสะเทือน ชุดแขนลาก โดยแบ่งออกเป็น 4 สถานีงาน ได้แก่

สถานีงานที่ 1 โดยเริ่มต้นใช้เครนยกชุดพื้นมาวางเพื่อเตรียมประกอบชุดโต๊ะจานหมุนใช้เครนยกชุดโต๊ะจานหมุนมาวางบนเฟรม Full Box ใช้น๊อตยึดชุดโต๊ะจานหมุน 6 ชุด ดังในรูป 4

สถานีงานที่ 2 ใช้เครนยกชุดแผงข้าง RH มาวางประกอบเข้าชุดพื้น FBใช้เครนยกชุดแผงข้าง RH ให้เสมอกับชุดพื้น FB แล้วใช้ C-CLAMP ล็อคที่เสาหน้า, เสากลางและเสาท้ายและทำการเชื่อมติดกับชุดพื้นนำเกลียวเร่งมาเชื่อมติดที่เสากลางนำเกลียวเร่งมาเชื่อมติดที่เสาหน้าเชื่อมเต็มชุดแผงข้างเข้ากับชุดพื้นประกอบชุดแผงข้าง LH บนชุดทำการเชื่อมติดกับชุดพื้นนำเกลียวเร่งมาเชื่อมติดที่เสากลางนำเกลียวเร่งมาเชื่อมติดที่เสาหน้าเชื่อมเต็มชุดแผงข้างเข้ากับชุดพื้นดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 4 การวางโต๊ะจานหมุนเข้ากับเฟรม



รูปที่ 5 การประกอบชุดแผงข้าง

สถานีงานที่ 3 นำเหล็กดามเสามาเชื่อมแต้มเข้ากับเสาและพื้นกระบะเชื่อมเต็มเหล็กดามเสาใช้เครนยก

แขนลากมาวางเพื่อเตรียมประกอบร่างแบบเพื่อทำการติดตั้งแผ่นยึดแป๊ปเท้าช้างเชื่อมแผ่นยึดแป๊ปเท้าช้างติดกับแขนลากด้านบนตามแบบที่ร่างไว้ใช้เครื่องขัด ขัดรอยเชื่อมใช้เครื่องเจียร เจียรรอยเชื่อมใช้เครนยกแขนลากมาประกอบเข้ากับชุดโต๊ะจานหมุนร้อยสลักเข้ากับแขนลากและ BRKT ยึดแขนลาก ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 6 การนำแขนลากมาประกอบเข้ากันชุดโต๊ะจานหมุน

สถานีงานที่ 4 ใช้เครนยกล้อมาวางเพื่อเตรียมประกอบล้อหน้า (ตัวที่ 1)ใช้เครนยกล้อมาวางเพื่อเตรียมประกอบล้อหน้า (ตัวที่ 2) ใช้เครนดึงกระบะมาด้านหน้าใช้เครนยกล้อ (ตัวที่ 3) มาวางเพื่อเตรียมประกอบใช้เครนยกท้ายกระบะเพื่อทำการติดตั้งล้อนำล้อ (ตัวที่ 2) เข้าใต้กระบะโดยให้ตรงกับตำแหน่งหูแหนบแล้วทำการร้อยบูทและใส่น๊อต LH/RH ใช้เครนยกกระบะลง LH ยกการ์ดมอเตอร์ไซด์วางบนตำแหน่งติดตั้ง RH เชื่อมแต้มการ์ดมอเตอร์ไซด์ RH เชื่อมแต้มการ์ดมอเตอร์ไซด์ LH เชื่อมแต้มการ์ดมอเตอร์ไซด์ RH นำเหล็กรางรถไฟมาประกอบเข้ากับท้ายกระบะนำแผ่นป้ายทะเบียนมาเชื่อมติดเข้ากับท้ายกระบะ ดังแสดงในรูปที่ 7

รูปที่ 7 การตรวจความเรียบร้อย

เมื่อคำนวณเวลามาตรฐานโดยใช้การจับเวลาพื้นฐาน 5 ครั้ง หาพิสัยและค่าเฉลี่ยแล้วนำค่าของพิสัยหารด้วยค่าเฉลี่ย (R/Average) นำค่าที่ได้ไปเปิดตารางที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และยอมให้มีค่าผิดพลาด ± 5 % ประเมินค่าสมรรถนะได้ที่ระดับ 104% คิดเวลาเผื่อที่ 7% ผลของเวลาแสดงได้ดังรูปที่ 8

จากรูปที่ 8 สามารถนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของสายการผลิต (Production Line Efficiency) ได้ดังต่อไปนี้

Line Efficacy = [765 x 100] / [4 x 280] = 68.30%

ผลจากการคำนวณพบว่าประสิทธิภาพของสายการผลิตในปัจจุบัน คือ 68.30% ซึ่งหมายความว่าแต่ละสถานีงานในสายการผลิตมีความสามารถในการทำงานเปรียบเทียบจากสถานีงานที่มีรอบเวลามากที่สุดและน้อยที่สุด 68.30% โดยมีความสูญเสียในกระบวนการผลิตถึง 31.70%

ประกอบกระบะ FB		
ลำดับ	ขั้นตอน	เวลา (นาที)
1	ประกอบชุดโต๊ะจานหมุน	45.00
2	เชื่อมแผ่นต่อพื้น	65.00
3	ประกอบชุดแผงข้าง RH บนชุดพื้น	15.00
4	ประกอบชุดแผงข้าง LH บนชุดพื้น	15.00
5	ประกอบฝาข้าง RH ด้านหน้า	4.00
6	ประกอบฝาข้าง RH ด้านท้าย	5.00
7	ประกอบฝาข้าง LH ด้านหน้า	5.00
8	ประกอบฝาข้าง LH ด้านท้าย	5.00
9	เจาะรูระบายน้ำ	24.00
10	ประกอบเหล็กดามเสา (เหล็กฉาก)	43.00
11	ประกอบชุดโปร	65.00
12	ประกอบบานพับฝาท้าย 4 ตัว	12.00
13	ประกอบฝาท้าย	2.00
14	ประกอบเหล็กรางรถไฟ	28.00
15	ติดตั้งแผ่นป้ายรถพ่วง	8.00
16	ประกอบชุดโครงไฟท้าย	11.00
17	ประกอบแผ่นติดป้ายทะเบียน	7.00
18	ประกอบโซ่ยึดฝาข้าง	7.00
19	ประกอบชุดกันสะเทือน	85.00
20	ติดตั้งชุดกันสะเทือนเข้ากับกระบะ FB	34.00
21	ประกอบชุดบังโคลนท้าย	65.00
22	ประกอบชุดบังโคลนหน้า	35.00
23	เจาะรูยึดลูกยางกันกระแทก	45.00
24	ประกอบชุดคับล็อค	65.00
25	เตรียมประกอบแขนลาก	3.00
26	ประกอบแขนลาก	13.00
27	ติดตั้งการ์ดมอเตอร์ไซด์	9.00
28	ตรวจเช็คและแก้ไขส่งทำสี	45.00
รวม		765.00

รูปที่ 8 เวลามาตรฐานในการทำงานของสายการประกอบรถพ่วง

3.1.2 คำนวณค่า Takt Time

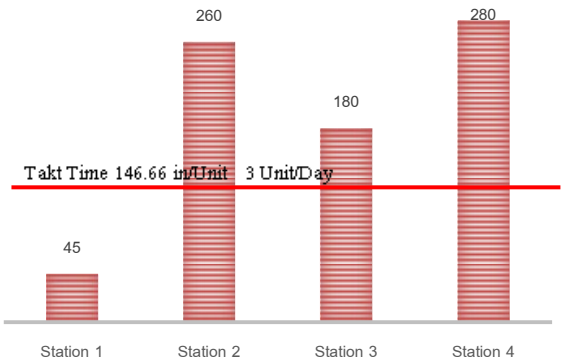
คำนวณหาจังหวะความต้องการของลูกค้า (Takt Time) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบกับความเร็วในการขาย (Sale Speed) ที่จะถูกกำหนดให้สามารถผลิตชิ้นงานได้ 1 ชิ้น

Takt Time = [(8 x 60) – (40) / 3]
= 146.66 นาทีต่อคัน

- เวลาทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน
- เตรียมเครื่องมือ+ซ่อมบำรุง 40 นาทีต่อวัน
- ต้องการผลิตรถให้ได้ 3 วันต่อคัน

3.1.3 วิเคราะห์สภาพปัญหาก่อนการปรับปรุง

การปรับปรุงขั้นตอนการปฏิบัติงานในสายการประกอบรถพ่วงกระบะผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากการบันทึกเวลาและจัดทำเป็นรอบเวลาปฏิบัติงานที่เป็นเวลามาตรฐานก่อนการปรับปรุงแล้วทำการเปรียบเทียบกับรอบเวลาเป้าหมายที่ผู้วิจัยจะใช้เป็นตัวกำหนดผลการดำเนินงานของงานวิจัยนี้โดยยึดค่าเวลา Takt Time ที่คำนวณตามเป้าหมายเป็นหลัก ซึ่งผลจากการเก็บข้อมูลคำนวณเวลามาตรฐานและคำนวณค่า Takt Time เป้าหมาย สามารถอธิบายรอบเวลา เปรียบเทียบกับ Takt Time ในแต่ละขั้นตอนการปฏิบัติงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 รอบเวลาการผลิตเปรียบเทียบกับค่า Takt Time

จากรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าสายการผลิตรถพ่วงกระบะ มีกระบวนการปฏิบัติงานอยู่ 4 สถานีงาน โดยแต่ละสถานีงานมีขั้นตอน และรอบเวลา สูงและต่ำกว่าค่า Takt Time สามารถอธิบายได้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาพปัญหาของสถานีงานการผลิตรถพ่วง กระบะ

Station	CT	TT	ผลต่าง
1	45	146.66	ต่ำกว่า TT 101.66
2	260	146.66	สูงกว่า TT 113.34
3	180	146.66	สูงกว่า TT 33.34
4	280	146.66	สูงกว่า TT 133.34
รวม	756		381.68

จากตารางที่ 2 สามารถอธิบายปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิตได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

สถานีงานที่ 1 เกิดปัญหารอบเวลามีค่าต่ำกว่า Takt Time มากถึง 101.66 นาทีต่อชิ้น สาเหตุเนื่องจากในขั้นตอนนี้มีการประกอบชิ้นส่วนโต๊ะจานหมุนเพียงอย่างเดียว แต่ใช้จำนวนพนักงานมากถึง 3 คน ทำให้พนักงานทำงานเสร็จก่อนเวลาและเกิดการว่างงาน ดังแสดงในรูปที่ 10

รูปที่ 10 ขั้นตอนการประกอบชุดจานหมุน

สถานีงานที่ 2 เกิดปัญหารอบเวลามีค่าสูงเกินกว่าเวลาค่า Takt Time อยู่ 113.34 นาทีต่อชิ้นเนื่องจากสาเหตุที่มีส่วนประกอบที่มีการติดตั้งมาก ประกอบกับจำนวนพนักงานที่ปฏิบัติงานมีเพียง 3 คนจึงทำให้งานล่าช้าเป็นสาเหตุที่ทำให้รอบเวลาสูงเกินค่า Takt Time อย่างที่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 11

รูปที่ 11 ขั้นตอนการประกอบชุดแผงข้าง ฝาข้างและฝาท้าย

สถานีงานที่ 3 สาเหตุปัญหาที่เกิดขึ้นมีรอบเวลาที่สูงเกินเวลาค่า Takt Time 33.34 นาทีต่อชิ้นอยู่เนื่องจากการติดตั้งส่วนประกอบมีความล่าช้าใช้

เวลานานจำนวนพนักงานที่มีเพียง 3 คนพนักงานบางคนไม่มีประสบการทำงานเป็นเหตุที่ทำให้งานล่าช้า ดังแสดงในรูปที่ 12

รูปที่ 12 ขั้นตอนการประกอบชุดโครงไฟและป้ายทะเบียน

สถานีงานที่ 4 ปัญหาที่เกิดขึ้นมีรอบเวลาที่สูงเกินเวลาค่า Takt Time อยู่ 133.34 นาทีต่อชิ้น เนื่องจากพนักงานมีจำนวนเพียง 3 คน ขาดความชำนาญและประสบการณ์ทำงานเป็นสาเหตุที่ทำให้งานล่าช้า ดังแสดงในรูปที่ 13

รูปที่ 13 การประกอบชุดบังโคลนหน้า-ท้าย และชุดแขนลาก

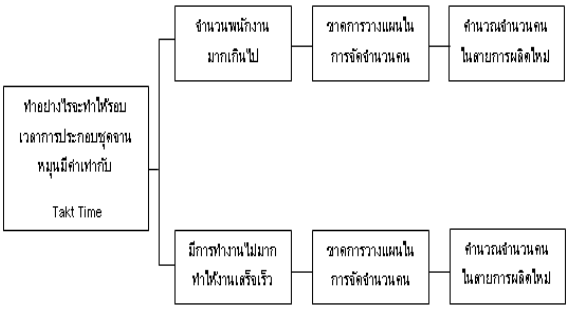
3.1.4 วิเคราะห์ปัญหา และกำหนดแนวทางการแก้ไข

จากสภาพปัญหาคณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ได้นำเครื่องมือควบคุมคุณภาพแบบใหม่มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาในแต่ละสถานีงาน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

สถานีงานที่ 1 การประกอบชุดจานหมุน สถานีงานนี้ใช้พนักงานทำงาน 3 คน มีรอบเวลาในการผลิตรวม 45 นาทีต่อชิ้น ซึ่งต่ำกว่าค่า Takt Time อยู่ 101.66 นาทีต่อชิ้น คณะผู้จัดทำงานวิจัยได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาดังแสดงในรูปที่ 14

จากรูปที่ 14 แผนผังต้นไม้วิเคราะห์ปัญหาแสดงให้เห็นว่าปัญหาในสถานีงานนี้เกิดจากจำนวนพนักงานที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากลักษณะงานเป็นการประกอบชิ้นส่วนเพียงชิ้นเดียวแต่ปัจจุบันใช้พนักงานทำงานถึง 3 คน ซึ่งเกินความจำเป็น

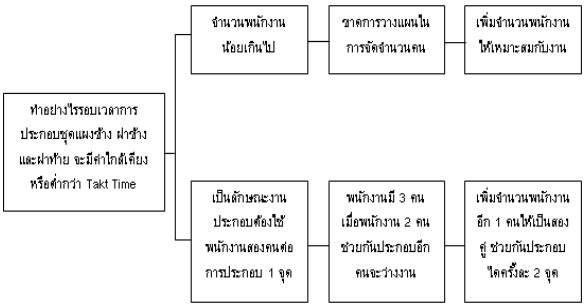
แนวทางการแก้ไข ลดจำนวนพนักงานเข้าไปในสายการผลิตให้เหลือ 1 คนโดยย้ายขั้นตอนนี้ไปอยู่ในพื้นที่ที่สามารถใช้เครนได้ให้พนักงาน 1 คน ทำงานกับเครนยก ส่วนพนักงานอีก 3 คน ให้ย้ายไปช่วยงานสถานีงานอื่นดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 14 การวิเคราะห์ปัญหาขั้นตอนการประกอบชุดจานหมุน

รูปที่ 15 การปรับปรุงงานสถานีงานที่ 1

สถานีงานที่ 2 การประกอบชุดแผงข้าง ฝาข้างและฝาท้าย โดยสถานีงานนี้มีขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 12 ขั้นตอน ใช้พนักงานทำงาน 3 คน มีรอบเวลาในการผลิตรวม 264 นาทีต่อชิ้น ซึ่งเกินค่า Takt Time อยู่ 113.34 นาทีต่อชิ้น คณะผู้จัดทำงานวิจัยได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาดังแสดงในรูปที่ 16



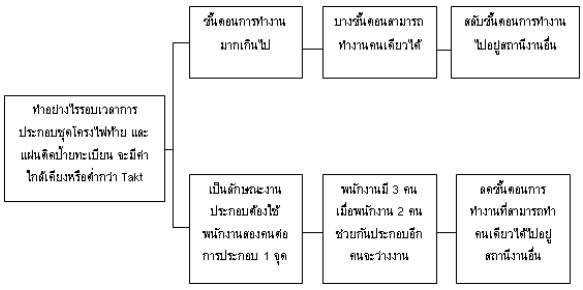
รูปที่ 16 วิเคราะห์ปัญหาการประกอบชุดแผงข้าง ฝาข้าง ฝาท้าย

จากรูปที่ 16 แผนผังต้นไม้วิเคราะห์ปัญหาแสดงให้เห็นว่าปัญหาในสถานีงานนี้เกินจากลักษณะของงานและจำนวนพนักงานที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากลักษณะของงานเป็นงานประกอบชุดแผงข้าง ฝาข้างและฝาท้าย จำเป็นต้องใช้พนักงานช่วยกันทำงานจุดละสองคนแต่ปัจจุบันมีพนักงานทำงานในสถานีงานนี้ 3 คน เมื่อพนักงาน 2 คน ช่วยกันประกอบทำให้พนักงานที่เหลืออีก 1 คน ว่างงานเนื่องจากไม่สามารถประกอบจุดอื่นได้ ส่งผลให้รอบเวลาการผลิตมีค่าเกิน Takt Time

แนวทางการแก้ไข เพิ่มจำนวนพนักงานเข้าไปในสายการผลิต 1 คน ให้เป็น 4 คน โดยให้จับคู่กับพนักงานที่ว่างงานช่วยกันประกอบจุดอื่นไปพร้อมๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 17

รูปที่ 17 การปรับปรุงงานสถานีงานที่ 2

สถานีงานที่ 3 การประกอบชุดโครงไฟท้าย และแผ่นติดป้ายทะเบียนโดยสถานีงานนี้มีขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 7 สถานีงานนี้ใช้พนักงานทำงาน 3 คน มีรอบเวลาในการผลิตรวม 180 นาทีต่อชิ้น ซึ่งเกินค่า Takt Time อยู่ 33.34 นาทีต่อชิ้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาดังแสดงในรูปที่ 18



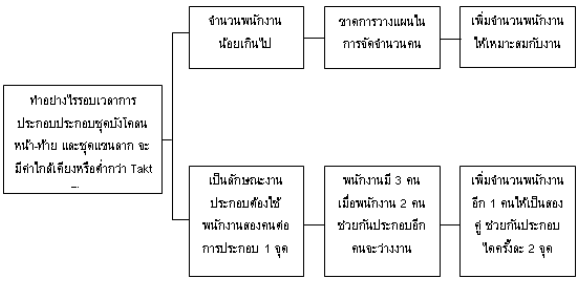
รูปที่ 18 ปัญหาการประกอบชุดโครงไฟท้าย ป้ายทะเบียน

จากรูปที่ 18 แผนผังต้นไม้วิเคราะห์ปัญหาแสดงให้เห็นว่าปัญหาในสถานีงานนี้เกินจากลักษณะของงานและจำนวนพนักงานที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากลักษณะของงานเป็นงานประกอบชุดชุดโครงไฟท้าย และแผ่นติดป้ายทะเบียน บางงานสามารถทำงานคนเดียวได้ จำเป็นต้องใช้พนักงานช่วยกันทำงานจุดละสองคนแต่ปัจจุบันมีพนักงานทำงานในสถานีงานนี้ 3 คน เมื่อพนักงาน 2 คน ช่วยกันประกอบทำให้พนักงานที่เหลืออีก 1 คน ว่างงานเนื่องจากไม่สามารถประกอบจุดอื่นได้ ส่งผลให้รอบเวลาการผลิตมีค่าเกิน Takt Time

แนวทางการแก้ไขเพิ่มจำนวนพนักงานเข้าไปในสายการผลิต 1 คน ให้เป็น 4 คน โดยให้จับคู่กับพนักงานที่ว่างงานช่วยกันประกอบจุดอื่นไปพร้อมๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 19

รูปที่ 19 การปรับปรุงงานสถานีงานที่ 3

สถานีงานที่ 4 การประกอบชุดบังโคลนหน้า-ท้าย และชุดแขนลากโดยสถานีงานนี้มีขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 8 ขั้นตอน ใช้พนักงานทำงาน 3 คน มีรอบเวลาในการผลิตรวม 280 นาทีต่อชิ้น ซึ่งเกินค่า Takt Time อยู่ 133.34 นาทีต่อชิ้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาดังแสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 20 วิเคราะห์ปัญหา ชุดบังโคลนหน้า-ท้าย ชุดแขนลาก

จากรูปที่ 20 แผนผังต้นไม้วิเคราะห์ปัญหาแสดงให้เห็นว่าปัญหาในสถานีงานนี้เกินจากลักษณะของงานและจำนวนพนักงานที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากลักษณะของงานเป็นงานประกอบชุดบังโคลนหน้า-ท้าย และชุดแขนลาก จำเป็นต้องใช้พนักงานช่วยกันทำงานจุดละสองคนแต่ปัจจุบันมีพนักงานทำงานในสถานีงานนี้ 3 คน เมื่อพนักงาน 2 คน ช่วยกันประกอบทำให้พนักงาน

ที่เหลืออีก 1 คน ว่างงานเนื่องจากไม่สามารถประกอบจุดอื่นได้ส่งผลให้รอบเวลาการผลิตมีค่าเกิน Takt Time

แนวทางการแก้ไข เพิ่มจำนวนพนักงานเข้าไปในสายการผลิต 1 คน ให้เป็น 4 คน โดยให้จับคู่กับพนักงานที่ว่างงานช่วยกันประกอบจุดอื่นไปพร้อมๆกันกับการตรวจสอบความเรียบร้อยครั้งสุดท้ายก่อนส่งไปทำสี ดังแสดงในรูปที่ 21

รูปที่ 21 การปรับปรุงงานสถานีงานที่ 4

4. ผลการดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

4.1 ผลการปรับปรุงแก้ไขสถานีงานที่ 1

หลังจากดำเนินการปรับปรุงโดยการย้ายสถานีงานที่ 1 ไปอยู่ในพื้นที่การทำงานที่มีเครนยกโดยให้พนักงานเพียง 1 คน ทำงานประกอบจานหมุนด้วยการใช้เครนในการช่วยยกประกอบสามารถลดจำนวนพนักงานในสถานีงานได้ 2 คน รอบเวลาการทำงานเพิ่มขึ้นจาก 45 นาทีต่อชิ้น เป็น 140 นาทีต่อชิ้น ต่ำกว่าค่า Takt Time เป้าหมายอยู่ 6.66 นาที

4.2 ผลการปรับปรุงแก้ไขสถานีงานที่ 2

หลังจากดำเนินการปรับปรุงโดยเพิ่มพนักงานเข้ามาช่วยในสายการผลิต 1 คน ซึ่งเป็นพนักงานที่ลดจำนวนมาจากสายการผลิตที่ 1 โดยให้จับคู่กับพนักงานที่ว่างงานช่วยกันประกอบชุดแผงข้าง RH-LH บนชุดพื้น ประกอบฝาข้าง RH-LH ด้านหน้าและด้านท้าย ประกอบเหล็กดามเสา (เหล็กฉาก) ประกอบชุดโปร ประกอบบานพับฝาท้าย 4 ตัว และประกอบ และประกอบฝาท้าย ทำให้รอบเวลาแต่ละขั้นตอนลดลง ดังแสดงในตารางที่ 3

4.3 ผลการปรับปรุงแก้ไขสถานีงานที่ 3

หลังจากดำเนินการปรับปรุงโดยเพิ่มพนักงานเข้ามาช่วยในสายการผลิต 1 คน ซึ่งเป็นพนักงานที่ลดจำนวนมาจากสายการผลิตที่ 1 โดยให้จับคู่กับพนักงานที่ว่างงานช่วยกันประกอบเหล็กลางรถไฟ ประกอบชุดโครงไฟท้าย ประกอบแผ่นติดป้ายทะเบียน ประกอบโซ่ยึดฝาข้างและประกอบชุดกันสะเทือน ทำให้รอบเวลาแต่ละขั้นตอนลดลง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รอบเวลาสถานีงานที่ 2 หลังการปรับปรุง

สถานีงาน	รายละเอียดงาน	รอบเวลา (นาที)
2	1.เชื่อมแผ่นต่อพื้น	35.00
	2.ประกอบชุดแผงข้าง RH บนชุดพื้น	15.00
	3.ประกอบชุดแผงข้าง LH บนชุดพื้น	
	4.ประกอบฝาข้าง RH ด้านหน้า	5.00
	5.ประกอบฝาข้าง RH ด้านท้าย	
	6.ประกอบฝาข้าง LH ด้านหน้า	5.00
	7.ประกอบฝาข้าง LH ด้านท้าย	
	8.เจาะรูระบายน้ำ	14.00
	9.ประกอบเหล็กดามเสา (เหล็กฉาก)	22.00
	10.ประกอบชุดโปร	40.00
	11.ประกอบบานพับฝาท้าย 4 ตัว	6.00
	12.ประกอบฝาท้าย	1.00
	รอบเวลารวม	**143**

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มจำนวนพนักงานเข้าไปในสายการผลิต สามารถลดรอบเวลาการผลิตจาก 260 นาที เหลือ 143 นาที ต่ำกว่าค่า Takt Time เป้าหมายอยู่ 3.66 นาที สาเหตุเนื่องจากก่อนการปรับปรุงพนักงานประกอบได้ครั้งละ 1 จุด เนื่องจากการประกอบส่วนต่างๆ ต้องให้พนักงานช่วยกันทำ 2 คน ก่อนการปรับปรุงมีพนักงาน 3 คน เมื่อพนักงาน 2 คน ช่วยกันประกอบจึงทำให้พนักงานอีก 1 คน ว่างงาน

ตารางที่ 4 รอบเวลาสถานีงานที่ 3 หลังการปรับปรุง

สถานีงาน	รายละเอียดงาน	รอบเวลา (นาที)
3	1.ประกอบเหล็กรางรถไฟ	12.00
	2.ติดตั้งแผ่นป้ายรถพ่วง	8.00
	3.ประกอบชุดโครงไฟท้าย	6.00
	4.ประกอบแผ่นติดป้ายทะเบียน	4.00
	5.ประกอบโซ่ยึดฝาข้าง	4.00
	6.ประกอบชุดกันสะเทือน	45.00
	7.ติดตั้งชุดกันสะเทือนกับกระบะ	17.00
	รอบเวลารวม	**96.00**

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มจำนวนพนักงานเข้าไปในสายการผลิต สามารถลดรอบเวลาการผลิตจาก 180 นาที เหลือ 96 นาที ต่ำกว่าค่า Takt Time เป้าหมายอยู่ 50.66 นาที สาเหตุเนื่องจากก่อนการปรับปรุงพนักงานประกอบได้ครั้งละ 1 จุด เนื่องจากการประกอบส่วนต่างๆ ต้องให้พนักงานช่วยกันทำ 2 คน ก่อนการปรับปรุงมีพนักงาน 3 คน เมื่อพนักงาน 2 คนช่วยกันประกอบจึงทำให้พนักงานอีก 1 คน ว่างงาน

4.4 ผลการปรับปรุงแก้ไขสถานีงานที่ 4

หลังจากดำเนินการปรับปรุงโดยเพิ่มพนักงานเข้ามาช่วยในสายการผลิต 1 คน โดยให้จับคู่กับพนักงานที่ว่างงานช่วยกันประกอบเหล็กลางรถไฟ ประกอบชุดโครงไฟท้าย ประกอบแผ่นติดป้ายทะเบียน ประกอบโซ่ยึดฝาข้างและประกอบชุดกันสะเทือน ทำให้รอบเวลาแต่ละขั้นตอนลดลง ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รอบเวลาสถานีงานที่ 4 หลังการปรับปรุง

สถานีงาน	รายละเอียดงาน	รอบเวลา (นาที)
4	1.ประกอบชุดบังโคลนท้าย	34.00
	2.ประกอบชุดบังโคลนหน้า	19.00
	3.เจาะรูยึดลูกยางกันกระแทก	40.00
	4.ประกอบชุดคับล็อค	37.00
	5.เตรียมประกอบแขนลาก	3.00
	6.ประกอบแขนลาก	8.00
	7.ติดตั้งการ์ดมอเตอร์ไซด์	9.00
	8.ตรวจเช็คและแก้ไขส่งทำสี	15.00
	รอบเวลารวม	**165.00**

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มจำนวนพนักงานเข้าไปในสายการผลิต สามารถลดรอบเวลาการผลิตจาก 280 นาที เหลือ 165 นาที สาเหตุเนื่องจากก่อนการปรับปรุงพนักงานประกอบได้ครั้งละ 1 จุด เนื่องจากการประกอบส่วนต่างๆ ต้องให้พนักงานช่วยกันทำ 2 คน ก่อนการปรับปรุงมีพนักงาน 3 คน เมื่อพนักงาน 3 คนช่วยกันประกอบจึงทำให้พนักงานอีก 1 คน ว่างงาน แต่ยังมีรอบเวลาเกินค่า Takt Time เป้าหมายอยู่ 18.34 นาที คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์จึงใช้หลักการ ECRS มีแนวที่จะทำการสลับขั้นตอนบางขั้นตอนในสถานีงานที่ 4 ไปอยู่ที่สถานีงานที่ 3 เพื่อให้รอบเวลาในสถานีงานที่ 4 ลดลงให้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับแต่ไม่เกินค่า Takt Time เป้าหมาย ที่ 146.66 นาที ซึ่งต้องเลือกขั้นตอนที่มีรอบเวลาที่ใกล้เคียงหรือมากกว่า 18.34 นาที และต้องไม่มีผลต่อการผลิตต่อเนื่องในสายการผลิต ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสมดุลในสายการผลิตมากที่สุด คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์จึงเลือกขั้นตอนที่ 2 ประกอบชุดบังโคลนหน้า ซึ่งมีรอบเวลา 19 นาที โดยรอบเวลาในสถานีงานที่ 4 หลังการปรับปรุงใหม่ แสดงได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 รอบเวลาสถานีงานที่ 4 หลังการปรับปรุง (ครั้งที่ 2)

สถานีงาน	รายละเอียดงาน	รอบเวลา (นาที)
4	1.ประกอบชุดบังโคลนท้าย	34.00
	2.เจาะรูยึดลูกยางกันกระแทก	40.00
	3.ประกอบชุดคับล็อค	37.00
	4.เตรียมประกอบแขนลาก	3.00
	5.ประกอบแขนลาก	8.00
	6.ติดตั้งการ์ดมอเตอร์ไซด์	9.00
	7.ตรวจเช็คและแก้ไขส่งทำสี	15.00
	รอบเวลารวม	**146.00**

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่าหลังจากใช้หลักการ ECRS สลับตำแหน่งงานจากสถานีงานที่ 3 ไปอยู่สถานีงานที่ 3 ส่งผลให้รอบเวลาลดลงเหลือ 146 นาที ซึ่งต่ำกว่าและใกล้เคียงค่า Takt Time เป้าหมาย ที่ 146.66 นาที อยู่ 0.66 นาที และยังส่งผลให้รอบเวลาการผลิตในสถานีงานที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในตารางที่ 7

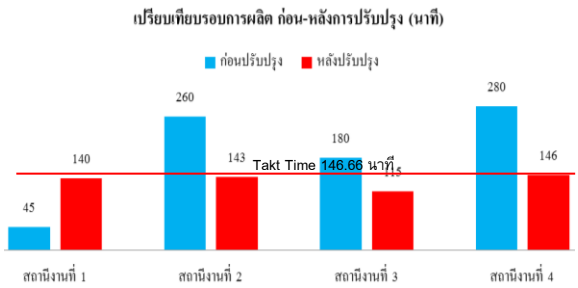
ตารางที่ 7 รอบเวลาสถานีงานที่ 3 หลังการปรับปรุง (ครั้งที่ 2)

สถานีงาน	รายละเอียดงาน	รอบเวลา (นาที)
3	1.ประกอบเหล็กรางรถไฟ	12.00
	2.ติดตั้งแผ่นป้ายรถพ่วง	8.00
	3.ประกอบชุดโครงไฟท้าย	6.00
	4.ประกอบแผ่นติดป้ายทะเบียน	4.00
	5.ประกอบโซ่ยึดฝาข้าง	4.00
	6.ประกอบชุดกันสะเทือน	45.00
	7.ติดตั้งชุดกันสะเทือนเข้ากับกระบะ	17.00
	8.ประกอบชุดบังโคลนหน้า	19.00
	รอบเวลารวม	**115.00**

จากตารางที่ 7 หลังจากสลับขั้นตอนการประกอบชุดบังโคลนหน้ามาอยู่ในสถานีงานที่ 3 ส่งผลให้รอบเวลารวมในสถานีงานเพิ่มขึ้นจาก 96 นาที เป็น 115 นาที เพิ่มขึ้น 19 นาที แต่ยังไม่เกินค่า Takt Time เป้าหมาย ที่ 146.66 นาที

4.5 เปรียบเทียบผลการดำเนินงาน

4.5.1 รอบเวลาการผลิตเปรียบเทียบกับค่า Takt Time เป้าหมาย ก่อน-หลัง การปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 22



รูปที่ 22 รอบเวลาแต่ละสถานีงาน ก่อน-หลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 22 พบว่าหลังการปรับปรุงทุกสถานีงานที่รอบเวลาใกล้เคียงและต่ำกว่าค่า Takt Time ที่ 146.66 นาที ทุกสถานีงาน เริ่มจากสถานีงานที่ 1 มีรอบเวลา 140 นาที ซึ่งเพิ่มขึ้นจาก 45นาทีก่อนการปรับปรุง สถานีงานที่ 2 รอบเวลาลดลงจาก 260 นาทีเหลือ 143 นาที ลดลง 117 นาทีคิดเป็นร้อยละ 45 สถานีงานที่ 3 รอบเวลาลดลงจาก 180 นาทีเหลือ 115 นาที ลดลง 65 นาทีคิดเป็นร้อยละ 36.11 สถานีงานที่ 4 รอบเวลาลดลงจาก 280 นาทีเหลือ 146 นาที ลดลง 134 นาทีคิดเป็นร้อยละ 47.86

4.5.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการผลิต ก่อน-หลัง การปรับปรุง

Line Efficacy = [544 x 100] / [4 x 146] = 93.15%

จากการคำนวณพบว่าหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 68.30% เป็น 93.15% คิดเป็นเพิ่มขึ้น 24.28%

4.5.3 เปรียบเทียบอัตราผลิตภาพ ก่อน-หลัง การปรับปรุง แสดงได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบอัตราผลิตภาพ ก่อน-หลังการปรับปรุง

	ผลผลิต/วัน	เวลา/วัน	คน/วัน	ผลิตภาพ	%ผลิตภาพ
ก่อน	4	12	13	0.025	40%
หลัง	4	8	14	0.035	

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการจัดสมดุลสายการผลิตกระบวนการผลิตรถพ่วงกระบะสามารถลดรอบเวลาการผลิตแต่ละสถานีงานได้ใกล้เคียงแต่ไม่เกินค่า Takt Time เป้าหมายที่ 146.66 นาที ได้ทุกสถานีงานโดยสถานีงานที่ 1 มีรอบเวลา 140 นาที ซึ่งเพิ่มขึ้นจาก 45 นาทีก่อนการปรับปรุง สถานีงานที่ 2 รอบเวลาลดลงจาก 260 นาทีเหลือ 143 นาที ลดลง 117 นาทีคิดเป็น 45% สถานีงานที่ 3 รอบเวลาลดลงจาก 180 นาทีเหลือ 115 นาที ลดลง 65 นาทีคิดเป็น 36.1% สถานีงานที่ 4 รอบเวลาลดลงจาก 280 นาทีเหลือ 146 นาที ลดลง 134 นาทีคิดเป็น 47.86% รอบเวลาการผลิตรวมลดลงจาก 765 นาที เหลือ 544 นาที ลดลง 221 นาที คิดเป็น 28.89%ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 68.30% เป็น 93.15% คิดเป็นเพิ่มขึ้น 24.28% และสามรถเพิ่มอัตราผลิตภาพได้ 40%

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำงานวิจัยนี้ไปปฏิบัติ การนำงานวิจัยนี้ไปใช้นั้นต้องคำนึงถึงเครื่องมือที่เหมาะสม เนื่องจากงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นนั้นใช้เฉพาะชิ้นส่วนรถพ่วงกระบะ (Full Box) เท่านั้น หากนำไปใช้กับการประกอบรถชนิดอื่นๆ ต้องทำการออกแบบคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างอื่นด้วย แต่ก็ยังคงยึดหลักการที่ทางผู้ดำเนินงานได้ทำการปรับปรุงไว้ เพื่อให้ประสิทธิภาพของสายการผลิตได้ใกล้เคียงหรือดีกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทตัวอย่างผู้เป็นเจ้าของข้อมูลที่ได้อนุญาตให้ข้อมูลของทางโรงงานและอำนวยความสะดวกให้ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ดำเนินงานและขอขอบคุณพนักงานฝ่ายผลิตทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] นพเก้า ศิริพลไพบูลย์. 2548. หลักการเพิ่มผลผลิต (Productivity Improvement).พิมพ์ครั้งที่5. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ประชาชน.

[2] วันชัย ริจิรวนิช. 2548. การศึกษาการทำงาน และกรณีศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 4, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] วัชรินทร์ สิทธิเจริญ. 2547. การศึกษางาน (Work Study). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์โอเดียนสโตร์.

[4] ดวงรัตน์ ชีวปัญญาโรจน์. และศุภศักดิ์ พงษ์อนันต์. 2554. ความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes). กรุงเทพฯ : สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.

[5] โยชิโนบุ นายาทานิ และคณะ. 2541. New 7 QC Tools เครื่องมือสู่คุณภาพยุคใหม่.แปลโดยวิฑูรย์ สิมะโชคดี. พิมพ์ครั้งที่ 1: กรุงเทพฯ,

[6] วิจิตร ตัณฑสุทธิ์และคนอื่นๆ, 2539, การศึกษาการทำงาน, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[7] พิทธพนธ์ พิทักษ์, 2552, การศึกษากระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษา อุตสาหกรรมล้างขวด, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,

[8] นันกฤษณา ยอดพิจิตร, 2547, การประยุกต์ใช้เทคนิคการทำงานเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษา หจก. รวมการช่าง จำกัด, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,

[9] Sury, R. J. 1971. Aspects of assembly line balancing. International Journal of Production Research, 9: 8-14.

การออกแบบอุปกรณ์ยึดชิ้นงาน และระบบป้องกันความผิดพลาด เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตโฟมเบาะรถยนต์ กรณีศึกษา : โรงงานตัวอย่าง

Waste Reduction In Forming Foam Car Seat Process Jig Design and Poka-Yoke A Case Study of an Automotive Part Factor

นัทรมย์ ศรีรัตนพันธ์* ณฐา คุปตัษเฐียร
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110,
E-mail: storsakul@yahoo.com*

Nattharom Srirattanphan* Natha Kuptasthien
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Thanyaburi, Phatumthani 12110
E-mail: nattaromsr@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ปัญหาของเสียที่ต้องนำกลับมาซ่อมใหม่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เบาะนั่งรถยนต์ของบริษัทตัวอย่างในปัจจุบันถึง 100% ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นเป็นอุปสรรคต่อความสามารถในการแข่งขันองค์กรกับคู่แข่งทางการตลาดในธุรกิจประเภทเดียวกันเป็นอย่างยิ่งงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและหาแนวทางในการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตลดต้นทุน และพัฒนาคุณภาพของสินค้าให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุดเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย การคัดเลือกปัญหาด้วยหลักการบริหารคุณภาพแบบกลุ่ม เครื่องมือควบคุมคุณภาพ และเครื่องมือควบคุมคุณภาพแบบใหม่ทั้ง 7 ชนิด สำหรับการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา จากการศึกษาพบว่าของเสียในกระบวนผลิตเกิดจากขั้นตอนการดึงชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์เบาะนั่งรถยนต์ออกจากแม่พิมพ์ด้านซ้าย-ขวา พร้อมกันทำให้เนื้อโฟมรั้งอยู่กับตัวแม่พิมพ์เกิดการฉีกขาด จากการดำเนินการแก้ไขทั้งหมด 4 ครั้ง โดยเริ่มจากครั้งที่ 1 การกำหนดมาตรฐานการดึงชิ้นงานออกแม่พิมพ์ ครั้งที่ 2 การออกแบบกลไกการ เข้า-ออก โดยใช้การเปิด-ปิด แม่พิมพ์กดสปริงแกนเหล็กในการทำงาน ครั้งที่ 3 ออกแบบแกนเหล็กติดแม่เหล็กไว้ที่ฐานแยกออกจากแม่พิมพ์ และครั้งที่ 4 ออกแบบเครื่องมือระบบชุดสวิงในการทำงาน ผลการดำเนินงานพบว่าสามารถลดของเสียที่ต้องนำกลับมาซ่อมใหม่ได้ 100%

คำหลัก ของเสียเป็นศูนย์ แม่พิมพ์ การออกแบบอุปกรณ์จับยึด

Abstract

The problem of waste Brought back at rework occur in the process of forming products car seat cushion it very affects company current up to 100% resulting in Higher production costs are barrier to ability the organization cannot compete with other competitor in the same market. This research aims to study and find ways to reduce the amount of waste that generated in the production of truck tires and agricultural vehicles: moreover, moreover, the research will make efficient production, reduce costs and improve quality of product to customer is satisfied in the product. The research will use tool that is the selection problem with quality control cycle seven principles of waste reduction. The seven tools of quality control

and new seven tools of quality control for the collect data and analyze. The study found, most wastes generated in the process Pull the car seat out product parts leave mold side left and right sides together cause foam stick shape mold born lacerate. Corrective action of all four times by the 1st time standards pulling the product out of mold 2nd time mechanism design in–out using the on - off the mold press springs steel stud work 3rd times steel stud magnet design at the base of the mold and 4th time follower swing system design work. Results found that able reducing waste to be rework 100%

Keywords: Zero Defect Mold Jig and Fixture Design

1. บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์นับว่าเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอุตสาหกรรมหนึ่งของประเทศซึ่งจะเห็นได้ว่าผู้ประกอบการหลายๆ บริษัทชั้นนำของโลกไม่ว่าจะเป็น HONDA,FORD,TOYOTA,GM หรือ MAZDA ได้เข้ามาลงทุนในประเทศไทยและใช้เป็นมาตรฐานในการผลิตรถยนต์ไปขายยังต่างประเทศส่งผลให้ในปัจจุบันมีการแข่งขันกันสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณภาพสินค้าและต้นทุนของการผลิตซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออุตสาหกรรมดังกล่าว

บริษัทตัวอย่างกรณีศึกษาเป็นผู้ประกอบการอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ประเภทเบาะนั่งรถยนต์ รุ่น 2HC RR BACK (Type Z0) MODEL CIVIC ให้กับรถยนต์ยี่ห้อ HONDA ซึ่งเป็นกระบวนการขึ้นรูปด้วยการฉีดน้ำยาลงในแม่พิมพ์ผ่านความร้อนตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยมี LASER เป็นตัวควบคุมความร้อนเนื่องจากแม่พิมพ์มีขนาดไม่เท่ากัน จนเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 เบาะนั่งรถยนต์ รุ่น 2HC RR BACK (Type Z0)

ปัจจุบันเกิดของเสีย (Defect) ขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งได้แก่ ชิ้นงานฉีกขาดจากขั้นตอนการดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า Df-c01) Set Sub mat'l หลุด (ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า Df-c02) ชิ้นงานไม่ได้คุณภาพจากสาเหตุขอบซีลแข็ง (ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า Df-c03) ใส่ Sub Mat ผิดรุ่น (ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า Df-c04) โดยข้อมูลปัญหาของเสีย ระหว่าง เดือน กรกฎาคม ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ.2557ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1ข้อมูล ของเสีย ก่อนการปรับปรุง

เดือน	Df-c01	Df-c02	Df-c03	Df-c04
ก.ค. 57	3,516	1,312	11	4
ส.ค. 57	3,915	1,432	9	2
ก.ย.57	3,673	2,013	8	2
ต.ค.57	3,856	2,121	6	5
พ.ย.57	3,678	1,673	5	4
ธ.ค.57	3,745	1,673	7	3
ค่าเฉลี่ย	3,731	1,704	8	2

จากตารางที่ 1 สามารถคิดเป็นเป็นมูลค่างานเสียได้ดังแสดงในตาราง 2

ตารางที่ 2 ข้อมูล มูลค่างานเสีย ก่อนการปรับปรุง

เดือน	Df-c01	Df-c02	Df-c03	Df-c04
ก.ค. 57	52,740	6,560	4,400	4,400
ส.ค. 57	58,725	7,160	3,600	3,600
ก.ย.57	55,095	10,065	3,200	3,200
ต.ค.57	57,840	10,605	2,400	2,400
พ.ย.57	55,170	8,365	2,000	2,000
ธ.ค.57	56,175	8,365	2,800	2,800
ค่าเฉลี่ย	335,745	51,120	18,400	18,400

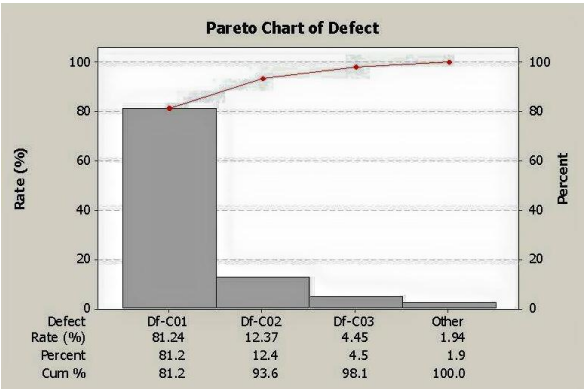
จากข้อมูลในตารางที่ 2 ปัญหาจาก Df-C01 มีปัญหาความรุนแรงมากที่สุดเฉลี่ย 3,731 ชิ้น โดยมีมูลค่างาน

ซ่อม335,745บาท คิดเป็น 3.75% อันดับต่อมาเป็นปัญหาจาก Df-C02 มีของเสีย 1,704 ชิ้น/เดือน มีมูลค่างานซ่อม 51,120 บาท คิดเป็น 0.57% ปัญหาต่อไปเป็นปัญหาของเสียที่จาก Df-C03 มีของเสีย 8 ชิ้น/เดือนมีมูลค่างานเสีย 18,400บาท คิดเป็น 0.21% และสุดท้ายเป็นปัญหาจาก Df-C04 มีของเสีย 2 ชิ้น/เดือนมีมูลค่างานเสีย 8,000บาท คิดเป็น 0.09% จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยได้นำไปจัดเรียงลำดับความสำคัญและความถี่ของปัญหาจากมากไปหาน้อยเพื่อจะได้ทำการพิจารณาคัดเลือกปัญหาที่มีความสำคัญมากที่สุดมาทำการแก้ไขก่อนเป็นอันดับแรกหากได้ผลก็ขยายผลไปสู่ปัญหาที่รองลงไปโดยการแจกแจงความถี่ของปัญหาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์สะสมของมูลค่างานเสีย

ปัญหา	มูลค่างานเสีย (บาท)	(%)	มูลค่าสะสม (บาท)	(%) สะสม
Df-C01	335,745	81.24	335,745	81.24
Df-C02	51,120	12.37	386,865	93.61
Df-C03	18,400	4.45	405,265	98.06
Df-C04	8,000	1.94	413,265	100
รวม	413,265	100	1,541,140	

จากตารางที่ 3 ลักษณะปัญหา Df-C01 มีความรุนมากที่สุดโดยมีมูลค่างานเสียถึง 335,745 บาท และเพื่อให้เห็นภาพได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้นำผลข้อมูลการแจกแจงมาทำการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิแท่งการจัดลำดับ (Pareto Diagram) ดังแสดงได้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิแท่งการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

จากรูปที่ 2 ผู้วิจัยได้นำข้อมูลของปัญหามาทำการแจกแจงโดยผู้วิจัยเลือกใช้มูลค่างานเสียมาทำการเปรียบเทียบ จากนั้นใช้แผนภูมิแท่งการจัดลำดับซึ่งเครื่องมือควบคุมคุณภาพวิเคราะห์ความสำคัญ ผลจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นเจนว่าของเสียที่เกิดจากลักษณะ Df-C01 มีปัญหาและความรุนแรงมากที่สุดคิดเป็น 81.24 % ของปัญหาทั้งหมดผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำปัญหาดังกล่าวมาทำการปรับปรุงแก้ไข Df-C01 เป็นของเสียลักษณะชิ้นงานเกิดการฉีกขาดในส่วนที่เสริมแกนอลูมิเมียมฝังลงไปในแม่พิมพ์เพื่อสร้างส่วนที่เป็นรู โดยรอยฉีกขาดจะเกิดจากขั้นตอนการดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 3 รอยฉีกขาดในขั้นตอนการดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ซึ่งปัญหาความสูญเสียนี้เกิดขึ้นตลอดเวลาของการผลิต ส่งผลให้บริษัทต้องแบกรับภาระต้นทุนต่อหน่วยที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหากสามารถปรับปรุงให้มีความสูญเสียลดน้อยลงหรือหมดไปจากกระบวนการผลิต ก็จะส่งผลให้บริษัทตัวอย่างมีผลกำไรเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงได้เข้ามาศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นและนำปัญหาไปวิเคราะห์หาสาเหตุโดยการใช้หลักการทางวิศวกรรมไปประยุกต์ เพื่อใช้แก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิต ให้จุดบกพร่องของกระบวนการผลิตลดน้อยลงให้มากที่สุดหรือมีค่าเป็น 0 หรือ Zero Defect

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เบาะนั่งรถยนต์ รุ่น 2HC RR BACK (Type Z0) Model Civic จากปัจจุบัน 100% ให้เหลือ 0% และนำกำหนดให้เป็นเอกสารการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐานให้กับพนักงานได้

1.2 สมมุติฐานงานวิจัย

หลังจากปรับปรุงวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เบาะนั่งรถยนต์ รุ่น 2HC RR BACK (Type Z0) Model Civic ด้วยหลักการออกแบบอุปกรณ์จับยึดสามารถลดของเสียในกระบวนการผลิตได้ 100 % และสามารถนำไปกำหนดให้เป็นเอกสารการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐานให้กับพนักงานได้

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ของเสีย

ลัดดาวัลย์ มิ่งกมลรัตน์ ให้ความหมายของคำว่า ของเสียว่าของที่มีคุณภาพที่ไม่สมบูรณ์ตามความต้องการของลูกค้าหรือของที่มีคุณสมบัติของคุณภาพไม่สมบูรณ์ครบถ้วนตามที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นความหมายที่ใช้นิยามทั่วไปสาหรับภาคอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าและได้ระบุสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาเป็นของเสีย [1]

2.2 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพในกระบวนการผลิตซึ่งช่วยในการเก็บข้อมูล และศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหาซึ่งประกอบด้วย แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) ผังพาเรโต (Pareto Diagram) กราฟ (Graph) ผังแสดงเหตุ (Cause & Effect Diagram) ผังการกระจาย (Scatter Diagram) แผนภูมิควบคุม (Control Chart) และฮิสโตแกรม (Histogram) [2]

2.3 เครื่องมือควบคุมคุณภาพแบบใหม่ 7 ชนิด

เป็นเครื่องมือที่พัฒนาเพิ่มเติมมาจากเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (QC 7 Tools) ให้มีความเหมาะสมและเป็นประโยชน์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นคำพูดเพื่อวางแผนกลยุทธ์ แผนปฏิบัติการในเชิงป้องกันหรือเชิงรุก โดยการระดมความคิดและข้อเท็จจริงรวมถึงการมองภาพความต้องการ เพื่อกำหนดแผนงาน/โครงการในอนาคตขององค์กรได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งประกอบด้วย แผนภูมิการจัดกลุ่มความคิด (Affinity Diagram) แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ (Relation Diagram) แผนภูมิต้นไม้ตัดสินใจ (Tree Diagram) แผนภูมิเมตริกซ์ (Matrix Diagram) แผนภาพการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเมตริกซ์ (Matrix Data Analysis Chart) แผนภาพทางเลือกตัดสินใจเพื่อบริหารความเสี่ยง (Process Decision Program Chart, PDPC) และแผนภูมิลูกศร (Arrow Diagram) [3]

2.4 อุปกรณ์ป้องกันความผิดพลาด

การป้องกันความผิดพลาดล่วงหน้าแทนการยอมรับว่าจะต้องมีชิ้นส่วนชำรุดเป็นจำนวนกี่เปอร์เซ็นต์ อุปกรณ์หรือกระบวนการ Poka -Yoke จะถูกติดตั้งเพื่อป้องกันความเสียหายแต่เนิ่นๆ เป้าหมายก็ คือ การลดต้นทุนการผลิตโดยการควบคุมคุณภาพการผลิตและลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตให้เท่ากับศูนย์ หรือที่เรียกว่า Zero Quality Control และเมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายจากการทำงาน เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตชำรุด และสินค้าที่ผลิตไม่มีคุณภาพ ระบบจะหยุดชั่วคราวจนกว่าจะหาข้อผิดพลาดได้ และทำการแก้ไขข้อผิดพลาดแล้ว ทำให้สามารถลดปัญหาการที่ต้องกลับมาแก้ไขงาน (Rework) ได้ทันที [4]

2.5 การออกแบบอุปกรณ์จับยึด

การออกแบบเครื่องมือเป็นกระบวนการของการออกแบบ และปรับปรุงเครื่องมือวิธีการและเทคนิคที่จำเป็นหลายๆ อย่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมและเพิ่มผลผลิต (Productivity) ให้สูงขึ้นการออกแบบเครื่องมือที่เกี่ยวกับเครื่องจักรในอุตสาหกรรมและเครื่องมือพิเศษอื่นๆทำให้การผลิตชิ้นงานทำได้อย่างรวดเร็ว และมีปริมาณสูงอีกทั้งยังทำให้สินค้ามีคุณภาพ และประหยัดซึ่งจะทำให้เป็นที่แน่ใจว่าสินค้าที่ผลิตออกไปจะได้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลตามความต้องการของลูกค้า [5]

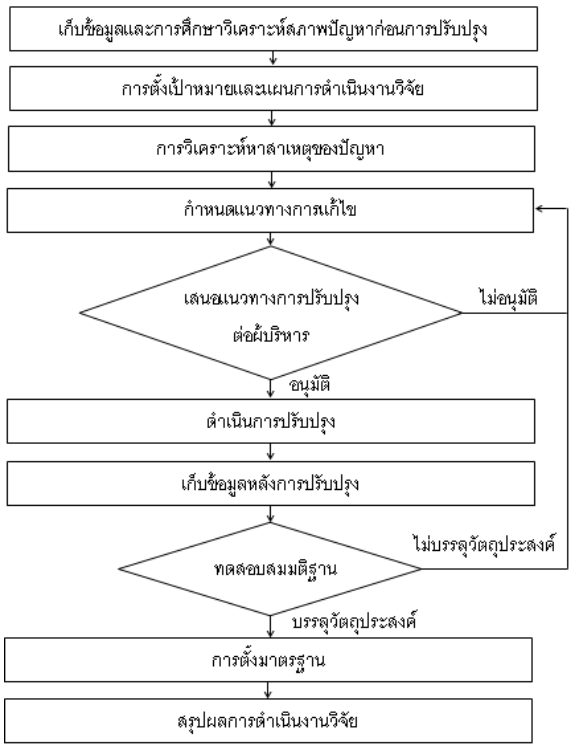
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้างานวิจัยเพื่อลดของเสียในภาคอุตสาหกรรมพบว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องนำเครื่อง มือควบคุมคุณภาพที่มีประ สิทธิภาพมาใช้ในการเก็บข้อมูลทางสถิติ [2,3] เพื่อนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และหาข้อสรุปถึงสาเหตุของปัญหาและสาเหตุของการเกิดของเสียอย่างเป็นระบบ และใช้เทคนิคการตั้งคำถาม Why Why Analyze วิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อแล้วนำมากำหนดแนวทางการแก้ไข [6] จากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขตาม ลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้น [7] อุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปทำการลดข้อบกพร่องที่เกิดจากกรบวนการผลิต จากการศึกษาพบว่าส่วนใหญ่ของเสียเกิดขึ้นบริเวณตะเข็บด้านข้างของตัวผลิตภัณฑ์ไม่แน่นสาเหตุเกิดจาก กระบวนการเย็บเข้าข้างตัวกางเกงโดยใช้เครื่องจักรฝีเข็ม เดี่ยวชนิดฝีเข็มลูกโซ่ [8] อีกด้านหนึ่งคือ

ของเสียที่เกิด จากความเสียหายทางกล (Mechanical Damage) โดยเกิดขึ้นเนื่องจากวิธีการปฏิบัติงานของพนักงานหรือเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานไม่ได้รับการบำรุงรักษาที่ดี

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

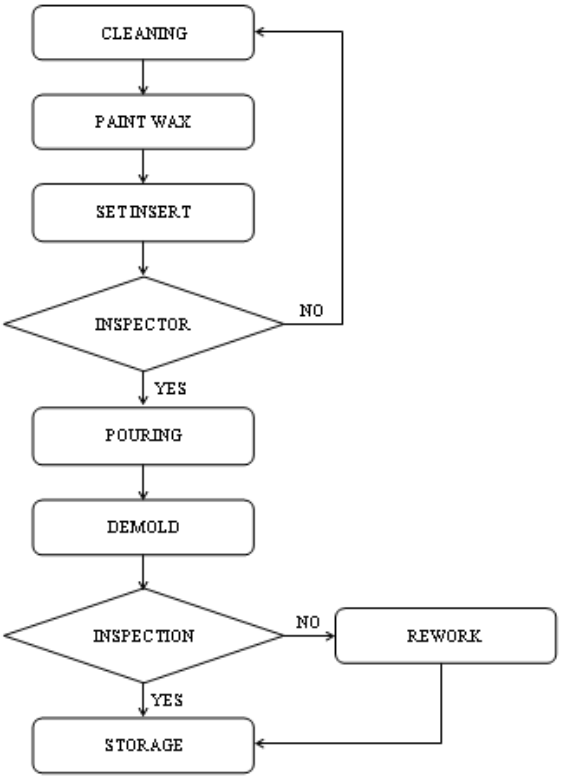
การดำเนินงานวิจัยจะเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิต หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูลของเสีย วิเคราะห์สภาพปัญหาก่อนการปรับปรุงตั้งเป้าหมาย และแผนการดำเนินงานวิจัย วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา และกำหนดแนวทางการแก้ไข ดำเนินการปรับปรุง เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง วิเคราะห์และประเมิลผล สรุปผลการดำเนินงานวิจัย ซึ่งที่กล่าวมาทั้งหมดนี้สามารถแสดงเป็นแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน

ผลิตภัณฑ์โฟมขึ้นรูปของบริษัทตัวอย่าง เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเบาะรถยนต์ด้านหน้า และด้านหลัง (Automotive Seats & Cushion) ซ้าย-ขวา รุ่น 2HC ซึ่งเป็นฟองน้ำเปล่าที่ยังไม่ได้หุ้มหนังโดยมีขั้นตอนการผลิตและตรวจเช็คผลิตภัณฑ์ ดังในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการขึ้นรูปผลิภัณฑ์

3.2 สภาพของปัญหา

จากการศึกษากระบวนการผลิตผู้วิจัยพบปัญหาที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดของเสียหลัก คือ ขั้นตอนการดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ซึ่งทำให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาด ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 6 ของเสียที่เกิดจากการดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

จากรูปที่ 6 ลักษณะสาเหตุของเสียเกิดจากการดึงชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์เบาะนั่งรถยนต์ออกจาก MOLD ด้าน RH-LH พร้อมกัน ทำให้เนื้อโฟร์มรั้ง Shape Mold เกิดการฉีกขาดต้องนำกลับมาซ่อมใหม่

3.3 การตั้งเป้าหมาย

จากปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทั้งหมด 100% ทำให้ต้องสูญเสียค่าซ่อมงานเป็นจำนวน 335,745 บาท ส่งผลให้ต้นทุนต่อหน่วยเพิ่มมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีการตั้งเป้าหมายในการแก้ปัญหาว่าหลังปรับปรุงแล้วจะต้องไม่มีของเสียเหลือในกระบวนการผลิต หรือของเสียต้องเป็นศูนย์

3.4 การวิเคราะห์ความเสี่ยงจาก4 ปัจจัยหลัก

หลังจากมีการคัดเลือกเป็นหาด้วยการแจกแจงความถี่ของมูลค่าความสูญเสียก่อนการปรับปรุง 6 เดือน ผลปรากฏว่า งานเสียลักษณะ Df-C01 มีลักษณะความรุนแรงมากที่สุด แต่ก็ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าการนำปัญหาลักษณะ Df-C01 มาทำการปรับปรุงแก้ไขจะมีโอกาสสำเร็จได้ 100% เนื่องจากยังมีปัญหาที่เกิดจากหน่วยงานผ่านในซึ่งอาจจะส่งผลให้การปรับปรุงไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรผู้วิจัยจึงทำการคัดเลือกปัญหาอีกครั้งโดยยึดหลักการให้คะแนนความสำคัญจากปัญหาใน 4 ปัจจัยหลัก ซึ่งได้แก่ ผลกระทบจากความสูญเสีย ความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหา ความรุนแรงต่อหน่วยงานอื่น และความถี่ในการเกิดปัญหา การให้คะแนนจะให้พนักงานทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเป็นผู้ให้ ผลการให้คะแนนสามารถ ได้ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คัดเลือกปัญหาโดยคะแนนตามความรุนแรง

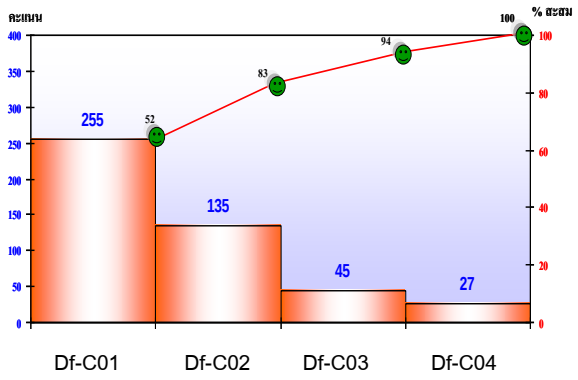
No	ผลกระทบ			ความเป็นไปได้			ความรุนแรง			ความถี่			คะแนน	คิดเป็น %	% สะสม
	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5			
1													225	52	52
2													135	31	83
3													45	11	94
4													27	6	100
													TOTAL 432	100	

1 คะแนน = น้อย
3 คะแนน = ปานกลาง
5คะแนน = สูง

โดยที่

1. คือปัญหา Df-C01 2. คือปัญหา Df-C02
3. คือปัญหา Df-C03 4. คือปัญหา Df-C04

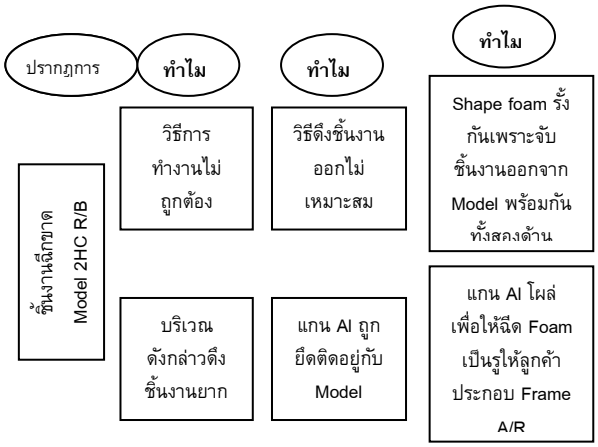
จากตารางที่ 4การให้คะแนนความสำคัญลักษณะของปัญหาDf-C01มีความเป็นไปได้และความถี่ที่จะเกิดปัญหาสูงซึ่งผลการให้คะแนนของกลุ่มพนักงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเป็นอันดับหนึ่งด้วยคะแนน 225 คะแนน คิดเป็น 52% และเพื่อให้เห็นชัดเจนมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้แผนภูมิแท่งการจัดลำดับซ้ำอีกครั้ง ดังแสดงในรูป 7



รูปที่ 7 แผนภูมิแท่งการจัดลำดับ

3.5 การวิเคราะห์ปัญหา

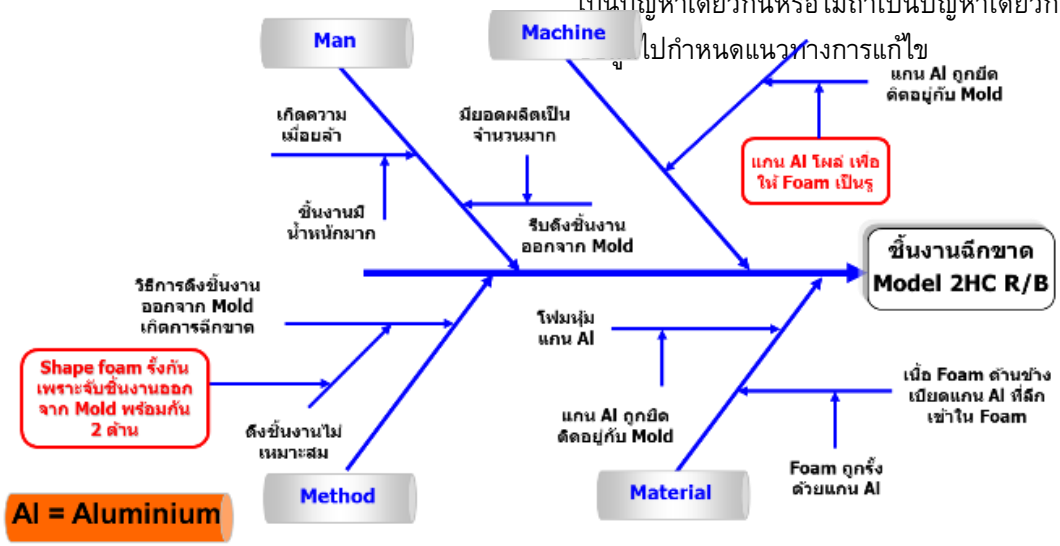
หลังจากคัดเลือกปัญหาแล้วจะข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องมือทั้งหมด4 ชนิด วิเคราะห์ปัญหาเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าปัญหาที่พบเป็นปัญหาเดียวกันแล้วนำไปกำหนดแนวทางการแก้ไขแล้วจะได้ไม่เกิดความผิดพลาด โดยจะเริ่มจากเทคนิคการตั้งคำถาม Why Why Analysis ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบ โดยไม่ให้เกิดการตกหล่น ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การตั้งคำถาม Why Why Analysis

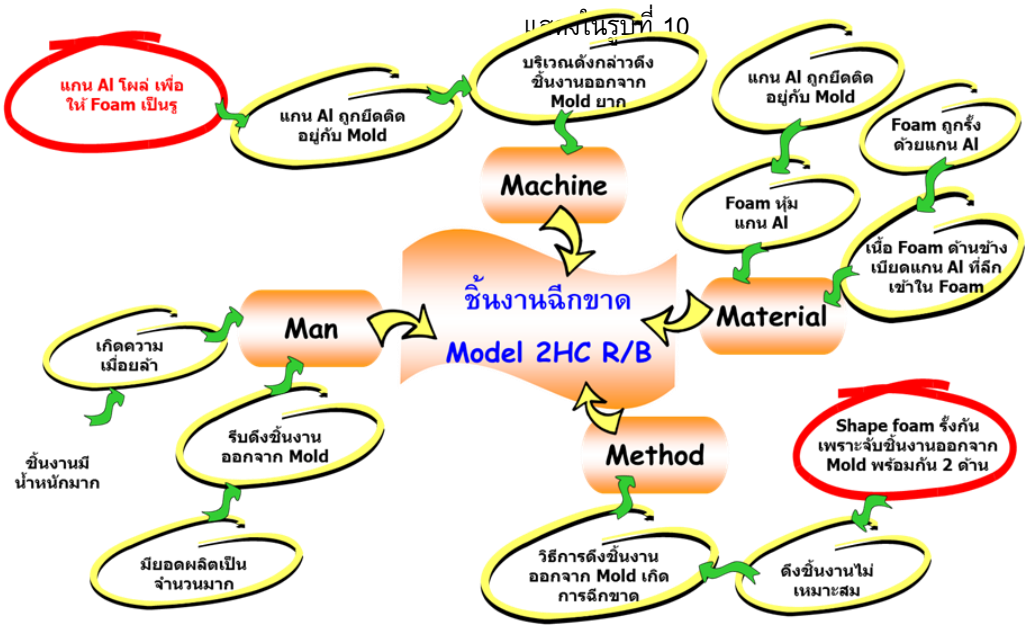
จากเทคนิคการตั้งคำถาม Why Why Analysis ทำให้มองเห็นปัญหาชัดเจนมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลที่

ได้มาทำการวิเคราะห์ซ้ำ ด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพและเครื่องมือควบคุมคุณภาพแบบใหม่ สามชนิด คือ แผนผังแสดงสาเหตุและผล ดังแสดงในรูปที่ 9 แผนภาพความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 10 และแผนผังต้นไม้ ดังแสดงในรูป 11 มาช่วยในการวิเคราะห์ตามลำดับ เพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบว่าปัญหาที่พบเป็นปัญหาเดียวกันหรือไม่ถ้าเป็นปัญหาเดียวกันจึงจะนำไปกำหนดแนวทางการแก้ไข



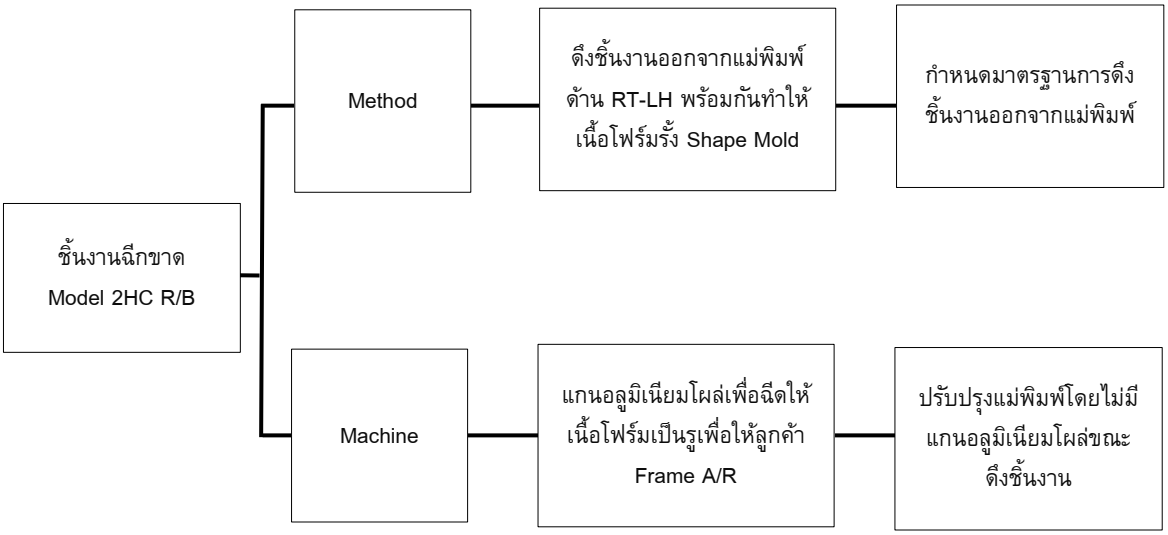
รูปที่ 9 แผนผังแสดงสาเหตุ และผล วิเคราะห์ปัญหาการฉีกขาดของชิ้นงาน

จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนผังแสดงสาเหตุและผล พบว่าปัญหาที่พบยังคงเป็นปัญหาเดิมที่พบในการใช้เทคนิคการตั้งคำถาม Why Why Analysis วิเคราะห์ คือ Shape Foam เกิดการรั้งกัน เนื่องจากมีแกนอลูมิเนียมโผล่ ทำให้ดึงชิ้นงานออกยากส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาด และเพื่อให้เกิดความมั่นใจผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ต่อเนื่องด้วยแผนภาพความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภาพความสัมพันธ์

จากรูปที่ 10 เมื่อใช้แผนภาพแสดงความสัมพันธ์มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาก็ยังพบว่าปัญหาที่ทำให้ชิ้นงานฉีกขาดยังคงเป็นปัญหาเดิมกับที่ได้จากเทคนิคการตั้งคำถาม Why Why Analysis และแผนผังแสดงสาเหตุ และผล ผู้วิจัยได้นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์อีกครั้งซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเป็นครั้งสุดท้าย โดยอาศัยแผนผังต้นไม้ในการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนผังต้นไม้

3.6 กำหนดแนวทางการแก้ไข

หลังจากวิเคราะห์ปัญหาด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพ และเครื่องมือควบคุมคุณภาพแบบใหม่ผู้วิจัยได้นำปัญหาที่พบมากำหนดแนวทางการแก้ไข และผลการกำหนดแนวทางการแก้ไข และปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตเบาะนั่งรถยนต์รุ่น 2HC สามารถสรุปประเด็นต่างๆ ได้ดังนี้

3.6.1 ปัญหาที่เกิดจากวิธีการทำงาน

พนักงานดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ด้าน RH-LH พร้อมกันทำให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดสาเหตุเกิดจาก Shape foam รั้งกัน เนื่องจากพนักงานจับชิ้นงานออกจาก Mold พร้อมกันทั้ง 2 ด้าน แนวทางการแก้ไขกำหนดมาตรฐานการดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ให้กับพนักงาน

3.6.2 ปัญหาที่เกิดจากเครื่องจักร และอุปกรณ์

พนักงานดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ด้าน RH-LH พร้อมกันทำให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาดสาเหตุเกิดจากจังหวะที่ดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์มีแกนอลูมิเนียมโผล่ยืดออกมานอกแม่พิมพ์ทำให้ชิ้นงานเกิดการฉีกขาด แนวทางการแก้ไขคือ ออกแบบกลไกการเข้า-ออก โดยใช้การเปิด-ปิดแม่พิมพ์กดสปริงแกนเหล็กในการทำงานเพื่อให้แกนอลูมิเนียมหดเข้าเวลาเปิดฝาแม่พิมพ์และหดออกเวลาปิดฝาแม่พิมพ์ และออกแบบแกนอลูมิเนียมให้เป็นอิสระสามารถดึงติดออกมากับชิ้นงานเลย

4 ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

จากการกำหนดแนวทางการแก้ไขผู้วิจัยนำมาดำเนินการปรับปรุงตามขั้นตอนดังนี้

4.1 การปรับปรุงครั้งที่ 1

นำวิธีการมาแก้ไขก่อนเป็นอันดับแรก เมื่อพนักงานดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์พนักงานจะจับชิ้นงานด้าน RH-LH พร้อมกัน จึงอาจเป็นสาเหตุทำให้เนื้อโฟร์มรั้ง Shape Mold ทำให้ชิ้นงานฉีกขาดจึงแก้ไขโดยกำหนดมาตรฐานการดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์เพื่อให้กับพนักงานทดลองดึงชิ้นงานทั้งหมด 20 ชิ้น ซึ่งพบว่าชิ้นงานยังฉีกขาดทุกชิ้น สรุปได้ว่าปัญหาไม่ได้มาจากสาเหตุการดึงชิ้นงานพร้อมกันหรือดึงทีละชิ้น

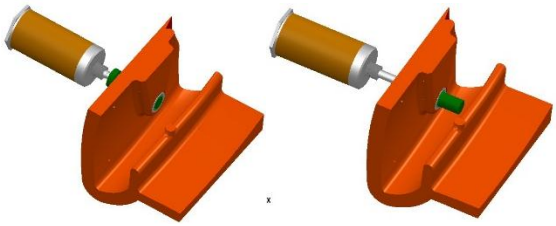
4.2 การปรับปรุงครั้งที่ 2

หลังจากทำการทดลองผลิตชิ้นงาน 20 ชิ้น ด้วยการกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงานพบว่าชิ้นงานยังฉีกขาดหมดทุกชิ้น คิดเป็น 100% จึงสรุปว่าไม่ได้มาจากสาเหตุ

ของการขาดมาตรฐานการปฏิบัติงาน แต่จากการสังเกตเมื่อดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เนื้อโฟมเกิดการฉีกขาด เนื่องจากมีแกนอะลูมิเนียมยืดออกมานอกแม่พิมพ์เมื่อดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ด้าน RH-LH พร้อมกันทำให้เนื้อโฟมรั้ง Shape แม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 12

รูปที่ 12 ลักษณะการโผล่ออกมาของแกนอะลูมิเนียม

แนวทางในการปรับปรุงครั้งที่ 2 จึงเป็นการออกแบบกลไกการ เข้า-ออก ของแท่งอลูมิเนียม ด้วยการ เปิด-ปิดฝาแม่พิมพ์ด้วยการกดสปริงแกนเหล็กในการทำงานเมื่อเปิดฝาแท่งอลูมิเนียมจะหดกลับเมื่อปิดฝาแท่งอลูมิเมียมจะดันโผล่เข้าไปในแม่พิมพ์ ซึ่งแสดงได้ในรูปที่ 13



จังหวะฝาแม่พิมพ์เปิด จังหวะฝาแม่พิมพ์ปิด

รูปที่ 13 การออกแบบกลไกการทำงานของแท่งอลูมิเนียม

จากนั้นนำไปจัดสร้างอุปกรณ์ต้นแบบและทดลองผลิตทั้งหมด 20 ชิ้น ปรากฏว่าชิ้นที่ 1-7 ผลการดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ไม่ฉีกขาด แต่จากชิ้นที่ 8-20 เกิดการฉีกขาดขึ้นอีก สรุปยังมีชิ้นงานที่เป็นของเสียเหลืออยู่ในกระบวนการผลิต 13 ชิ้น คิดเป็น 65%จากการสังเกตพบว่าสาเหตุเกิดจากแกนอะลูมิเนียมที่ทำการออกแบบเพื่อใช้เป็นกลไกล ปิด-เปิด ฝาแม่พิมพ์ หดตัวเข้าด้านในแม่พิมพ์ไม่สุด ทำให้น้ำยาที่ฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ แทรกตัวเข้าไปในระบบกลไกส่งผลให้ตัวสปริงไม่ทำงาน

4.3 การปรับปรุงครั้งที่ 3

หลังจากติดตั้งกลไกลเพื่อใช้ในการ ปิด-เปิด แม่พิมพ์แล้วทำการทดลองผลิตชิ้นงาน 20 ชิ้น ปรากฏว่ายังมีของเสียเหลือในกระบวนการผลิต 65% สาเหตุเกิดจากมีน้ำยาแทรกเข้าไปในระบบกลไกทำให้แกนอะลูมิเนียมหดตัวเข้าด้านในแม่พิมพ์ไม่สุด ผู้วิจัยจึงทำการออกแบบแกนอะลูมิเนียมให้แยกออกจากแม่พิมพ์ โดยใส่แม่เหล็กไว้ที่ฐาน ดังแสดงในรูปที่ 13

รูปที่ 14 แท่งอลูมิเนียมฝั่งแม่เหล็ก และอุปกรณ์ต้นแบบ

จากรูปที่ 14 เป็นการออกแบบ และจัดสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ ให้แกนอะลูมิเนียมติดแม่เหล็ก โดยมีหลักการทำงาน คือ ก่อน-ปล่อยฉีดน้ำยาลงในแม่พิมพ์ แกนอะลูมิเนียมจะติดอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดหลังดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์แกนอะลูมิเนียมจะติดชิ้นงานออกมาด้วยจากนั้นพนักงานจึงจะทำการแกะออกแล้วใส่กลับคืนไปที่เดิม ดังแสดงในรูปที่ 15

ก่อน-ปล่อยฉีดน้ำยา หลัง-ดึงชิ้นงานออก

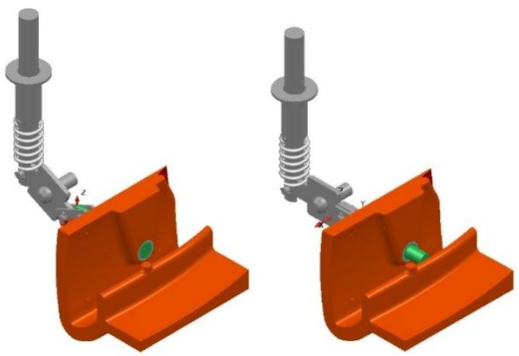
รูปที่ 15 ลักษณะการทำงานของแท่งอลูมิเนียมฝั่งแม่เหล็ก

จากนั้นนำอุปกรณ์ต้นแบบไปทำการทดลองผลิตทั้งหมด 20 ชิ้น ผลจากการเก็บข้อมูลหลังการทดลองสามารถลดของเสียในกระบวนการผลิตได้ 100% แต่ยัง

เกิดปัญหาในส่วนของพนักงานลืมเอาแท่งอลูมิเนียมออกหลังจากดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์แล้ว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการปรับปรุงครั้งที่ 4 โดยให้หลักการระบบป้องกันความผิดพลาด

4.4 การปรับปรุงครั้งที่4

จากการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 3 ผลปรากฏว่าไม่มีชิ้นงานฉีกขาดในขั้นตอนการดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์สามารถลดของเสียได้ 100% เนื่องการออกแบบในขั้นตอนที่ 3 ผู้วิจัยใช้หลักการแยกตัวแกนอะลูมิเนียมออกจากแม่พิมพ์ โดยให้แกนอะลูมิเนียมติดออกมากับตัวผลิตภัณฑ์แล้วให้พนักงานแกะออกแล้วนำกลับไปใส่ไว้ที่เดิมแต่ยังพบปัญหาเรื่องพนักงานลืมดึงแกนอะลูมิเนียมออกหลังจากเอาชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ผู้วิจัยจึงออกแบบกลไกการเข้า-ออก ของแกนอะลูมิเนียม ใหม่โดยใช้การ เปิด-ปิดแม่พิมพ์ด้วยการกดชุดสวิงในการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 การออกแบบกลไกชุดสวิง

จากรูปที่ 16 แนวคิดในการออกแบบกลไกลชุดสวิง ผู้วิจัยได้จัดสร้างอุปกรณ์ต้นแบบและนำไปติดตั้งเข้ากลับแม่พิมพ์โดยมีการแยกออกจากการควบคุมการเข้าออกด้วยฝาแม่พิมพ์อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 17

รูปที่ 17 การติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบกับแม่พิมพ์

จากนั้นนำอุปกรณ์ต้นแบบไปทำการทดลองผลิตทั้งหมด 20 ชิ้น จากการสังเกตุปรากฏว่าชุดสวิงสามารถควบคุมแกนอะลูมิเนียมให้หดตัวเข้าด้านในแม่พิมพ์จนสุด ลดปัญหาของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตได้อีกทั้งกลไกยังสามารถทำงานอัตโนมัติโดยไม่ต้องใช้พนักงานแกะออกจากตัวผลิตภัณฑ์ป้องกันการลืมของพนักงานได้ 100% และยังสามารถป้องกันการลืมดึงแกนอลูมิเมียมออกจากแม่พิมพ์ของพนักงานได้อีกทั้งยังสามารถกำหนดให้เป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานให้กับพนักงานได้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 18

4.5 ผลการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง

ผลการแก้ไขปรับปรุงทั้งหมด 4 ครั้ง หลังจากที่มีการออกแบบอุปกรณ์เพื่อป้องกันการฉีกขาดจากการดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์สามารถลดของเสียในกระบวนการผลิตโฟร์มเบาะรถยนต์ได้ 100% เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการแก้ไขก่อนและหลังการแก้ไข

หัวข้อ	ก่อนปรับปรุง (บาท)	เป้าหมาย (บาท)	หลังปรับปรุง (บาท)
ความสูญเสียจากการซ่อมงาน	335,745	0.00	0.00

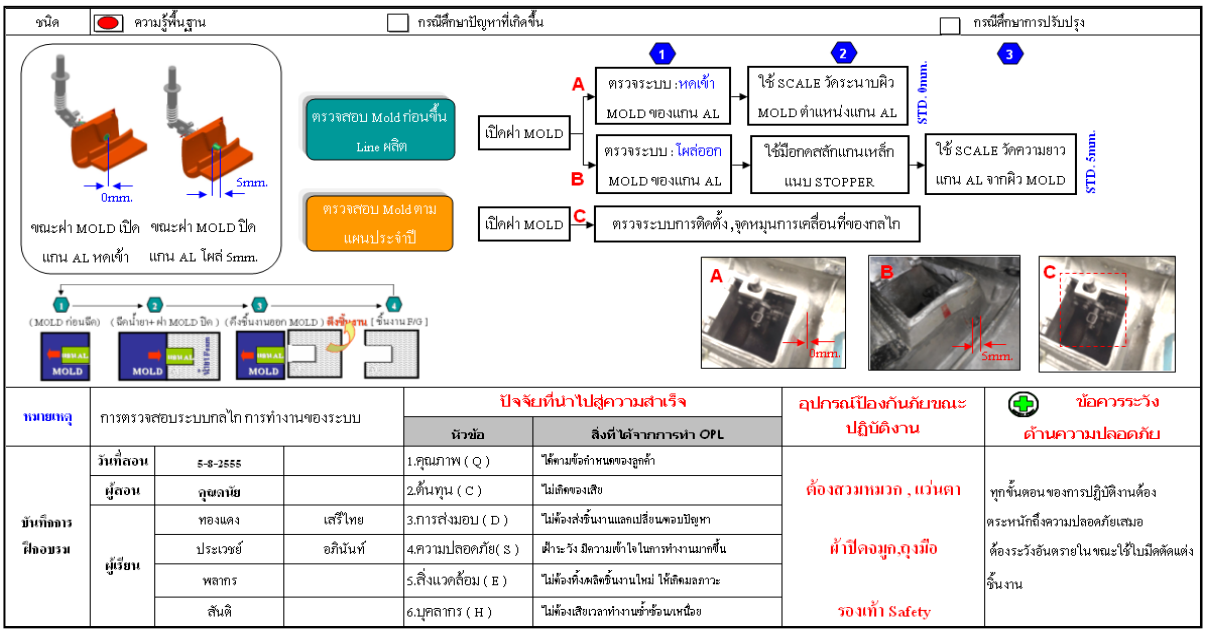
4.6 ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาที่ได้รับผลตอบแทนในรูปกระแสเงินสดเข้าเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายลงทุน นั้นทางผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมไว้ดังแสดงในตารางที่ 6 และกระแสเงินที่ได้รับแต่ละช่วงนั้นแทนด้วยความสูญเสียที่ทางผู้วิจัยสามารถลดได้ 335,745 บาทต่อ 6 เดือน หรือ 55,957.5 บาทต่อเดือน โดยจำนวนชิ้นในการทำอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานนั้นมีทั้งหมด 12 ชิ้น ซึ่งอ้างอิงตามจำนวนการออกแบบที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานของรุ่นตัวอย่างคิดเป็นเงินลงทุนในการปรับปรุงแก้ไขทั้ง 4 ครั้ง เป็นเงิน 2,894 บาท สามารถคิดระยะเวลาคืนทุน แสดงได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{กระแสเงินที่ได้รับแต่ละช่วง}}$$

$$= 2{,}894 / 55{,}957.5$$

$$= 0.05 \text{ เดือน} = 1.5 \text{ วัน}$$



รูปที่ 18 เอกสารการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐานวิธีการตรวจสอบกลไกชุดสวิง

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษา และปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียที่ต้องนำกลับมาซ่อมใหม่ (Rework) 100% ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เบาะนั่งรถยนต์ของบริษัทตัวอย่างโดยมีการตั้งเป้าหมายตัวชี้วัดไว้ว่าเมื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตแล้วเปอร์เซ็นต์ของเสีย จะต้องไม่เหลือในกระบวนการผลิต การดำเนินงานวิจัยผู้วิจัยทำการออกแบบอุปกรณ์และทำการทดลองทั้งหมด 4 ครั้ง ผลจากการดำเนินการวิจัยไม่พบเปอร์เซ็นต์ของเสียเหลือในกระบวนการผลิต (Zero Defect) ซึ่งผลการดำเนินงานเป็นไปตามเป้าหมาย และวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ซึ่งวิวัฒนาการของปรับปรุง แสดงได้ดังรูปที่ 19

รูปที่ 19 วิวัฒนาการของการปรับปรุงแก้ไขปัญหาของเสียในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เบาะนั่งรถยนต์ รุ่น 2HC R/B

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการตรวจสอบแม่พิมพ์ก่อนขึ้นสายการผลิตประจำวัน เช่น ความพร้อมสำหรับการใช้งานของอุปกรณ์ชุดสวิงมาตรฐานระยะความยาวสุดของแกนเหล็ก 5 มิลลิเมตร และระยะหดเข้าเสมอผิวแม่พิมพ์

2. ตรวจสอบสภาพเมื่อครบรอบการบำรุงรักษาประจำปีหรือเมื่อมีการผลิตชิ้นงานครบ 700 ชิ้น หรือ ทุกสัปดาห์ เช่นความพร้อมสำหรับการใช้งานของอุปกรณ์ชุดสวิงมาตรฐานระยะความยาวสุดของแกนเหล็ก 5 มิลลิเมตร ระยะหดเข้าเสมอผิวแม่พิมพ์ และระบบการติดตั้ง-จุดหมุน/ขยับ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทตัวอย่างผู้เป็นเจ้าของข้อมูลที่ได้อนุญาตให้ข้อมูลของทางโรงงานและอำนวยความสะดวกให้ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ดำเนินงานและขอขอบคุณพนักงานฝ่ายผลิตทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ลัดดาวัลย์ มิ่งกมลรัตน์, 2531. การลดของเสียในกระบวนการผลิตให้เป็นศูนย์ (Zero Defect), แปลจาก Japan Management .Association : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),

[2] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. เครื่องคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). แหล่งที่มา http://youth.ftpi.or.th, 19 ตุลาคม 2553.

[3] โยชิโนบุนายาทานิ และคณะ. 2541. New 7 QC Tools เครื่องมือสู่คุณภาพยุคใหม่.แปลโดยวิฑูรย์ สิมะโชคดี. พิมพ์ครั้งที่ 1: กรุงเทพฯ,

[4] เสรี ยูนิพันธ์และคณะ.เทคนิคการควบคุมคุณภาพ. 2528. กรุงเทพมหานคร..คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

[5] วัชระ มีทอง, 2545. การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์. พิมพ์ครั้งที่ 12: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),

[6] พิชิต สุขเจริญพงษ์, 2551. การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 1: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

[7] วุฒิพงษ์ ปะวะสาร. 2550. “การลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการผลิตกางเกง,”วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[8] ภาวิณี อาจปรุและสุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน. 2551. “การลดเวลาสูญเปล่าในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์เบรกเกอร์,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

การลดของเสียจากกระบวนการปั๊มแผ่นกรองฝาถ้วยกาแฟ

THE REDUCTION OF DEFECT FROM PUMPING FILTER PROCESS OF COFFEE CUP

นรา บุริพันธ์[1]* ธนัญญา พุ่มมะเดื่อ[2] เกียรติศักดิ์ พระเนตร[3]
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี เขตหนองแขม จ.กรุงเทพมหานคร 10160*[1, 2]
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000[3]
E-mail: nara7569@gmail.com*

Nara Buriphan[1]* Thananyu Phummadua[2] Kanitsorn Poonikom[3]
Faculty of Engineering, Thonburi University, Nong KhaemBangkok 101 60
Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Muang, Ubonratchathani 34000
E-mail: nara7569@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ฝากาแฟ Smart Cup โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ เช่นกราฟแท่ง กราฟพาเรโต และผังก้างปลา มาช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุ และดำเนินการแก้ไขปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตฝากาแฟ Smart Cup ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ และศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นโดยนำข้อมูลจากแผนกควบคุมคุณภาพ มาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย โดยเก็บข้อมูลพบว่าเกิดปัญหาจากฝากาแฟเป็นรู และเสียรูปทรง จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไขผลการดำเนินงานการแก้ไข ได้มีการปรับปรุงขั้นตอนการปฏิบัติงาน โดยใช้หลักเกณฑ์จัดลำดับความสำคัญ A, B, C, D ของแต่ละก้างมาดำเนินการแก้ไข แล้วจึงเปรียบเทียบผลก่อนการดำเนินงานและหลังการดำเนินงานการแก้ไข และได้จัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน ผลการปรับปรุงแก้ไข พบว่าปริมาณของเสียคิดเป็นร้อยละ 4.66 แต่หลังจากได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวแล้ว พบว่าปริมาณของเสียมีจำนวนลดลงเหลือร้อยละ 1.66 ซึ่งจากปริมาณที่ลดลงทำให้พบว่าจำนวนของเสียลดลงจำนวนร้อยละ 3 ของจำนวนยอดการผลิตก่อนการปรับปรุง

คำหลัก ของเสีย เครื่องมือควบคุณภาพคู่มือการปฏิบัติงาน

Abstract

The research, objective to reduceof wastein production processthe Smart Cup Coffee lid. By using theory, quality control such as a bar graph, Pareto diagram and fishbone diagram for analyzing the cause. And corrective actions improve the quality of production, therefore the project has collected data. And study problems the data from the quality control department for a data analysis the causes of waste. Data were collected that the problem of coffee lid holes, coffee lid deformation, and then the data were analyzed to find solutions.The results, has improved process execution tasks. The criteria used to priority A, B, C, D of each step to corrective action. Then compare the results before and after the operation improved. And has created a manual of practical work results of the volume waste equivalent to 4.66

percent, but after the improved the amount of waste were reduced to 1.66 percent from lower volumes, which the number of waste decreased to 3 percent of the total the total production before the update

Keywords: wastes7 QC tools Operations Manual

1. บทนำ

บริษัทตัวอย่างดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ฝากาแฟ รุ่นSmart Cup ในปัจจุบันประสบปัญหาเกี่ยวกับของเสียที่มีปริมาณค่อนข้างสูงโดยส่วนใหญ่ปัญหาที่พบคือ ผลิตภัณฑ์ฝากาแฟเป็นรู ผลิตภัณฑ์ฝากาแฟเสียรูปทรง ผลิตภัณฑ์ฝากาแฟสกปรก ผลิตภัณฑ์ฝากาแฟแผ่นกรองไม่ติด ซึ่งปัญหาดังกล่าว มีผลกระทบเกี่ยวกับทางด้านต้นทุนและด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ฝากาแฟที่ส่งมอบให้ลูกค้า ดังนั้นทางบริษัท จึงต้องการลดปริมาณของเสียของผลิตภัณฑ์ฝากาแฟ ที่มีค่อนข้างมาก ส่งผลกระทบต่อความไว้วางใจของลูกค้า การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติจึงถูกนำมาใช้เพื่อแก้ไขข้อบกพร่อง สร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดของเสีย (Defect) และเพิ่มผลผลิต (Productivity) ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ฝากาแฟรุ่นSmart Cup

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อเพิ่มผลิตภาพ(Productivity) [1] ดังต่อไปนี้

2.1 การเพิ่มผลผลิต (Productivity Improvement)

ผลผลิตตามแนวคิดวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งที่สามารถวัดค่าได้ทำให้สามารถมองเห็นได้ว่าการทำงานนั้นมีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลหรือไม่โดยอาจใช้แนวทางการเพิ่มผลผลิตตามความเหมาะสมขององค์กร ดังต่อไปนี้

1) ใช้ปัจจัยการผลิตเท่าเดิมแต่ทำให้ผลิตผลเพิ่มขึ้น
2)ใช้ปัจจัยการผลิตน้อยลงแต่ทำให้ผลิตผลเท่าเดิม
3) ใช้ปัจจัยการผลิตน้อยลงแต่ทำให้ผลิตผลเพิ่มขึ้น
4) ใช้ปัจจัยการผลิตเพิ่มขึ้นแต่ทำให้ผลิตผลเพิ่มขึ้นมากกว่า
5)ลดจำนวนผลิตผลลงจากเดิมโดยลดอัตราการใช้ปัจจัยการผลิตในอัตราส่วนที่มากกว่า [2]

2.1.1 อัตราผลิตภาพ คือ อัตราส่วนของผลผลิตจริง (Output) ต่อทรัพยากรที่ใช้จริง (Input) โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 [3]

$$\text{อัตราผลิตภาพ} = \frac{Output}{Input} \qquad (1)$$

2.2 การลดความสูญเปล่า 7 ประการ (7Wastes) ประกอบด้วย [4]

1) การผลิตมากเกินไป (Overproduction)
2) การเก็บวัสดุคงคลัง (Inventory)
3) การขนส่ง (Transpiration)
4) การเคลื่อนไหว (Motion)
5) กระบวนการผลิต (Processing)
6) การรอคอย (Delay)
7) การผลิตของเสีย (Defect)

2.3 เครื่องมือควบคุมภาพ 7 ชนิด (7 Qc Tools)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพในกระบวนการทำงาน ซึ่งช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา การเลือกปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหาและวิเคราะห์สาเหตุแห่งปัญหาที่แท้จริงเพื่อการแก้ไขได้ถูกต้องตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐานและควบคุมติดตามผลอย่างต่อเนื่อง เครื่องมือควบคุมคุณภาพทั้ง 7 ประกอบด้วย แผ่นตรวจสอบ(Check Sheet)แผนผังพาเรโต(Pareto Diagram) กราฟ (Graph)แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram)แผนภูมิควบคุม(Control Chart) และฮิสโตแกรม (Histogram) [5,6]

3.วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษากระบวนการผลิต

3.1.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์

สายการผลิตตัวอย่างเป็นสายการผลิตฝาถ้วย

กาแฟโดยมีขั้นตอนการผลิตดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ขั้นตอนการปั๊มฝาถ้วยกาแฟ

จากรูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการปฏิบัติงาน โดยเริ่มจาก พนักงานจัดเตรียมฝากาแฟมาจัดเรียงในถาด จากนั้นนำเอาแผ่นกรองมาวางตรงบริเวณที่ใส่แผ่นกรองแล้วนำถาดใส่ฝากาแฟมาบริเวณเครื่องปั๊มนำฝากาแฟที่วางแผ่นกรองใส่ที่เครื่องปั๊ม แล้วกดเพื่อให้หัวปั๊มที่มีความร้อน 202 องศา ทับแผ่นกรองให้ติดกับฝากาแฟ โดยใช้เวลาในการกดประมาณ 6 ถึง 8 วินาที แล้วยกขึ้นเอาชิ้นงานออกจากเครื่องปั๊มและนำผลิตภัณฑ์ไปยังแผนกควบคุมคุณภาพ เพื่อตรวจสอบและประกอบกับชิ้นส่วนอื่นดังแสดงในรูปที่2

รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปรอส่งลูกค้า

จากการเก็บข้อมูลในการผลิตพบว่ามีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจำนวนมาก เมื่อเทียบกับจำนวนที่ผลิตจริง ในช่วงเดือน มิถุนายน-กันยายน 2557 ข้อมูลของเสียสามารถแสดงได้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนของเสียเมื่อเทียบกับจำนวนผลิตจริง

	มิ.ย.57	ก.ค.57	ส.ค.57	ก.ย.57
ผลิต/เดือน	106,232	105,654	104,520	104,675
ฝากาแฟดี	101,000	100,600	100,020	101,100
ฝากาแฟเสีย	5,232	5,054	4,500	3,575
%	4.92	5.02	4.30	3.42

จากข้อมูลในตารางที่ 1 เป็นการเก็บข้อมูลของเสียในช่วงระยะเวลา 4 เดือนซึ่งปรากฏว่าเดือน กรกฎาคม เป็นเดือนที่มีเปอร์เซ็นต์ของเสียมากที่สุดถึง 5.02% ส่วนเดือนกันยายน เป็นเดือนที่มีของเสียน้อยที่สุด 3.42% เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ย ก่อนการปรับปรุงมีของเสียทั้งหมดที่ 4.42% โดยของเสียทั้งหมดเกิดขึ้น จาก 4 ปัญหา หลัก คือ 1) ฝาถ้วยกาแฟเป็นรูแสดงได้ดังรูปที่ 3 2) ฝาถ้วยกาแฟเสียรูปทรงแสดงได้ดังรูปที่ 4 3) ฝาถ้วยกาแฟสกปรกแสดงได้ดังรูปที่ 5 4) แผ่นกรองไม่ติดกับฝาถ้วยกาแฟแสดงได้ดังรูปที่ 6

รูปที่ 3 ฝาถ้วยกาแฟเป็นรู

รูปที่ 4 ฝาถ้วยกาแฟเสียรูปทรง

รูปที่ 5 ฝาถ้วยกาแฟสกปรก

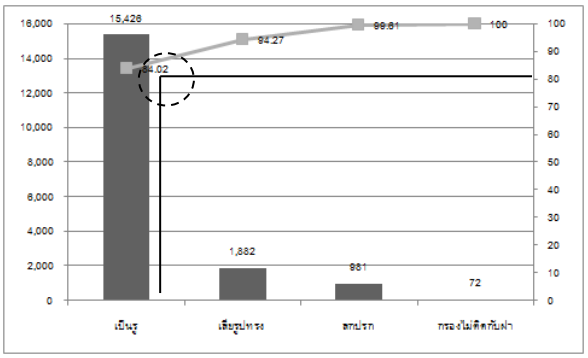
รูปที่ 6แผ่นกรองไม่ติดกับฝาถ้วยกาแฟ

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้ทำการแยกลักษณะการเสียของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดในช่วง 4 เดือนก่อนการปรับปรุงแล้วคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์สะสม เพื่อนำมาคัดเลือกปัญหาด้วยแผนผังการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาซึ่งเป็นเครื่องมือควบคุมคุณภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางเปอร์เซ็นต์และเปอร์เซ็นต์สะสมของเสีย

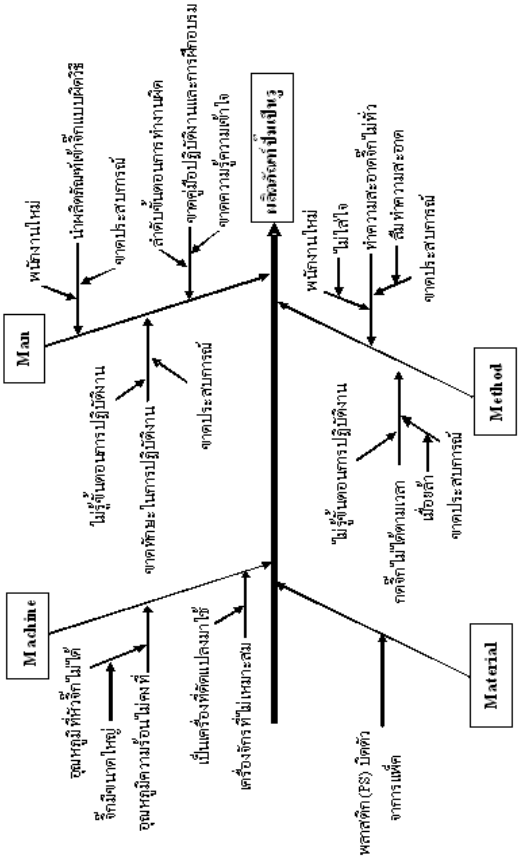
ลักษณะของเสีย	ของเสีย	%ของเสีย	%สะสม
เป็นรู	15,426	76.73	76.73
เสียรูปทรง	1,882	12.49	89.22
สกปรก	981	8.21	97.43
กรองไม่ติดกับฝา	72	2.57	100

จากตารางที่ 2 พบว่าเมื่อมีการจำแนกลักษณะของเสียแต่ละลักษณะของเสียที่เกิดจากฝาถ้วยกาแฟเป็นรูมีจำนวนของเสียมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 76.73 ผู้วิจัยจึงได้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์สะสมของปัญหาทั้งหมดเพื่อทำการคัดเลือกด้วยแผนผังการจัดลำดับหรือพาเรโต ด้วยหลักการ80:20ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนผังการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

จากรูปที่ 7แสดงการคัดเลือกปัญหาด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพ แผนผังพาเรโต ด้วยหลักการ 80:20ซึ่งผลการคัดเลือกพบว่าปัญหาที่มีจำนวนน้อยแต่ส่งผลกระต่อกระบวนการผลิตมากมี 1 ปัญหา คือ ปัญหาของเสียที่เกิดจากถ้วยกาแฟเป็นรู ซึ่งเป็นปัญหาที่ผู้วิจัยจะนำมาแก้ไขก่อนเป็นอันดับแรก โดยอาศัยเครื่องมือควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา ดังแสดงในรปที่ 8



รูปที่ 8 แผนภูมิก้างปลาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพพบว่าปัญหาของเสียมี่เกิดจากฝาถ้วยกาแฟเป็นรูเกิดขึ้นจาก 3 สาเหตุ คือ ปัญหาที่เกิดจากคน ปัญหาที่เกิดจากเครื่องจักร และปัญหาที่เกิดจากวิธีการทำงานสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปปัญหาฝาถ้วยกาแฟเป็นรู

สาเหตุ ฝากาแฟปั๊มเป็นรู	วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ
เครื่องจักร		
เครื่องจักรไม่เหมาะสม	จัดทำเครื่องจักรที่เป็นระบบ *อัตโนมัติ*มาใช้ในกระบวนการผลิต	หัวหน้างาน / หัวหน้าแผนกฝ่ายผลิต / ฝ่ายวิศวกรรม
คน		
ขาดทักษะการปฏิบัติงาน	ทำการจัดอบรมให้กับพนักงานเพื่อเพิ่มความชำนาญงานให้กับผู้ปฏิบัติงาน	หัวหน้างาน / หัวหน้าแผนกฝ่ายการผลิต / ฝ่ายวิศวกรรม
ขาดคู่มือการปฏิบัติงาน	หัวหน้างานจัดทำคู่มือในการปฏิบัติงานเพื่อให้ปฏิบัติงานได้ถูกต้องตามหลักการทำงาน	หัวหน้างาน / หัวหน้าแผนกฝ่ายการผลิต / ฝ่ายวิศวกรรม
วิธีการ		
กดจิ๊กไม่ได้ตามเวลาที่กำหนด	ตั้งเวลามาตรฐานที่เครื่องจักร*อัตโนมัติ*ในการกดจิ๊ก	หัวหน้างาน / หัวหน้าแผนกฝ่ายการผลิต / ฝ่ายวิศวกรรม

4. ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

จากข้อมูลการกำหนดแนวทางการแก้ไขในตารางที่ 3 ผู้วิจัยได้นำมาทำการปรับปรุงแก้ไขตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 แก้ไขปัญหาที่เกิดจากคน

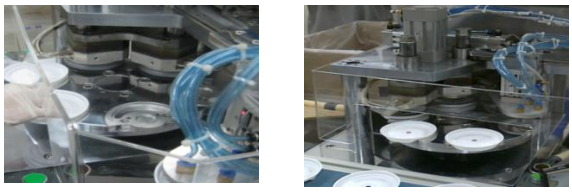
ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นจากการทำงานของคน ซึ่งจากที่ได้ทำการศึกษาปัญหาดังกล่าวพบว่าพนักงานขาดทักษะในการปฏิบัติงานและนำผลิตภัณฑ์เข้าจิ๊กแบบผิดวิธี จึงเป็นสาเหตุทำให้ฝากาแฟเป็นรู ผู้วิจัยจึงจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานและวิธีการทำงานที่ถูกต้องในการนำฝากาแฟเข้าจิ๊กที่ถูกวิธีและทำการจัดอบรมเกี่ยวกับวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้องให้กับพนักงานที่ปฏิบัติงาน โดยมีรูปภาพแสดงขั้นตอนการทำงานที่ถูกให้กับพนักงาน ดังแสดงในรูปที่ 9

จากรูปที่ 9 เริ่มจากการวางฝากาแฟบริเวณถาดวางให้เต็มถาด แล้วจึงนำแผ่นกรองมาใส่บริเวณฝาให้พอดีตรงช่องฝากาแฟที่มีหลุมไว้เพื่อใส่แผ่นกรองในบริเวณดังกล่าวนำฝากาแฟที่ใส่แผ่นกรองแล้วมาวางที่สายพานลำเลียงโดยการว่างในทิศทางที่เอกสารการปฏิบัติงานกำหนดบนสายพานจุดประสงค์ให้วางฝากาแฟได้ตรงตำแหน่งที่จะเข้าเครื่องปั๊มหยิบฝากาแฟเข้าบริเวณเครื่องปั๊มโดยจะต้องวางไว้ให้ตรงหลุมของเครื่องปั๊มพอดีเครื่องปั๊มจะทำงานอัตโนมัติ โดยใช้เวลาในการปั๊มต่อครั้ง คือ 5 วินาที ได้ฝากาแฟที่ปั๊มจำนวน 2 ชิ้นต่อการปั๊ม 1 ครั้ง

รูปที่ 9 การแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการทำงานของคน

4.2 แก้ไขปัญหาที่เกิดจากวิธีการทำงาน

จากการวิเคราะห์ปัญหาพบว่าเกิดจากการที่ใช้เวลาในการปั๊มหัวจิ๊กของพนักงานที่ต้องใช้แรงในการปั๊มที่ไม่เท่ากันจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ฝากาแฟเป็นรูและฝากาแฟเสียรูปทรงได้เนื่องจากใช้เวลาในการปั๊มมากจะทำให้จิ๊กสะสมความร้อนมากทำให้ฝากาแฟเกิดความร้อนจึงทำให้ฝากาแฟเป็นรูและฝากาแฟเสียรูปทรงดังนั้นผู้วิจัยได้จัดสร้างเครื่องจักรที่มีระบบอัตโนมัติมาแก้ไขในกระบวนการผลิตเพื่อความแม่นยำและแรงที่ใช้ในการปั๊มเท่ากันและควบคุมการทำงานของเครื่องจักรได้โดยการตั้งเวลาในการปั๊ม และยกหัวจิ๊ก เข้า-ออก จากฝากาแฟ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดังแสดงในรูปที่ 10



จังหวะกด จังหวะปล่อย

รูปที่ 10 จังหวะการกดจิ๊ก และปล่อยงาน

4.3 แก้ไขปัญหาที่เกิดจากเครื่องจักร

จากการวิเคราะห์ปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรพบว่าเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตฝากาแฟไม่เหมาะสมอุณหภูมิความร้อนที่ไม่คงที่ สาเหตุเนื่องเป็นเครื่องดัดแปลกมาจากเครื่องเจาะทำให้ไม่มีประสิทธิภาพที่เพียงพอในการควบคุมของเสียได้และในการผลิตฝากาแฟก้อได้จำนวนน้อยไม่สามารถสนองตามความต้องการของลูกค้าได้เนื่องจากความต้องการของลูกค้ามีเพิ่มมากกว่าปัจจุบัน จากเดิมความต้องการของลูกค้าอยู่ที่เดือนละ 100,000 ชิ้น ปัจจุบันเพิ่มขึ้นเป็นเดือนละ 300,000 ชิ้นผู้วิจัยจึงขออนุมัติสร้างเครื่องจักรที่ทำงานระบบอัตโนมัติแทนเครื่องเดิมที่ควบคุมด้วยการทำงานของคน ดังแสดงในรูปที่ 11

เครื่องจักรแบบเดิม

เครื่องจักรแบบใหม่

รูปที่ 11 การปรับปรุงเครื่องจักรในการเจาะฝาถ้วยกาแฟ

เครื่องจักรอัตโนมัติสามารถผลิตได้ 6 วินาทีต่อ 2 ชิ้น รวมทั้งกระบวนการแล้วใช้เวลาในการผลิต 10 วินาทีต่อ 2 ชิ้น 1 วันสามารถผลิตได้ 5,760 ชิ้น 1 เดือนสามารถผลิตได้ 172,800 ชิ้น รวมกะกลางวันและกะกลางคืนแล้วได้ทั้งหมด 345,600 ชิ้นจากข้อมูลที่ได้จึงแจ้งให้ทางลูกค้าได้ทราบถึงกำลังการผลิตของบริษัทจึงทำให้ลูกค้ามีการเพิ่มการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ถ้วยกาแฟทั้งสิ้น 300,000 ชิ้นต่อเดือน และยังส่งผลให้ของเสียลดลงดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ของเสียหลังการปรับปรุง

	พ.ย.57	ธ.ค.57	ม.ค.58	ก.พ.58
ผลิต/เดือน	302,365	302,243	302,122	302,365
ฝากาแฟดี	299,657	298,543	298,622	298,726
ฝากาแฟเสีย	2,708	3,700	3,500	3,639
%ของเสีย	0.90	1.22	1.16	1.20

จากตารางที่ 4 ของเสียหลังการปรับปรุงยังคงเหลือในกระบวนการผลิตร้อยละ 1.12 มีสัดส่วนงานดีเฉลี่ยต่อเดือนที่ 298,887ชิ้น ซึ่งยังคงไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าที่ 300,000 ชิ้นต่อเดือน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงปัญหาของเสียที่เป็นอันดับต่อมาคือ ปัญหาของเสียที่เกิดจากฝาถ้วยกาแฟผิดทรงโดยวิเคราะห์จากข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุงดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 จำแนกลักษณะของเสียหลังการปรับปรุง

ลักษณะของเสีย	ของเสีย
เป็นรู	0
เสียรูปทรง	8,983
สกปรก	3,989
กรองไม่ติดกับฝา	575

จากตารางที่ 5 หลังจากดำเนินการปรับปรุงปัญหาฝาถ้วยกาแฟเป็นรูแล้วส่งผลให้ของเสียในปัญหาดังกล่าวเป็นศูนย์ แต่ยังเกิดปัญหาในลักษณะอื่นอีกโดยเฉพาะปัญหาฝาถ้วยกาแฟเสียรูปทรงซึ่งมีมากถึงร้อยละ 66.30 ผู้วิจัยจึงเลือกนำปัญหานี้มาทำการแก้ไขเป็นอันดับต่อมาโดยจากการวิเคราะห์ขั้นตอนการแพ็คฝากาแฟที่ส่งมาทำขั้นตอนการปั๊มแผ่นกรองติดกับฝากาแฟ เนื่องจากบริษัทสั่งซื้อฝากาแฟมาจากผู้จัดส่งโดยมีการจัดส่งมาเป็นลังๆ ลังละ 1,000 ฝา โดยแพ็คใส่ถุงเป็นแถวๆแถวละ 50 ฝาแล้ววางนอนลงภายในลังกระดาษทับกันจนเต็มลังดังแสดงในรูปที่ 12

รูปที่ 12 การจัดส่งฝาถ้วยกาแฟก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 12 ส่งผลให้ฝากาแฟที่อยู่ด้านล่างถูกทับจากฝากาแฟที่อยู่ด้านบน ทำให้เกิดการเสียรูปทรงที่เกิดจากการทับกันเองของฝากาแฟในลัง เมื่อฝากาแฟเสียรูปจะส่งผลทำให้ขั้นตอนการปั๊มรูฝาถ้วยกาแฟจะเข้าจิ๊กไม่สนิทไม่เข้ารูปบริเวณหลุมที่วางฝากาแฟเพื่อให้หัวจิ๊กของเครื่องปั๊ม เมื่อฝากาแฟบิดเบี้ยวจึงทำให้ปั๊มกดไม่เสมอกันในบริเวณที่หัวจิ๊กของเครื่องปั๊มจากสาเหตุดังกล่าวทำให้พนักงานต้องคัดแยกฝาที่บิดเบี้ยวออกเป็นของเสียก่อนผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางในการแก้ไขโดยการจัดเรียงฝาถ้วยกาแฟในแนวตรงหลีกเหลี่ยงการวางทับกันของฝากาแฟโดยการชี้แจงให้บริษัทที่นำฝากาแฟมาส่งให้ทราบเพื่อที่จะได้จัดส่งได้ถูกวิธีและลดของเสียในขั้นตอนการผลิตต่อไปดังแสดงในรูปที่ 13

รูปที่ 13 การจัดเรียงฝาถ้วยกาแฟหลังการปรับปรุง

หลังการปรับปรุงสามารถลดปัญหาในส่วนของฝาถ้วยกาแฟผิดทรงได้ 100% ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สรุปปัญหาที่ได้รับการแก้ไข

ลักษณะของเสีย	ของเสีย
เป็นรู	0
เสียรูปทรง	0
สกปรก	3,989
กรองไม่ติดกับฝา	575
รวม	4,564

จากตารางที่ 6 หลังการปรับปรุงปัญหาที่เกิดจากฝาถ้วยกาแฟเป็นรูและเสียรูปทรงแล้วส่งผลให้กำลังการผลิตเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า โดยเฉลี่ยสามารถผลิตได้ 301,133 ชิ้นต่อเดือน

5. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานวิจัยเพื่อลดปัญหาและปริมาณของเสียในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ฝาถ้วยกาแฟ Smart Cup โดยผู้วิจัยอาศัยหลักการและเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการในการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขเริ่มจากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพซึ่งพบปัญหาที่มาจาก 4 สาเหตุหลักๆ คือ ปัญหาจากคน ปัญหาจากเครื่องจักร ปัญหาจากวิธีการทำงาน และปัญหาจากการจัดส่งวัตถุดิบ หลังจากมีการปรับปรุงแก้ไขตามขั้นตอนสามารถลดของเสียได้จาก 4.42% เหลือ 0.37% ลดลง 4.05% คิดเป็นร้อยละ 91.63

5.2 ข้อเสนอแนะ

หลังจากนำเครื่องจักรใหม่มาทำการผลิตแล้ว ผู้จัดทำโครงงานเห็นควรว่าควรศึกษาของเสียที่เกิดจากเครื่องจักรใหม่ แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปัญหา และสาเหตุมาทำการแก้ไขเพื่อลดของเสียต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะบุคลากรของบริษัทบางกอกพัฒนามอเตอร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เรื่องข้อมูล และความร่วมมือในการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาต่างๆ เพื่อช่วยให้การวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] นพเก้า ศิริพลไพบูลย์. 2548. หลักการเพิ่มผลผลิต (Productivity Improvement).พิมพ์ครั้งที่5. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ประชาชน.

[2] วันชัย ริจิรวนิช. 2548. การศึกษาการทำงาน และกรณีศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 4, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] วัชรินทร์ สิทธิเจริญ. 2547. การศึกษางาน (Work Study). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์โอเดียนสโตร์.

[4] ดวงรัตน์ ชีวปัญญาโรจน์. และศุภศักดิ์ พงษ์อนันต์. 2554. ความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes). กรุงเทพฯ : สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.

[5] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. เครื่องคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). แหล่งที่มา http://youth.ftpi.or.th, 19 ตุลาคม 2553

[6] โยชิโนบุนายาทานิ และคณะ. 2541. 7 QC Tools เครื่องมือสู่คุณภาพยุคใหม่.แปลโดยวิฑูรย์ สิมะโชคดี. พิมพ์ครั้งที่ 1: กรุงเทพฯ.

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งกระทบผลต่อความหยาบผิวของวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด S45C

Effect of Turning Parameters on Surface Roughness of Medium Carbon Steel (S45C)

เอกพล ทับพร*
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี เขตหนองแขม จ.กรุงเทพมหานคร 10160*
E-mail: pew_ek@hotmail.com*

Ekkapol Tubpond*
Faculty of Engineering, Thonburi University, Nong Khaem Bangkok 10160
E-mail: pew_ek@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบของผิวชิ้นงานในกระบวนการกลึงปอกวัสดุเหล็กกล้าเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด S45C โดยใช้เครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติ รุ่น Matrix ML300 – 750 มีดกลึงคาร์ไบด์ CBN เกรด (HB55 TNGA 160404-3N) และระยะการป้อนลึกในการตัดเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) โดยมีปัจจัยที่ใช้ศึกษา 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วตัด ความเร็วรอบ อัตราป้อนและมุมในการตัดเฉือน โดยกำหนดความเร็วตัดเท่ากับ 35, 50 และ 65 เมตร/นาที ความเร็วรอบเท่ากับ 928, 1,326 และ1,724 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.33 มิลลิเมตร/รอบ และมุมมีดในการตัดเฉือน 3 ระดับ คือ มุม 45, 65 และ 90 องศา จากผลการวิจัยพบว่าถ้าต้องการค่าความหยาบผิวของชิ้นงานดีที่สุดควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ของความเร็วตัดเท่ากับ 65 เมตร/นาที ความเร็วรอบเท่ากับ 1,724 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ และมุมมีดในการตัดเฉือนที่ 90 องศา

Abstract

This research is the study of factors that affect the roughness of the surface in the process of turning material, stainless steel, carbon steel, medium grade S45C lathe with a semi-automatic version of the Matrix ML300 - 750 inserts carbide CBN grades (HB55 TNGA 160404-3N) and entering the cutting depth of 0.5 mm by applying design of experimental three levels (3k Factorial Design) by a factor of 4 factors of each factor. There are three levels of cutting speed, feed rate and corner machining. The cutting speed of 35, 50 and 65 m / min speed of 928, 1,326 and 1,724 rev / min feed rate of 0.1, 0.2 and 0.33 mm / rev. And a knife to cut three levels, namely 45, 65 and 90 degrees from the research found that if the surface roughness of the workpiece should best define the parameters of the cutting speed of 65 m / min speed equals. 1724 rev / min feed rate of 0.1 mm / rev. And a knife in the machining of 90 degrees.

Keywords: Productivity Takt Time Jig Design Man-Machine Charts

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนในประเทศไทยได้มีการพัฒนางานด้านระบบการผลิตมากขึ้นทั้งนี้เพื่อต้องการพัฒนาชิ้นส่วนหรือคุณภาพสินค้าให้มีคุณภาพสูงขึ้น ดังนั้นกระบวนการตัดเฉือนชิ้นงานด้วยกรรมวิธีการกลึงปอกวัสดุ เป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แบบหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่องานอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นงานทรงกระบอก ที่ต้องการลดขนาดของชิ้นงานลงอย่างมาก

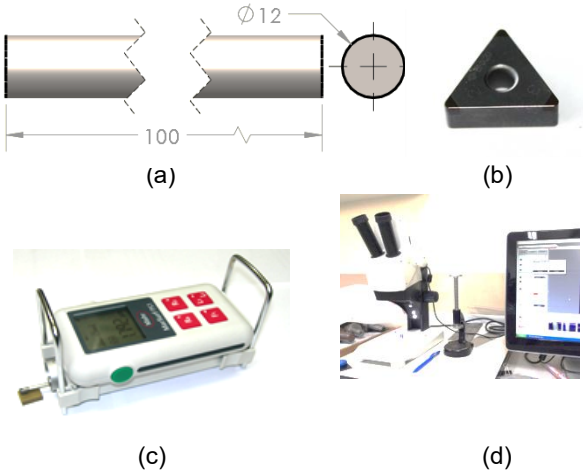
จากการศึกษากรรมวิธีการกลึงปอกผิวชิ้นงานโดยทั่วไป พบว่าสาเหตุที่มีผลต่อความหยาบผิวเฉลี่ย (Roughness average) ของชิ้นงานในกระบวนการตัดเฉือนชิ้นงาน เกิดจากการกำหนดเงื่อนไขในการกลึงที่ไม่เหมาะสม โดยจะส่งผลเสียต่อคุณภาพของชิ้นงานซึ่งเกิดจากการเลือกเงื่อนไขในการกลึงที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเร็วตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) ความลึกป้อนตัด (Depth of Cut) การปรับองศาของมีดกลึง (Approach Angle) และคุณสมบัติมีดกลึง (Insert Property) ซึ่งการกลึงปอกผิวโดยปกติจะคำนึงถึงแค่การเลือกความเร็วรอบที่เหมาะสมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความแข็งของวัสดุ โดยทั่วไปแล้วการเลือกใช้ความเร็วรอบที่สูงก็ช่วยให้ชิ้นงานเกิดความเรียบได้ แต่ทั้งนี้สิ่งที่จะส่งผลเสียตามมาคืออายุการใช้งานของมีดกลึง (Insert) ที่ต่ำลง[1]เนื่องจากเหตุผลที่ว่าการเลือกเงื่อนไขในการกลึงด้วยความเร็วรอบที่สูงๆ จะส่งผลต่อการลดอายุการใช้งานของมีดกลึงอย่างรวดเร็วตามสภาพเงื่อนไขการกลึงที่เพิ่มขึ้นด้วย การกลึงชิ้นงานทั่วไปมักไม่คำนึงถึงการเลือกปรับองศาของการตั้งมุมมีดและการเลือกใช้เงื่อนไขในการกลึงที่เหมาะสม ดังนั้นสิ่งสำคัญในการเลือกใช้เงื่อนไขในการกลึงปอกผิวชิ้นงาน ควรคำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุเม็ดมีดกลึงที่เหมาะสมกับวัสดุที่นำมาทดสอบ และการปรับระดับองศาของมีดกลึง โดยจะมีการเลือกใช้องศาของการตั้งมุมมีดในระดับที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาถึงระดับการตั้งองศาของมุมมีดที่ดีที่สุด และการใช้วัสดุมีดกลึงที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันเพื่อหาวัสดุมีดที่มีความเหมาะสมกับวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เนื่องจากมีการนำมาใช้งานอย่างมากในอุตสาหกรรมการผลิต เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของค่าความหยาบที่เกิดจากการกลึงปอกตามเงื่อนไขที่กำหนด

ดังนั้นคณะผู้จัดทำได้มีแนวคิดที่จะศึกษาการทดสอบการกลึงปอกผิววัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางโดยการกำหนดเงื่อนไขในการกลึงในเรื่องของการปรับระดับการตั้งองศาของมีดกลึง การเลือกความเร็วรอบและความเร็วตัดที่เหมาะสม เพื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพของชิ้นงานและนำไปใช้กับอุตสาหกรรมงานกลึงต่อไป

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เกรด S45C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตรดังรูปที่ 1(a) มีคุณสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 1 มีค่าความแข็ง 160-220 (HB) [1] เลือกใช้มีดกลึงคาร์ไบด์ CBN เกรด (HB55 TNGA 160404-3N) ดังรูปที่ 1(b) เป็นเม็ดมีดสำหรับการปอกผิววัสดุบนเครื่องกลึงกึ่งอัตโนมัติ รุ่น Matrix ML300 – 750 ดังรูปที่ 1(c) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ภายใต้สภาวะการตัดเฉือนที่แตกต่างกันออกไป จากนั้นจะวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวยี่ห้อ Mahr รุ่น Surftest PS1 ดังรูปที่ 1(c) และเปรียบเทียบลักษณะของผิวชิ้นงานกลึงโดยการใช้ กล้องจุลทรรศน์ ความละเอียด 500 เท่าภายหลังจากการผ่านกระบวนการตัดเฉือนตามที่ได้วางแผนไว้ดังรูปที่ 1(d)



รูปที่ 1 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เกรด S45C

คุณสมบัติทางกายภาพ	S 45 C
ความหนาแน่น	7,700 - 8,030 (kg/m3)
จุดหลอมเหลว	1,520 องศาเซลเซียส
ความต้านทานแรงดึง	569 (MPa)
ความแข็ง	160-220 (HB)
องค์ประกอบทางเคมี	(C) 0.42 % - 0.48 %
	(Si) 0.15 % - 0.35 %
	(Mn) 0.6 % - 0.9 %
	(P) 0.030 % สูงสุด
	(S) 0.035 % สูงสุด

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา

การกำหนดตัวแปรในกระบวนการกลึงปอกวัสดุ ภายใต้สภาวะการตัดเฉือนนี้ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น อิทธิพลของปัจจัยในการกลึงปอกต่อความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง โดยวิมล บุญรอด และธเนศ รัตนวิไล [1] ได้ทำการกลึงปอกต่อความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็งเกรด 7075 โดยใช้เครื่องกลึงควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์และใช้มีดกลึงคาร์ไบด์เครื่องหมายการค้า Plansee Tizit ชนิด DCGT 070204FN-27 โดยกำหนดปัจจัยที่ใช้ศึกษาได้แก่ โดยกำหนดความเร็วตัดอยู่ในช่วง 130- 220 ม./นาที อัตราป้อน 0.02-0.1 มม./รอบ และความลึกในการตัด0.45-0.85 มม. ผลการทดลองพบว่าอัตราป้อนมีผลต่อความขรุขระผิวสูงที่สุด โดยค่าความขรุขระผิวมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้อัตราป้อนต่ำลง ในขณะที่สมเสียง จันทาสีและศิริชัย ปั้นสมสกุล ได้ศึกษาการทำนายความหยาบผิวในงานกัดอะลูมิเนียมผสม เกรด 6061-T6 โดยใช้ตัวแบบสมการถดถอยโดยนำหลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^3 แบบเพิ่มจุดกึ่งกลางเป็นแบบการทดลอง โดยมีปัจจัยศึกษาคือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก จากการทดลองพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความหยาบผิวคือ อัตราป้อน และปัจจัยร่วมคือ ระยะป้อนลึกมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กับอัตราป้อนโดยมีผลต่อความหยาบผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ

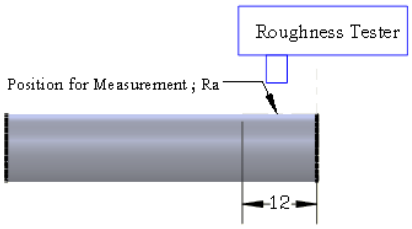
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรและระดับของปัจจัยให้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ศึกษามากล่าวมา แต่จะปรับเปลี่ยนในเรื่องของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบรวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาที่สามารถปรับค่าได้จำนวน 4 ปัจจัย ได้แก่ความเร็วตัดเท่ากับ 35, 50 และ 65 เมตร/นาที ความเร็วรอบเท่ากับ 928, 1,326 และ 1,724 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.33 มิลลิเมตร/รอบ และมุมมีดในการตัดเฉือน 3 ระดับ คือ มุม 45, 65 และ 90 องศา แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับแสดงในตารางที่ 2 โดยตัวแปรที่ถูกควบคุมไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ความลึกในการป้อน (Depth of Cut) เท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรและทดสอบโดยใช้มีดกลึงคาร์ไบด์ CBN เกรด (HB55 TNGA 160404-3N)

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการตัดเฉือน

Factor	Level		
	Low	Medium	High
ความเร็วตัด	35	50	65
ความเร็วรอบ	928	1,326	1,724
อัตราป้อน	0.1	0.2	0.33
องศาของมีดกลึง	45	65	90

2.3 วิธีการทดลอง

จะดำเนินการทดสอบโดยการกลึงปอกผิวให้เหลือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 11 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2 โดยกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ความเร็วตัด ความเร็วรอบ อัตราป้อนและมุมมีดในการตัดเฉือนโดยมีตัวแปรตอบสนอง คือค่าความหยาบของผิวชิ้นงานเฉลี่ย (Roughness ; Ra) ซึ่งจะทำการวัดผิวสำเร็จของวัสดุที่ผ่านกระบวนการกลึงปอก 1 รอบการปอกผิว ที่ระยะห่างจากหน้าตัดของชิ้นงานเท่ากับ 12 มม. จากนั้นทำการวัดความหยาบของผิวชิ้นงานเฉลี่ย 1 ตำแหน่งดังรูปที่ 3 โดยกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำ เท่ากับ 3 ครั้ง (Replicates ; n = 3) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 2 ตำแหน่งการวัดค่าความหยาบของผิวชิ้นงานเฉลี่ย (Roughness ; Ra)

การทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้ คือ

1.การตั้งสมมติฐานการวิจัย

2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยโปรแกรมมินิแท็บ16

4 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

2.3.1 การตั้งสมมติฐานการวิจัย

การตั้งสมมติฐานนั้นจะตั้งโดยใช้หลักการทางสถิติ ซึ่งจะวิเคราะห์ปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction) ที่มีผลตอบสนองต่อความหยาบผิวของชิ้นงานสำเร็จ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Main Effect

2 - Interaction

H_{05} : $(\alpha\beta)_{ij}$ = 0 ทุกๆค่า i และ j

H_{06} : $(\alpha\gamma)_{ik}$ = 0 ทุกๆค่า i และ k

H_{07} : $(\beta\gamma)_{jk}$ = 0 ทุกๆค่า j และ k

H_{08} : $(\alpha\delta)_{ak}$ = 0 ทุกๆค่า a และ k

H_{09} : $(\beta\delta)_{aj}$ = 0 ทุกๆค่า a และ j

3 - Interaction

H_{10} : $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = 0 ทุกๆค่า I , j และ k

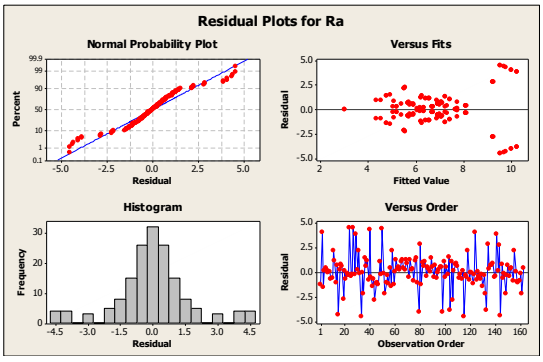
H_{11} : $(\beta\gamma\delta)_{ija}$ = 0 ทุกๆค่า I , j และ a

H_{12} : $(\alpha\beta\delta)_{ija}$ = 0 ทุกๆค่า I , j และ a

4 - Interaction

H_{13} : $(\alpha\beta\gamma\delta)_{ijk}a$ = 0 ทุกๆค่า I , j, k และ a

2.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 Residual Plot for Roughness Average

(1) จากกราฟซ้านบนค่า Residual มีการเกาะกลุ่มอยู่บนเส้นตรง มีค่าใกล้เคียงกับเส้นตรงแสดงให้เห็นว่ามีการกระจายแบบ Normal

(2) จากกราฟขวาบนจุดบนกราฟมีการกระจายตัวแบบสุ่ม แสดงว่าประชากรมีความแปรปรวนเท่ากัน

2.3.3 อภิปรายผลการทดสอบด้วยโปรแกรมช่วยทางด้านสถิติ Minitab Version 16

จากการวิเคราะห์ความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) หรือเงื่อนไขความเพียงพอของข้อมูลแล้ว จะเริ่มการทดสอบวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยอ่านค่า

H_{01} : α_i = 0 ทุกๆค่า i เมื่อ i = 1,2

H_{02} : β_j = 0 ทุกๆค่า j เมื่อ j = 1,2

H_{03} : γ_k = 0 ทุกๆค่า j เมื่อ j = 1,2

H_{04} : δ_a = 0 ทุกๆค่า j เมื่อ j = 1,2

(P-value) ที่ได้จากตารางสรุป ANOVA

โดยถ้าค่า P-value => α (0.05) ให้ยอมรับสมมติฐาน

แต่ถ้าค่า P-value < α (0.05) ให้ปฏิเสธสมมติฐาน

ซึ่งจะพิจารณาจากปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction) ที่คาดว่าจะมีผลตอบสนอง ดังนี้

Results for: Worksheet 2

Multilevel Factorial Design

Factors: 4 Replicates: 2

Base runs: 81 Total runs: 162

Base blocks: 1 Total blocks: 1

Number of levels: 3, 3, 3, 3

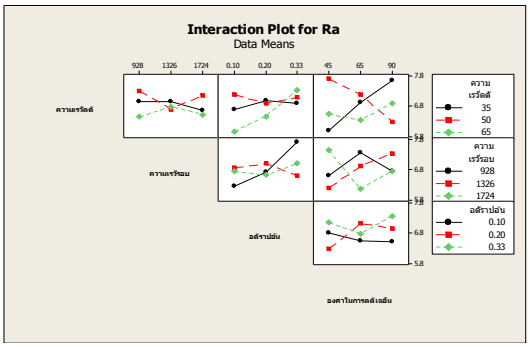
General Linear Model: Ra versus

```
Factors:        4     Replicates:      2
Base runs:     81     Total runs:    162
Base blocks:    1     Total blocks:    1

Number of levels: 3, 3, 3, 3

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests
Source                          DF   Seq SS   Adj SS  Adj MS     F
ความเร็วตัด                      2    5.857    5.857   2.928  0.52
ความเร็วรอบ                      2    0.389    0.389   0.194  0.03
อัตราป้อน                        2    6.687    6.687   3.343  0.60
องศาในการตัดเฉือน                2    1.132    1.132   0.566  0.10
ความเร็วตัด*ความเร็วรอบ          4    5.266    5.266   1.317  0.23
ความเร็วตัด*อัตราป้อน            4   12.441   12.441   3.110  0.55
ความเร็วตัด*องศาในการตัดเฉือน    4   45.236   45.236  11.309  2.01
ความเร็วรอบ*อัตราป้อน            4   16.520   16.520   4.130  0.74
ความเร็วรอบ*องศาในการตัดเฉือน    4   31.458   31.458   7.864  1.40
อัตราป้อน*องศาในการตัดเฉือน      4   10.509   10.509   2.627  0.47
ความเร็วตัด*ความเร็วรอบ*อัตราป้อน 8  21.146   21.146   2.643  0.47
ความเร็วตัด*ความเร็วรอบ*         8   74.153   74.153   9.269  1.65
องศาในการตัดเฉือน
ความเร็วตัด*อัตราป้อน*           8   16.886   16.886   2.111  0.38
องศาในการตัดเฉือน
ความเร็วรอบ*อัตราป้อน*           8   64.718   64.718   8.090  1.44
องศาในการตัดเฉือน
ความเร็วตัด*ความเร็วรอบ*อัตราป้อน* 16  41.821   41.821   2.614  0.47
องศาในการตัดเฉือน
Error                           81  455.009  455.009   5.617
Total                          161  809.228
S = 2.37011   R-Sq = 43.77%   R-Sq(adj) = 0.00%
```

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ผู้วิจัยได้ทำการคัดกรองปัจจัยที่ไม่มีผลสนองออกไป (Screen Out factor) แล้วทำการทดสอบอีกครั้งเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่มีผลตอบสนองต่อตัวแปร y ที่เหมาะสมมากที่สุด ด้วยการใช้ Response Optimizer ต่อไป

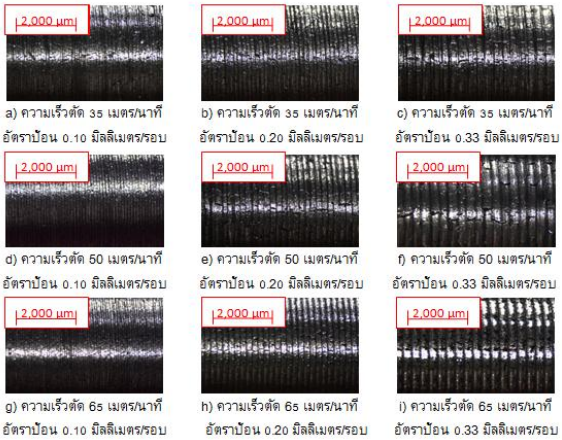
2.3.4 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบผิวของชิ้นงานน้อยที่สุด สามารถวิเคราะห์ได้จากโปรแกรมช่วยทางด้านสถิติ Minitab Version 16 ด้วยการหาจากการใช้ฟังก์ชั่น Response Optimizer มาทำการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Interaction Plot for Roughness Average

จากการวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชั่น Response Optimizer ทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผู้วิจัยได้นำผลการทดสอบไปยืนยันด้วยการตรวจสอบเปรียบเทียบลักษณะของผิวชิ้นงานกลึงโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ ความละเอียด 500 เท่า และทำการตรวจสอบด้วยสายตาด้วยเครื่องสายตา (Visual Control) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงลักษณะผิวงานกลึงปอกวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C ด้วยมีดCBN เกรด HB55 TNGA 160404 - 3N ที่มุม 90 องศา

4. สรุปผล

จากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งกระทบผลต่อความหยาบผิวของวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด S45C โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) มาช่วยในการคัดกรองปัจจัยที่มีผลตอบสนองต่อความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุทดสอบ โดยผู้วิจัยพบว่าถ้าต้องการกลึงปอกวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C ให้ได้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานดีที่สุด ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแต่ละปัจจัยดังนี้ ควรกำหนดค่าความเร็วตัดที่ 65 เมตร/นาที ความเร็วรอบที่ 1,724 มิลลิเมตร/รอบ อัตราป้อนที่ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ และการตั้งมุมมีดที่ 90 องศา

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธนบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ เครื่องจักรและสถานที่ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] วิมล บุญรอด และธเนศ รัตนวิไล, “อิทธิพลของปัจจัยในการกลึงปอกต่อความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง” วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 23 ฉบับที่ 4 พ.ศ. 2555

[2] สมเสียง จันทาสีและศิริชัย ปั้นสมสกุล, "การทำนายความหยาบผิวในงานกัดอะลูมิเนียมผสม เกรด 6061-T6 โดยใช้ตัวแบบสมการถดถอย", ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[3] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. เครื่องคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). แหล่งที่มา http://youth.ftpi.or.th, 19 ตุลาคม 2553

เราต้องการระเบียบการวัดสายตาใหม่ในประเทศไทยหรือไม่?

Do We Need a New Eye Examination Protocol in Thailand?

อัจฉราพร กิตติหัช นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร*
ศูนย์นวัตกรรมสำหรับวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์และการยศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

Atcharaporn Kittihuch, Nantakrit Yodpijit*
Center for Innovation in Human Factors Engineering and Ergonomics (CIHFE^2)
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), Bangsue, Bangkok 10800
E-mail: nantakrit@gmail.com*, ntk@kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การตรวจวัดสายตาเป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับการตรวจสอบสภาวะที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการมองเห็นจากปกติ บุคคลที่มีภาวะสายตาผิดปกติอาจต้องการใบสั่งแพทย์สำหรับการประกอบแว่นตาเพื่อใช้แก้ไขภาวะสายตา การตรวจสอบตรวจสอบความผิดปกติของสายตาควรมีความพยายามในทุกวิถีทางเพื่อให้แน่ใจว่ามีการดำเนินการที่ถูกต้อง จากงานวิจัยล่าสุดพบว่าในประเทศไทยกว่า 90% ของการตรวจคัดกรองการมองเห็น การตรวจวัดสายตา และการประกอบแว่นตา ทำโดยร้านแว่นตาในท้องถิ่น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการวัดภาวะความผิดปกติของสายตาระหว่างร้านแว่นตาในท้องถิ่นและผู้เชี่ยวชาญด้านการดูแลสุขภาพตา การวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอยถูกใช้เพื่อการประเมินระบบการวัดสายตานี้ ผลการศึกษาเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างการวัดสายตาจากผู้เชี่ยวชาญและร้านแว่นตาท้องถิ่น อาจส่อให้เห็นถึงความต้องการในการปรับปรุงมาตรฐานการตรวจวัดสายตา การตรวจคัดกรองการมองเห็น และการประกอบแว่นตา ว่าจำเป็นต้องทำด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านการดูแลสุขภาพตา

คำหลัก การวัดสายตา ภาวะสายตาผิดปกติ การวิเคราะห์ความแปรปรวน การวิเคราะห์การถดถอย

Abstract

Eye exam is critical for the detection of conditions affecting normal visual performance. People with refractive errors may require a prescription for corrective eyeglasses. For the detection of eye abnormalities, every effort should be made to ensure that eye examination is performed completely right. Recent research indicates that in Thailand over 90% of vision screening, eye examination, and corrective eyeglasses are made at the local eyeglasses shops. The objective of this study is to compare measuring diopter refractive error made in the local eyeglasses shops and those made by eye care professionals during eye examination. Statistics analysis is performed to examine differences in measuring diopter from the local eyeglasses shops and the eye care professionals. ANOVA and regression analysis are applied to assess the eye measurement system. Preliminary results from this study indicate that there are significant differences at 95% confidence level in measuring diopter obtained from eye care professionals and local eyeglasses shops. It might be implied that the revision of national standard for eye examination, vision screening, and corrective eyeglasses performed by eye care professionals is needed.

Keywords: Eye examination, Refractive errors, ANOVA, Regression Analysis

1. บทนำ

จากข้อมูลขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) และสภาทัศนมาตราศาสตร์โลก (World Council of Optometry: WCO) [1] พบว่าปัญหาด้านสายตาและสภาพการมองเห็นเป็นสาเหตุอันดับ 2 ของสาเหตุทางสุขภาพทั้งหมดที่ก่อให้เกิดความพิการทางสายตา) ด้วยเหตุนี้การวัดสายตา (Eye Examination) ประกอบแว่นเพื่อแก้ไขภาวะสายตาผิดปกติ (Refractive Error) ให้กลับมาปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีการบังคับใช้ใบประกอบโรคศิปลปะหรือใบประกอบวิชาชีพเพื่อรับรองมาตรฐานหรือความสามารถในการตรวจวัดสายตาและประกอบแว่นตาของช่างประกอบแว่นตาตามร้านประกอบแว่นทั่วไป ซึ่งต่างจากต่างประเทศการตรวจวัดสายตาและประกอบแว่นตาเป็นระบบที่มาตรฐานซึ่งการตรวจวัดสายตาแต่ละครั้งต้องตรวจวัดสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านสุขภาพตา (จักษุแพทย์, นักทัศนมาตรวิชาชีพ) เท่านั้น

จากสภาพปัญหาในปัจจุบัน โซเชียลเน็ตเวิร์กของประเทศไทยกำลังขยายตัวอย่างรวดเร็ว จากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติปี พ.ศ. 2557 พบว่าวัยรุ่นไทยใช้ Smart phone เป็นเครื่องมือเข้าถึงอินเตอร์เน็ตมากที่สุดร้อยละ 77 เฉลี่ยใช้วันละ 7.2 ชั่วโมง เพิ่มมากขึ้นจากปี พ.ศ. 2556 ที่ใช้เฉลี่ยวันละ 4.6 ชั่วโมง [2] ซึ่งการใช้สายตาเพ่งข้อมูลใน smart phone ยาวนาน ทำให้วัยรุ่นไทยมีความเสี่ยงที่จะเกิดสายตาผิดปกติเพิ่มมากขึ้นทั้งสายตาสั้น สายตายาวและสายตาสั้นและเอียงเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่า [3]

ด้วยเหตุนี้การตรวจวัดสายตาเพื่อประกอบแว่นมีความจำเป็นอย่างมากสำหรับผู้ที่มีภาวะสายตาผิดปกติเพื่อแก้ไขภาวะสายตาผิดปกติให้กลับปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพคนที่มีปัญหาเกี่ยวกับสายตาเช่น สายตาสั้น, สายตาสั้นและเอียง, สายตายาวและสายตาเอียงจำเป็นที่ต้องมีใบสั่งประกอบแว่นตา เพราะฉะนั้น การตรวจสอบค่าความผิดปกติของสายตาจึงควรที่จะได้รับการตรวจสอบอย่างถูกต้องตามมาตรฐาน เพื่อให้แน่ใจว่าการวัดค่าสายตาเป็นไปอย่างสมบูรณ์และถูกต้องควรจะได้รับการตรวจวัดโดยผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพตา (จักษุแพทย์, นักทัศนมาตรวิชาชีพ) จากงานวิจัยในประเทศไทย [4] พบว่ากว่า 90% ของการตรวจวัดสายตาและประกอบแว่นทำที่ร้านวัดสายตาและประกอบแว่นท้องถิ่นซึ่งอาจจะทำให้ผู้ที่มีภาวะความผิดปกติของสายตาไม่ได้รับการแก้ไขสายตาอย่างแท้จริง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ค่าไดออปเตอร์ (Diopter)

เป็นหน่วยวัดของกำลังรวมแสง ของเลนส์หรือกระจกโค้ง ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าผกผันของทางยาวโฟกัสในหน่วยของเมตร การใช้งานค่าไดออปเตอร์นี้ถูกนำเสนอโดย นักจักษุวิทยา ชาวฝรั่งเศส เฟอร์ดินาน มาโนเยอร์ ในปี ค.ศ. 1872 สูตรคำนวณหาค่า ไดออปเตอร์ คือ

$$D = \frac{1}{F(m)} \qquad (1)$$

เป็นหน่วยแสดงถึง กำลังหักเหแสงของเลนส์ โดย 1 D (หนึ่ง ดี) เป็นกำลังของเลนส์ ที่เมื่อมีแสงกระทบ จะไปโฟกัสที่ห่างจากเลนส์นั้น 1 เมตร หน่วย ในการเรียก สายตาสั้น สายตายาว ของแพทย์ใช้หน่วยเป็น ไดออปเตอร์ เพื่อบอกว่าต้องการเลนส์ที่มีกำลังหักเหของแสงเท่าไรถึงจะแก้ไขให้ หาย สายตาสั้น หรือ หาย สายตายาว โดยเมื่อเป็น สายตาสั้น จะแก้ไขโดยใช้เลนส์เว้า ทางแพทย์เรียกเป็น ลบ เช่น สั้น หนึ่งร้อย แพทย์จะเรียกเป็น สายตาสั้น -100 D (-1.00D) และเมื่อ สายตายาว จะแก้ไขโดยใช้เลนส์นูน จะเรียกเป็นบวก เช่น สายตายาวหนึ่งร้อย แพทย์จะเรียกเป็น +100 D **(+1.00D)**

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 กำหนดกลุ่มตัวอย่างทดลอง

ผู้วิจัยดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูลค่าไดออปเตอร์การวัดสายตา โดยแต่ละกลุ่มการทดลองจะแบ่ง (Within) แต่ละกลุ่มการทดลอง = 3 ระดับ (Treatment) รวมการทดลองทั้งหมด 6 ระดับ (Treatment) กำหนดผู้ทดลองวัยรุ่นและวัยทำงาน ช่วงอายุตั้งแต่ 20-44 ปี (Neugarten,1974; Settersten and Mayer,1997) จำนวน 15 คน โดยจะใช้ผู้ทดลอง 15 คนเดิมในการทดลองวัดสายตาในทุกกลุ่มการทดลองเพื่อลดความแปรผันที่สามารถควบคุมได้จากความแตกต่างของกลุ่ม

ตัวอย่างเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในการเปรียบเทียบ รวมทำการทดลองวัดสายตาทั้งหมด 90 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 540 ค่า

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการเก็บรวบรวมและบันทึกข้อมูลจากกลุ่มทดลองตามแผนที่วางไว้ ดังแสดงในตารางที่ 1 ตารางที่ 6

ตารางที่ 1. เปรียบเทียบข้อมูลค่าไดออปเตอร์ตาขวา (Right eye)

ผู้ร่วมทดลอง	อายุ	(A)Right eye	(B)Right eye	(C)Right eye	(D)Right eye	(E)Right eye	(F)Right eye
1	27	-3.50	-3.50	-3.25	-1.75	-1.50	-3.75
2	25	-2.25	-2.25	-2.50	-1.50	-1.00	-2.75
3	26	0.00	0.25	0.50	0.00	-1.25	0.75
4	27	-2.00	-2.00	-2.50	-1.00	-1.25	-2.00
5	30	0.25	0.25	0.75	0.00	1.00	0.75
6	22	-0.75	-0.75	-0.50	-0.75	-1.75	-1.50
7	29	0.25	0.25	0.50	0.75	1.25	-1.00
8	29	-0.50	-0.25	-0.50	-1.00	-1.50	-0.75
9	28	0.00	-0.50	-0.25	-0.50	-1.50	-1.00
10	26	-5.50	-6.00	-6.00	-1.00	-3.00	-5.00
11	34	-1.00	-1.00	-1.50	-1.50	-1.50	-1.75
12	35	0.00	0.00	-0.50	0.00	-0.75	-0.50
13	27	0.50	0.50	0.25	0.75	0.25	1.25
14	26	-1.25	-1.25	-1.00	-2.50	-3.00	-1.00
15	29	-3.50	-3.25	-3.00	-4.50	-2.50	-2.50

ตารางที่ 2. เปรียบเทียบข้อมูลค่าไดออปเตอร์ตาซ้าย (Left eye)

ผู้ร่วมทดลอง	อายุ	(A)Left eye	(B)Left eye	(C)Left eye	(D)Left eye	(E)Left eye	(F)Left eye
1	27	-0.75	-0.75	-0.50	-0.75	-1.50	-0.25
2	25	-2.50	-2.50	-2.50	-1.50	-1.00	-3.00
3	26	0.25	0.25	0.50	0.00	1.25	0.75
4	27	-1.25	-1.50	-1.50	-1.00	-0.75	-2.00
5	30	0.50	0.25	1.00	0.00	1.25	0.50
6	22	0.00	0.00	0.50	-0.75	-0.25	-1.00
7	29	0.00	0.25	0.50	0.50	1.25	1.00
8	29	-0.25	-0.25	-0.75	-0.75	-1.25	-1.25
9	28	0.00	-0.25	-0.50	-0.50	-1.25	-0.75
10	26	-0.75	-0.50	-0.50	-0.75	-1.50	-1.50
11	34	-1.00	-0.75	-1.00	-1.50	-0.50	-1.00
12	35	0.00	-0.25	-0.50	0.00	-0.50	-1.00
13	27	0.25	0.50	1.00	1.00	1.25	1.00
14	26	-2.00	-1.75	-1.50	-3.00	-1.00	-1.50
15	29	-2.75	-3.00	-3.00	-3.75	-1.00	-2.50

ตารางที่ 3. เปรียบเทียบค่าไดออปเตอร์สายตาเอียงขวา (CYL-R)

ผู้ร่วมทดลอง	อายุ	(A)CYL-R	(B)CYL-R	(C)CYL-R	(D) CYL-R	(E)CYL-R	(F)CYL-R
1	27	-0.25	-0.50	-0.50	0.00	-1.00	-0.75
2	25	-0.50	-0.25	-0.50	-1.25	-1.50	-0.75
3	26	-0.25	-0.50	-0.70	0.00	-1.00	-0.25
4	27	-0.75	-0.75	-1.00	-2.50	-1.00	-3.50
5	30	-0.50	-0.50	-0.75	-0.75	-1.50	-1.25
6	22	-0.25	-0.50	-0.50	-0.25	-1.00	-0.75
7	29	-0.25	0.00	-0.75	-0.75	-1.00	-1.25
8	29	-0.75	-0.75	-1.00	-0.50	-1.50	-1.00
9	28	-0.25	-0.50	-1.00	-0.75	-0.50	-1.25
10	26	-5.00	-4.75	-5.25	-1.25	-5.50	-4.50
11	34	-0.25	-0.50	-0.50	-0.50	-1.00	-1.25
12	35	-0.75	-0.50	-0.75	-1.00	-1.50	-1.25
13	27	-0.25	0.00	-0.50	-0.50	-1.00	-1.50
14	26	-0.75	-0.50	-1.00	-0.50	-1.00	-0.75
15	29	-1.00	-1.00	-1.00	-1.50	-1.50	-2.00

ตารางที่ 4. เปรียบเทียบค่าไดออปเตอร์สายตาเอียงซ้าย (CYL-L)

ผู้ร่วมทดลอง	อายุ	(A)CYL-L	(B)CYL-L	(C)CYL-L	(D)CYL-L	(E)CYL-L	(F)CYL-L
1	27	-1.25	-0.75	-1.00	0.00	-0.25	-0.75
2	25	-0.25	-0.25	-0.50	-1.25	-1.50	-1.00
3	26	-0.25	-0.25	-0.50	0.00	-1.00	-0.50
4	27	-2.25	-2.75	-3.00	-2.50	-1.25	-2.00
5	30	-0.50	-0.25	-0.50	-0.50	-1.00	-0.75
6	22	-0.50	-0.50	-0.50	-0.25	-1.00	-1.25
7	29	-0.25	-0.50	-0.25	-0.25	-1.25	-1.00
8	29	-0.50	-0.50	-1.00	-0.50	-2.00	-1.50
9	28	0.00	0.00	-0.25	0.00	0.50	-0.25
10	26	-1.00	-0.75	-1.00	0.00	-1.50	-1.25
11	34	-0.50	-0.50	-0.75	-0.75	-1.50	-0.75
12	35	-0.50	-0.50	-0.25	-1.00	-1.75	-1.50
13	27	0.00	0.00	0.50	0.00	1.00	0.25
14	26	-1.25	-1.25	-1.50	-0.50	-0.50	-1.00
15	29	-0.50	-0.75	-0.75	-1.00	-1.50	-1.25

ตารางที่ 5. เปรียบเทียบค่าไดออปเตอร์องศาของสายตาเอียงขวา (Axis-R)

ผู้ร่วมทดลอง	อายุ	(A)Axis-R	(B)Axis-R	(c)Axis-R	(D)Axis-R	(E)Axis-R	(F)Axis-R
1	27	50	55	50	0	80	60
2	25	65	65	50	90	90	90
3	26	85	85	90	0	120	90
4	27	170	170	180	180	180	180
5	30	40	40	50	80	60	75
6	22	80	85	90	90	90	90
7	29	160	150	160	180	180	180
8	29	100	95	100	100	100	100
9	28	90	70	90	90	90	100
10	26	50	50	50	180	80	90
11	34	115	125	125	120	150	120
12	35	20	15	20	30	30	20
13	27	20	0	0	30	30	20
14	26	80	90	90	90	75	90
15	29	180	180	180	180	150	180

ตารางที่ 6. เปรียบเทียบค่าไดออปเตอร์องศาของสายตาเอียงซ้าย (Axis-L)

ผู้ร่วมทดลอง	อายุ	(A)Axis-L	(B)Axis-L	(c)Axis-L	(D)Axis-L	(E)Axis-L	(F)Axis-L
1	27	5	5	10	0	20	30
2	25	180	180	180	90	180	180
3	26	60	65	70	0	90	90
4	27	180	180	180	180	180	180
5	30	70	80	90	90	90	90
6	22	140	125	125	150	150	125
7	29	150	150	150	160	180	180
8	29	100	100	90	100	120	150
9	28	0	0	90	0	90	90
10	26	10	20	20	0	30	45
11	34	45	60	60	60	80	90
12	35	130	130	120	120	120	145
13	27	0	0	0	0	180	160
14	26	90	90	90	90	90	90
15	29	180	170	180	180	160	190

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองภายในกลุ่มการทดลองวัดค่าสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพตา (จักษุแพทย์, นักทัศนมาตรวิชาชีพ) (ตารางที่ 7 - ตารางที่ 10)

ตารางที่ 7. ผลเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนค่าไดออปเตอร์การวัดสายตากลุ่มทดลองผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพ

Diopter Factor	N	StDev	P-Value	ผลการทดสอบ
(A) Right eye	15	1.750	0.978	เมื่อ p-value > α (0.05) ความแปรปรวนค่าไดออปเตอร์ของแต่ละระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน
(B) Right eye	15	1.821		
(C) Right eye	15	1.849		
(A) Left eye	15	1.033	0.842	เมื่อ p-value > α (0.05) ความแปรปรวนค่าไดออปเตอร์ของแต่ละระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน
(B) Left eye	15	1.054		
(C) Left eye	15	1.194		
(A) CYL-R	15	1.195	0.829	เมื่อ p-value > α (0.05) ความแปรปรวนค่าไดออปเตอร์ของแต่ละระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน
(B) CYL-R	15	1.369		
(C) CYL-R	15	1.182		
(A) CYL-L	15	0.589	0.604	เมื่อ p-value > α (0.05) ความแปรปรวนค่าไดออปเตอร์ของแต่ละระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน
(B) CYL-L	15	0.667		
(C) CYL-L	15	0.773		
(A) Axis-R	15	50.948	0.974	เมื่อ p-value > α (0.05) ความแปรปรวนค่าไดออปเตอร์ของแต่ละระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน
(B) Axis-R	15	47.975		
(C) CYL-R	15	50.705		
(A) Axis-L	15	62.468	0.967	เมื่อ p-value > α (0.05) ความแปรปรวนค่าไดออปเตอร์ของแต่ละระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน
(B) Axis-L	15	59.910		
(C) CYL-R	15	59.755		

ตารางที่ 8. ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าไดออปเตอร์การวัดสายตากลุ่มทดลองผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพตา

Diopter Factor	N	StDev	P-Value	R-Sq(adj)	ผลการทดสอบ
(A) Right eye (B) Right eye (C) Right eye	45	1.378	0.774	87.92%	เมื่อ p-value > α (0.05) ยอมรับ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์ไม่แตกต่างกัน
(A) Left eye (B) Left eye (C) Left eye	45	0.957	1.000	90.26%	เมื่อ p-value > α (0.05) ยอมรับ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์ไม่แตกต่างกัน
(A) CYL-R (B) CYL-R (C) CYL-R	45	1.046	0.395	89.63%	เมื่อ p-value > α (0.05) ยอมรับ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์ไม่แตกต่างกัน)
(A) CYL-L (B) CYL-L (C) CYL-L	45	0.751	0.034*	92.05%	เมื่อ p-value < α (0.05) ยอมรับ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
(A) Axis-R (B) Axis-R (C) Axis-R	45	33.95	1.000	71.61%	เมื่อ p-value > α (0.05) ยอมรับ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์ไม่แตกต่างกัน
(A) Axis-L (B) Axis-L (C) Axis-L	45	40.46	0.041*	69.45%	เมื่อ p-value < α (0.05) ยอมรับ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 9. ผลเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนค่าไดออปเตอร์การวัดสายตากลุ่มทดลองร้านวัดสายตาประกอบแว่นทั่วไปในท้องถิ่น

Diopter Factor	N	StDev	P-Value	ผลการทดสอบ
(D) Right eye	15	0.978	0.436	เมื่อ p-value > α (0.05) ความแปรปรวนของแต่ละระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน
(E) Right eye	15	1.254		
(F) Right eye	15	1.387		
(D) Left eye	15	1.238	0.830	เมื่อ p-value > α (0.05) ความแปรปรวนของแต่ละระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน
(E) Left eye	15	1.068		
(B) Left eye	15	1.234		
(D) CYL-R	15	0.643	0.078	เมื่อ p-value > α (0.05) ความแปรปรวนของแต่ละระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน
(E) CYL-R	15	1.162		
(F) CYL-R	15	1.121		
(D) CYL-L	15	0.677	0.314	เมื่อ p-value < α (0.05) ความแปรปรวนของแต่ละระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน
(E) CYL-L	15	0.833		
(F) CYL-L	15	0.549		
(D) Axis-R	15	54.077	0.893	เมื่อ p-value > α (0.05) ความแปรปรวนของแต่ละระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน
(E) Axis-R	15	47.301		
(F) Axis-R	15	50.078		
(D) Axis-L	15	42.635	0.761	เมื่อ p-value > α (0.05) ความแปรปรวนของแต่ละระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน
(E) Axis-L	15	53.514		
(F) Axis-L	15	51.404		

ตารางที่ 10. ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าไดออปเตอร์การวัดสายตากลุ่มทดลองร้านวัดสายตาประกอบแว่นทั่วไปในท้องถิ่น

Diopter Factor	N	StDev	P-Value	R-Sq(adj)	ผลการทดสอบ
(D) Right eye (E) Right eye (F) Right eye	45	1.033	<0.0001	89.70%	เมื่อ p-value < α (0.05) ปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกัน
(D) Left eye (E) Left eye (F) Left eye	45	1.017	<0.0001	88.74%	เมื่อ p-value < α (0.05) ปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกัน
(D) CYL-R (E) CYL-R (F) CYL-R	45	0.932	<0.0001	91.86%	เมื่อ p-value < α (0.05) ปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกัน)
(D) CYL-L (E) CYL-L (F) CYL-L	45	0.769	<0.0001	93.57%	เมื่อ p-value < α (0.05) ปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกัน)
(D) Axis-R (E) Axis-R (F) Axis-R	45	34.55	<0.0001	66.91%	เมื่อ p-value < α (0.05) ปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกัน
(D) Axis-L (E) Axis-L (F) Axis-L	45	33.60	<0.0001	74.75%	เมื่อ p-value < α (0.05) ปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกัน

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

สรุปผลการทดลองระหว่างกลุ่มการทดลองวัดค่าสายตา (Between subject design) ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11. ผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าไดออปเตอร์ระหว่างกลุ่มการทดลองผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพตา และร้านวัดสายตาประกอบแว่นทั่วไปในท้องถิ่น

Diopter Factor	N	StDev	P-Value	R-Sq(adj)	ผลการทดสอบ
(A,B,C,D,E,F) Right eye	90	1.616	<0.0001	67.78%	เมื่อ p-value < α (0.05) ปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกัน
(A,B,C,D,E,F) Left eye	90	1.450	<0.0001	67.44%	เมื่อ p-value < α (0.05) ปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกัน
(A,B,C,D,E,F) CYL-R	90	1.456	<0.0001	71.30%	เมื่อ p-value < α (0.05) ปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกัน)
(A,B,C,D,E,F) CYL-L	90	1.308	<0.0001	72.61%	เมื่อ p-value < α (0.05) ปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกัน)
(A,B,C,D,E,F) Axis-R	90	34.41	<0.0001	64.56%	เมื่อ p-value < α (0.05) ปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกัน
(A,B,C,D,E,F) Axis-L	90	43.17	<0.0001	69.47%	เมื่อ p-value < α (0.05) ปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์แตกต่างกัน

ความแปรปรวนค่าไดออปเตอร์ของแต่ละระดับปัจจัยของทั้ง 2 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05 เนื่องจาก P-value > α (0.05) แสดงให้เห็นถึงว่าทั้งสองกลุ่มการทดลองไม่มีความแปรปรวนระหว่างกลุ่มที่แตกต่างกัน

ค่าเฉลี่ยค่าไดออปเตอร์ของแต่ละระดับปัจจัยของทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05 เมื่อ P-value < α (0.05) โดยผลจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไดออปเตอร์ ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12. เปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยค่าไดออปเตอร์การวัดสายตาแต่ละคู่ (Paired T-Test)

Diopter Factor	Right eye P-value	Left eye P-value	CYL-R P-value	CYL-L P-value	Axis-R P-value	Axis-L P-value
A*B	0.077	0.100	0.080	0.100	0.058	0.060
A*C	0.087	0.056	0.066	0.037*	0.057	0.044*
A*D	0.039*	0.030*	0.095	0.066	0.045*	0.030*
A*E	0.081	0.023*	0.000*	0.182	0.011*	0.037*
A*F	0.058	0.042*	0.003*	0.019*	0.003*	0.011*
B*C	0.100	0.057	0.071	0.051	0.059	0.023*
B*D	0.041*	0.029*	0.056	0.060	0.022*	0.026*
B*E	0.078	0.022*	0.007*	0.018*	0.052	0.017*
B*F	0.063	0.037*	0.003*	0.039*	0.059	0.011*
C*D	0.042	0.015*	0.043*	0.024*	0.053	0.011*
C*E	0.078	0.036*	0.001*	0.038*	0.033	0.026*
C*F	0.064	0.010*	0.049*	0.014*	0.015*	0.031*
D*E	0.037	0.009*	0.057	0.077	0.073	0.021*
D*F	0.030*	0.094	0.006*	0.009*	0.076	0.005*
E*F	0.061	0.082	0.088	0.100	0.056	0.024*

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าไดออปเตอร์คู่ที่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05 เมื่อ P-value < α (0.05) แสดงดังตารางที่ 13.

ตารางที่ 13. แสดงผลค่าเฉลี่ยค่าไดออปเตอร์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ของการวัดสายตาแต่ละคู่ (Paired T-Test)

Diopter Factor	ผู้วัดสายตา
Right eye (สายตาขวา)	AD, BD, DF
Left eye (สายตาซ้าย)	AD,AE, AF, BD, BD, BF, CD, DE, DF, DE
CYL-R (สายตาเอียงขวา)	AE, AF, BE, BF, CD, DE, DF, DF
CYL-L (สายตาเอียงซ้าย)	AC, AF, BE, BF, CD, DE, DF, DF
Axis-R (องศาสายตาขวา)	AD, AE, AF, BD, CF
Axis-L (องศาสายตาซ้าย)	AC, AD, AE, AF, BC, BD, BE, BF, CD, CE, CF, DE, DF, EF

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและการบริการของการตรวจวัดสายตาค่าเฉลี่ยค่าไดออปเตอร์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของร้านวัดสายตาประกอบแว่นทั่วไปกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านสุขภาพตา (จักษุแพทย์, นักทัศนมาตรวิชาชีพ) ซึ่งอาจจะส่งผลต่อสุขภาพทางดวงตาในระยะยาวของผู้เข้ารับบริการหากได้รับการตรวจตาที่ไม่ได้มาตรฐาน

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่มีความสัมพันธ์ต่อการวัดค่าไดออปเตอร์ได้ทั้งหมด 12 สมการ แสดงดังตารางที่ 14.

ตารางที่ 14. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	กลุ่มการทดลอง ผู้วัดค่าไดออปเตอร์	สมการ
1.	ผู้วัด A ตาขวา(Right eye) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพตา	(A)Right eye = - 0.023 + 0.919(A)Left eye + 0.808(A)CYL-R
2.	ผู้วัด A ตาซ้าย(Left eye) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพตา	(A)Left eye = 0.237 + 0.586(A)Right eye
3.	ผู้วัด B ตาขวา(Right eye) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพตา	(B)Right eye = - 1.07 + 1.35(B)Left eye + 1.02(B)CYL-R
4.	ผู้วัด B ตาซ้าย(Left eye) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพตา	(B)Left eye = 0.717 + 0.473(B)Right eye - 0.00615(B)Axis-L
5.	ผู้วัด C ตาขวา(Right eye) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพตา	(C)Right eye = - 0.491 + 0.960(C)Left eye + 0.871(C)CYL-R
6.	ผู้วัด C ตาซ้าย(Left eye) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพตา	(C)Left eye = 0.637 + 0.586(C)Right eye
7.	ผู้วัด D ตาขวา(Right eye) กลุ่มร้านวัดสายตาทั่วไป	(D)Right eye = - 0.173 + 1.10 (D)Left eye
8.	ผู้วัด D ตาซ้าย(Left eye) กลุ่มร้านวัดสายตาทั่วไป	(D)Left eye = 0.133 + 0.84(D)Right eye
9.	ผู้วัด E ตาขวา(Right eye) กลุ่มร้านวัดสายตาทั่วไป	(E)Right eye = - 0.551 + 0.861(E)Left eye
10.	ผู้วัด E ตาขวา(Right eye) กลุ่มร้านวัดสายตาทั่วไป	(E)Left eye = 0.385 + 0.656(E)Right eye
11.	ผู้วัด F ตาขวา(Right eye) กลุ่มร้านวัดสายตาทั่วไป	(F)Right eye = - 1.31 + 0.778(F)Left eye + 0.0162(F)Axis-L
12.	ผู้วัด F ตาขวา(Right eye) กลุ่มร้านวัดสายตาทั่วไป	(F)Left eye = 1.11 + 0.508(F)Right eye

6. ข้อเสนอแนะของงานวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าเข้ารับการตรวจวัดสายตาจากร้านวัดสายตาประกอบแว่นทั่วไปในท้องถิ่นกับการวัดสายตาโดยผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพตา (จักษุแพทย์, นักทัศนมาตรวิชาชีพ) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิจัยนี้อาจเป็นส่วนหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นถึงมาตรฐานของการวัดสายตาในประเทศไทย เพื่อให้ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจากภาครัฐพิจารณากฤษฎีกาการจัดทำใบประกอบโรคศิลปะ หรือจัดตั้งองค์กรเพื่อควบคุมและตรวจสอบมาตรฐานในการตรวจวัดสายตาของร้านวัดสายตาประกอบแว่นทั่วไป เพื่อดูแลประโยชน์แก่ประชาชนในอนาคต

มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องสร้างความชัดเจนให้เกิดขึ้นก่อนเปิดประชาคมอาเซียน โดยภายใต้เงื่อนไข ASEAN Mutual Recognition Arrangement : MRA ซึ่งคือ ข้อตกลงยอมรับร่วมคุณสมบัตินักวิชาชีพ เป็นข้อตกลงเกี่ยวกับการแสวงหาจุดยอมรับร่วมกันเรื่องคุณสมบัติของผู้ทำงานด้านบริการ โดยเฉพาะในกลุ่มที่เป็นนักวิชาชีพ โดยอาชีพจักษุแพทย์และนักทัศนมาตรวิชาชีพถือเป็นอาชีพทางด้านบริการที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขนี้ด้วยเช่นกัน โดย พ.ศ 2557 นักทัศนมาตรที่ขึ้นทะเบียนของกระทรวงสาธารณะสุข ขณะนี้มีจำนวน 74 คน (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2557) ขณะที่องค์การอนามัยโลก และสภานักทัศนมาตรโลกกำหนดให้ในแต่ละประเทศต้องมีนักทัศนมาตร 0.9 คนต่อประชาการในประเทศ 100,000 คน ประเทศไทยมีประชากร 65,926,261 คน (สำมะโนประชากรและเคหะ พ.ศ. 2553, สำนักงานสถิติแห่งชาติ ณ วันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2553) ประเทศไทยขณะนี้ควรมีนักทัศนมาตรประมาณ 594 คน ดังนั้นถือได้ว่า ประเทศไทยอยู่ในภาวะขาดแคลนนักทัศนมาตรวิชาชีพ

จากการที่ผู้วิจัยจดบันทึกขั้นตอนการวัดสายตาของผู้วัดสายตาของร้านประกอบแว่นตาทั่วไปและขั้นตอนการวัดสายตาของผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพตา (จักษุแพทย์, นักทัศนมาตรวิชาชีพ) เปรียบเทียบหาความแตกต่างของขั้นตอนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด เทียบกับมาตรฐานการตรวจตา (Eye Examination) พบว่าร้านวัดสายตาประกอบแว่นทั่วไปในท้องถิ่นจะทำการวัดระดับสายตา (Visual Acuity) เพียงอย่างเดียวโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการตัดแว่นโดยไม่คำนึงว่าผู้เข้ารับบริการอาจจะมีโรคทางดวงตาบางอย่างที่ทำให้เกิดภาวะสายตาผิดปกติ (refractive errors) เช่น โรคสายตาขี้เกียจ เพราะถึงแม้ว่าทำการประกอบแว่นสายตาแล้วก็ไม่สามารถช่วยให้ระดับการมองเห็นดีขึ้นได้ ในขณะที่การเข้ารับการตรวจโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านสุขภาพตา (จักษุแพทย์, นักทัศนมาตรวิชาชีพ) จะต้องมีการตรวจโรคตาเบื้องตาเสียก่อนเพื่อวินิจฉัยว่าสายตาที่ผิดปกติเกิดจากโรคทางตาหรือเกิดจากภาวะสายตาผิดปกติ (refractive errors) เพื่อที่จะได้ทำการรักษาและแก้ไขได้ตรงจุด โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านสุขภาพตาจะมีเครื่องมือเฉพาะที่ใช้ตรวจตาแต่ละส่วน จากนั้นผู้เชี่ยวชาญทางด้านสุขภาพตา (จักษุแพทย์, นักทัศนมาตรวิชาชีพ) จึงทำวัดระดับสายตา (Visual Acuity) เพื่อทำการประกอบแว่นสายตาเพื่อแก้ไขภาวะสายตาผิดปกติต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Resnikoff S, Pascolini D, Etya'ale D, et al. Global data on visual impairment in the year 2002, World Health Organization ; 2004.

[2] สำนักงานสถิติแห่งชาติ, สรุปผลสำรวจการมีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารในครัวเรือน ; 2557.

[3] นพ. ณรงค์ สหเมธาพัฒน์, ปลัดกระทรวงสาธารณสุข, สถิติสำนักงานส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตคนพิการแห่งชาติ กระทรวงพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ ; กันยายน, 2557.

[4] อดิศร ระวัง, “สารสนเทศกับการตัดสินใจของผู้บริโภคในการเลือกใช้บริการตรวจวัดสายตาและประกอบแว่นตา”, วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต (เศรษฐศาสตร์ธุรกิจ), คณะเศรษฐศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ; น.65, 2553.

[5] ศ.พญ.วณิชา ชื่นกองแก้ว และคณะ, ตำราจักษุวิทยา ภาควิชาจักษุวิทยา คณะแพทย์ศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล, น. 71-83, 2550.

[6] Montgomery.D.C.Design and Analysis of Experiments. Seventh Edition. USA. : John Wiley and Sons; 2009.

[7] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม2.:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย– ญี่ปุ่น) ; 2551.

การประเมินความเสี่ยงอัคคีภัยในโรงงานประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลสถิติ

Fire Risk Assessment of Factory in Thailand by Fire Statistics

ศุภพัชร พวงแก้ว นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร*
ศูนย์นวัตกรรมสำหรับวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์และการยศาสตร์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือเขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

Supapat Phuangkaew,Nantakrit Yodpijit*
Center for Innovation in Human Factors Engineering and Ergonomics (CIHFE^2)
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), Bangsue, Bangkok 10800
E-mail: nantakrit@gmail.com*, ntk@kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอัตราการเกิดอุบัติเหตุอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทยเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับอุบัติเหตุประเภทอื่น จากรายงานสรุปอุบัติเหตุในโรงงานอุตสาหกรรมพบว่า อุบัติเหตุอัคคีภัย คิดเป็น 61.72% จากอุบัติเหตุทั้งหมดที่ปี 2556 เมื่อพิจารณาที่ปี 2555 และ 2554 แสดงให้เห็นในแนวทางเดียวกันที่ 65.21% และ 64.72% ตามลำดับ จากสถิติล่าสุดแสดงให้เห็นว่า อุบัติเหตุอัคคีภัยมีค่าเฉลี่ยในการเกิดขึ้นที่ 4 ครั้ง และ 6 ครั้งต่อเดือน ที่ปี 2556 และ 2557 ตามลำดับ โดยสรุป อัตราการเกิดขึ้นของอัคคีภัย และความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากอัคคีภัยยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นความเข้าใจในอุบัติเหตุอัคคีภัยที่ดี และวิธีที่จะป้องกันอุบัติเหตุอัคคีภัย เป็นสิ่งหนึ่งที่จำเป็นต้องทำการศึกษา การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย เพื่อกำหนดแบบจำลองการประเมินความเสี่ยงอัคคีภัย พร้อมทั้งนำเสนอข้อแนะนำและข้อจำกัดของการศึกษา

คำหลัก อุบัติเหตุอัคคีภัย อุตสาหกรรมไทย การประเมินความเสี่ยง

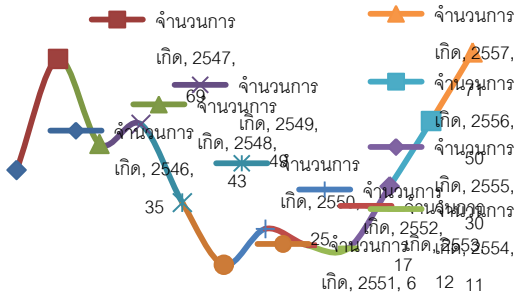
Abstract

Currently, rate of fire accidents is much higher than other accidents in Thailand's industries. A summary report shows that fire accidents account for 61.72% as compared to other accidents in 2013. Similarly, fire is found as a major cause of accidents of 65.21% and 64.72% in 2011 and 2012, respectively. Recent statistics reveal that fire accidents are found approximately 4 cases and 6 cases per month in 2013 and in 2014, respectively. In sum, rate and loss of fire incidents continue to grow. Therefore, a better understanding of fire accidents and how to prevent them is needed. The purpose of this study is to examine fire characteristics in Thailand's industries to formulate fire risk assessment model. Suggestions and limitations of this study are also discussed.

Keywords: Fire accidents, Thailand's industries, Risk assessment

1. บทนำ

ปัจจุบันปี 2558 อัตราการเกิดอัคคีภัยในโรงงานของประเทศไทยเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากทางกระทรวงอุตสาหกรรม[1]จึงได้รวบรวมสถิติการเกิดอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรร เมื่อพิจารณาพบว่าอัตราการเกิดอัคคีภัยจากปี 2556 ถึง 2558 เกิดอัคคีภัยขึ้น 71 ครั้ง ซึ่งเฉลี่ย 6 ครั้งต่อเดือน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าที่ 50 ครั้งต่อปี หรือ เฉลี่ยที่ 4 ครั้งต่อเดือน ในขณะที่ข้อมูลล่าสุดจากตุลาคม 2557 ถึงกุมพาพันธ์ 2558 เกิดเหตุเพลิงไหม้โรงงานอุตสาหกรรมขึ้น 43 ครั้ง ซึ่งสามารถเฉลี่ยได้ 9 ครั้งต่อเดือน ซึ่งมีอัตราที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่1 จำนวนการเกิดเหตุอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรรม 2546 ถึง ปัจจุบัน

จากรูปที่ 1 พบว่าจำนวนครั้งการเกิดอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรรมในอดีตมีแนวโน้มที่สูงที่ปี 2546 เป็นต้นมาจำนวนครั้งการเกิดมีจำนวนที่ลดลง แต่หลังจากปี 2554 พบว่าจำนวนครั้งในการเกิดอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรรมมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเพื่อที่จะลดความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดเหตุอัคคีภัยในโรงงาน จำเป็นที่จะต้องมีความเข้าใจใน สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุขึ้น

ในการทำการศึกษาทางด้านอัคคีภัย ได้มีการศึกษาแบบจำลองที่นำมาทำการคำนวณความเสี่ยงทางด้านอัคคีภัย FIRECAM [2] และFIERAsystem [3] เป็นระบบหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการคาดการณ์ความเสี่ยงต่อชีวิต และ ความเสียหายจากอัคคีภัยนอกจากนี้ Daniela และ Ben 2009 ได้นำ Bayesian network มาทำการประเมินความเสี่ยงต่อชีวิต [4] แต่ว่าแบบจำลองเหล่านั้นไม่ได้แสดงให้เห็นถึงปัจจัย อื่นๆ เช่น สถานที่ จำนวนของการเกิดอัคคีภัย เป็นต้น

ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีจุดประสงเพื่อทำการศึกษาข้อมูลสถิติ เพื่อทำความเข้าใจถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความเสี่ยงอัคคีภัย โดยศึกษาจากข้อมูลสถิติอุบัติเหตุในโรงงาน ประเทศไทย

2. สถิติอัคคีภัยในโรงงาน

นอกจากจำนวนครั้งในการเกิดอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรรมรมแล้ว มูลค่าความเสียหายในภาคอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นจากอุบัติเหตุอัคคีภัยมีมูลค่าเป็นจำนวนมากต่อปี เมื่อพิจารณาข้อมูลจากปี 2548 ถึงปี 2556 [5] พบว่า ที่ปี 2550 มีมูลค่าเสียหายที่เกิดจากเพลิงไหม้ที่ 1053.07ล้านบาท และมีมูลค่าความเสียหายจากเหตุอื่นๆ เช่น การระเบิด สารเคมีรั่วไหล และเหตุอื่นๆ รวมกันเท่ากับ45.75 ล้านบาท เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า ความเสียหายจากเพลิงไหม้เพียงอย่างเดียวมีผลกระทบทางด้านมูลค่าความเสียหายที่มากกว่าความเสียหายอื่นๆ รวมกันและ เมื่อพิจารณาที่ปีอื่นๆ พบว่าเป็นไปในแนวทางเดียวกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัญหาทางด้านอัคคีภัยสร้างความสูญเสียให้กับอุตสาหกรรมในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 1สัดส่วนการเกิดอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรรม

ปี	ร้อยละ	ปี	ร้อยละ
2556	61.72	2551	26.08
2555	65.21	2550	59.52
2554	64.70	2549	57.64
2553	52.17	2548	70
2552	70.83		

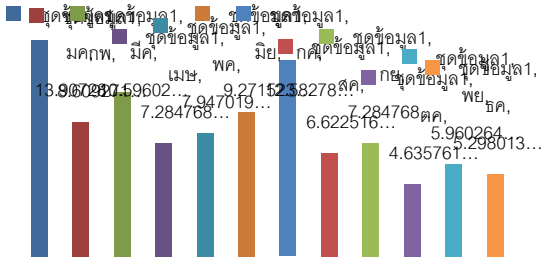
จำนวนครั้งในการเกิดอุบัติเหตุในโรงงานชนิดต่างๆ เมื่อทำการพิจารณาแล้วพบว่าอุบัติเหตุอัคคีภัยในโรงงานที่เกิดขึ้นก็มีจำนวนในการเกิดที่มากเมื่อทำการเทียบกับอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมาทั้งหมด โดยที่ปี 2556 มีสัดส่วนการเกิดเหตุอัคคีภัยเทียบกับการเกิดเหตุทั้งหมดคิดเป็น ร้อยละ 61.72 และข้อมูลปีอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

3. วิเคราะห์คุณลักษณะของการเกิดอัคคีภัย

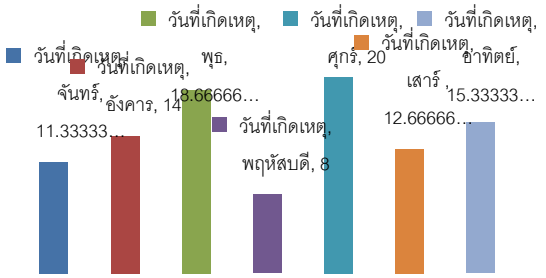
ข้อมูลสถิติจาก สรุปรายงานการตรวจสอบและสอบสวนอุบัติเหตุและอุบัติภัย ในโรงงานอุตสาหกรรม นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์แยกเป็น3ประเด็นในการวิเคราะห์ ประกอบด้วยเวลาที่เกิดเหตุ ภูมิภาคที่เกิดเหตุ และ ลักษณะอุตสาหกรรมที่เกิดเหตุ

3.1เวลาที่เกิดเหตุ

ทำการพิจารณาการกระจายตัวของการเกิดอัคคีภัยในโรงงานของประเทศไทย จากข้อมูลสถิติปี 2550 ถึง 2556 โดยทำการกระจายเป็นรายเดือน และรายวัน (จันทร์ อังคาร) ซึ่งการกระจายตัวของการเกิดเหตุอัคคีภัยแบ่งเป็นรายเดือนได้ถูกนำมาพิจารณาและแสดงในรูปที่ 3 และการกระจายตัวของการเกิดอัคคีภัยโดยการจำแนกตามวันที่ที่เกิดขึ้น แสดงในรูปที่ 4



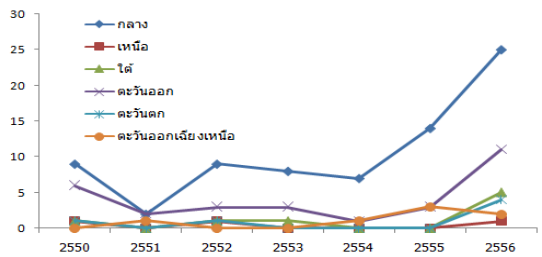
รูปที่3สัดส่วนการเกิดเกิดอัคคีภัยในโรงงานแบ่งตามเดือนที่เกิดเหตุ (ร้อยละ)



รูปที่4สัดส่วนการเกิดเกิดอัคคีภัยในโรงงานแบ่งตามวันที่เกิดเหตุ (ร้อยละ)

3.2 ภูมิภาคที่เกิดเหตุ

เมื่อทำการพิจารณาในรายละเอียดการเกิดอัคคีภัยในโรงงานอุตสาหกรรม โดยทำการแบ่งตามภูมิภาคที่เกิดเหตุอัคคีภัยขึ้นพบว่าภาคกลางมีจำนวนการเกิดอัคคีภัยที่สูงกว่าภูมิภาคอื่นมาตลอดตั้งแต่ ปี 2550 ถึงปี 2556 ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่5 จำนวนการครั้งการเกิดอัคคีภัยแบ่งตามภูมิภาค 2550ถึง 2556

หลังจากนั้นทำการพิจารณาในส่วนผลกระทบด้านความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละภูมิภาคตามตารางที่3พบว่า ความเสียหายจากอัคคีภัยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ภาคกลาง และภาคตะวันออก

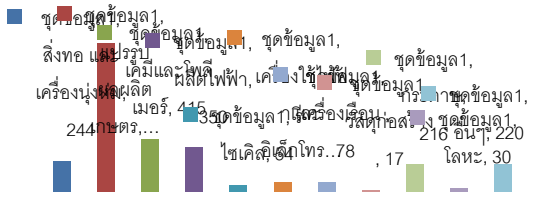
ตารางที่3สัดส่วนมูลค่าความเสียหายจากอัคคีภัยแบ่งตามภูมิภาคข้อมูลปี 2546 ถึง 2556

ภาค	สัดส่วน (ร้อยละ)	ภาค	สัดส่วน (ร้อยละ)
กลาง	53.34	ตะวันออก	28.83
เหนือ	0.38	ตะวันตก	2.81
ใต้	9.90	ตะวันออกเฉียงเหนือ	4.71

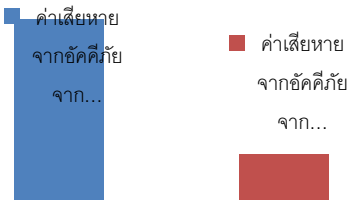
3.3ลักษณะของอุตสาหกรรมที่เกิดเหตุ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการแบ่งอุตสาหกรรมที่ทำการศึกษาออกเป็น 11 กลุ่มและนำสถิติตั้งแต่ปี2550 ถึง 2556 มาทำการพิจารณากิจการโรงงานที่ประสบเหตุอัคคีภัยมาทำการจำแนกตามประเภทกิจการโรงงาน ตามรูปที่6เมื่อพิจารณาจากรูปพบว่าอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลผลิตทางเกษตรมีค่าเสียหายจากอัคคีภัยที่รวมมากกว่าการประกอบกิจการโรงงานชนิดอื่น

ทำการพิจารณาในรายละเอียดของโรงงานที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร พบว่าค่าเสียหายส่วนมากมาจากกิจการที่เกี่ยวข้องกับยาง เช่น ผลิตยางพาราอัดแท่ง รองเท้ายาง เป็นต้นดังแสดงในรูปที่ 7 หลังจากนั้นทำประมาณความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อการเกิดเหตุ 1 ครั้ง โดยการแยกอุตสาหกรรมแปรรูปยางออกเป็นอีกปะเภทและทำการประมาณความเสียหายที่จะเกิดขึ้นจากการเกิดอัคคีภัย 1 ครั้ง ผลที่ได้เป็นไปดังตารางที่4



รูปที่6ค่าเสียหายจากอัคคีภัยแบ่งตามประเภทอุตสาหกรรมปี 2550-2556 (ล้านบาท)



รูปที่7ค่าเสียหายจากอัคคีภัยในอุตสาหกรรมยางและการเกษตรปี 2550-2556 (ล้านบาท)

ตารางที่4ประมาณมูลค่าความเสียหายจากอัคคีภัย 1 ครั้งแบ่งตามชนิดอุตสาหกรรมข้อมูลปี 2550 ถึง 2556

ประเภทอุตสาหกรรม	ค่าเสียหาย (ล้านบาท)	ประเภทอุตสาหกรรม	ค่าเสียหาย (ล้านบาท)
สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม	10.17	เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กโทรดนิกส์	40
ยาง	85.57	เครื่องเรือน	7.82
แปรรูปผลผลิตเกษตร	13.86	วัสดุก่อสร้าง	8.5
เคมีและโพลิเมอร์	15.37	กระดาษ	54
ผลิตไฟฟ้า	87.5	โลหะ	2.74
รีไซเคิล	5.95	อื่นๆ	7.10

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นถึงความเสียหายจากอุตสาหกรรมแต่ละประเภท เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าความเสียหายที่มีค่าต่อครั้งสูง คือ ผลิตไฟฟ้า และอุตสาหกรรมยาง ที่ 87.5 และ 85.57 ล้านบาท ตามลำดับ โดยที่อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้ามีจำนวนครั้งการเกิดที่ไม่มาก แต่ความเสียหายต่อครั้งเกิดขึ้นจำนวนมาก แต่ อุตสาหกรรมยางมีมูลค่าความเสียหายต่อครั้งใกล้เคียงกับ การผลิตไฟฟ้า แต่มีความถี่ในการเกิดขึ้นที่มากกว่า

4. ประเมินความเสี่ยงอัคคีภัยโดยใช้ข้อมูลสถิติ

4.1 การประเมินความเสี่ยงอัคคีภัย

ความเสี่ยงอัคคีภัย คือ ผลของความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุอัคคีภัยขึ้น และ ผลของเหตุการณ์ หรือ ความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดเมื่อเกิดเหตุขึ้น [6] การประเมินความเสี่ยงอัคคีภัยนั้น ได้กล่าวถึง การประเมินความเสี่ยงทั้ง คนที่ได้รับผลกระทบ และ ทรัพย์สินที่เสียหาย [7] ดังนั้นการทำการประเมินความเสี่ยงอัคคีภัยจึงกระทำเพื่อ หลีกเลี่ยงการบาดเจ็บ หรือสูญเสียชีวิต รวมถึงการลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นต่อทรัพย์สิน [8][9]

การประเมินความเสี่ยงอัคคีภัยจะดำเนินการทำการประเมินความเสี่ยงออกมาในรูปแบบเชิงปริมาณ โดยทำการกำหนดให้

R_v คือ ความเสี่ยงต่อทรัพย์สิน

R_h คือ ความเสี่ยงต่อคน

และทำการกำหนดให้

$$R_v = PxC_v \quad (1)$$

$$R_h = PxC_h \quad (2)$$

โดยที่ P คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุขึ้น C_v คือ มูลค่าความเสียหายที่เกิดจากอัคคีภัย และ C_h คือ จำนวนผู้ที่บาดเจ็บ และ เสียชีวิตจากอัคคีภัย

4.2 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุขึ้น

ในการประเมินความเสี่ยงสามารถใช้ข้อมูลความน่าจะเป็นได้ในหลายรูปแบบในการประเมิน เช่น การกำหนดช่วงและให้คะแนน [10] หรือ การโอกาสเกิดต่อพื้นที่ [11] โดยในการศึกษานี้ได้นำข้อมูลจำนวนครั้งการเกิดอัคคีภัยมาทำการพิจารณากับจำนวนครั้งการเกิดอุบัติเหตุในโรงงาน [5]ผลที่ได้แสดงในตารางที่5 และทำการกำหนดช่วงการประเมินไว้ที่ช่วงละ 1 ปี

ตารางที่5สถิติจำนวนการเกิดอัคคีภัย อุบัติเหตุในโรงงานทั้งหมดและความน่าจะเป็นในการเกิด

ปี	จำนวนการเกิดอัคคีภัย (ครั้ง)	จำนวนการเกิดอุบัติเหตุในโรงงาน (ครั้ง)	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุ ต่อปี
2550	25	42	0.595
2551	6	23	0.260
2552	17	24	0.708
2553	12	23	0.522
2554	11	17	0.647
2555	30	46	0.652
2556	50	81	0.617
เฉลี่ย	21.57	36.57	0.589

4.3 ผลที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดเหตุอัคคีภัย

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการกำหนดผลของเหตุอัคคีภัยที่จะนำมาทำการพิจารณาในการประเมินความเสี่ยงคือ มูลค่าความเสียหายที่เกิดจากอัคคีภัย(ล้านบาท) และ ผลกระทบต่อคนทั้งบาดเจ็บและ เสียชีวิต (คน) ซึ่งถูกแสดงไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่7สถิติจำนวนบาดเจ็บและเสียชีวิต และ ค่าเสียหาย

ปี	จำนวนบาดเจ็บ และ เสียชีวิต (คน)	ค่าเสียหาย (ล้านบาท)
2550	11	1053.07
2551	0	456
2552	30	166
2553	3	93.7
2554	35	53.3
2555	130	503.7
2556	9	647.1
เฉลี่ย	31.14	424.69

4.4ความเสี่ยงในโรงงานอุตสาหกรรม

ทำการนำค่าที่ได้จากตารางที่ 6 และตารางที่ 7 ไปคำนวณหาค่าความเสี่ยงต่อทรัพย์สิน (R_v) และค่าความเสี่ยงต่อคน (R_h) โดยใช้ สมการที่ (1) และสมการที่ (2) โดยผลที่ได้จะแสดงไว้ในตารางที่ 8

ตารางที่8ความเสี่ยงอัคคีภัยในโรงงานประเทศไทย

ปี	ความเสี่ยงต่อบุคคล (คน/ครั้ง ปี)	ความเสี่ยงต่อทรัพย์สิน (ล้านบาท/ครั้ง ปี)
2550	6.54	626.58
2551	0	118.56
2552	21.24	117.53
2553	1.56	48.91
2554	22.64	34.49
2555	84.76	328.41
2556	5.55	399.26
เฉลี่ย	20.32	239.10

ค่าที่ได้จากตารางที่ 8 แสดงให้เห็นถึงภาพรวมความเสี่ยงที่เกิดขึ้น เมื่อพิจารณาที่ความเสี่ยงต่อคน ที่ 20.32คนต่อครั้ง ปี ซึ่งค่านี้สามารถอธิบายได้ 2 ทิศทาง ประการแรก ชี้ให้เห็นถึงความเสี่ยงที่คนจะประสบเหตุ ได้รับบาดเจ็บ หรือ เสียชีวิต 21คนจากอัคคีภัย ในหนึ่งปี และในอีกความหมายหนึ่ง คือ ถ้าเกิดอุบัติเหตุเกิดขึ้น 10 ครั้งในหนึ่งปีคาดว่าจะมีผู้ที่ได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิตจากอุบัติเหตุอัคคีภัยที่204 คนในปีนั้นในส่วนของความเสี่ยงต่อทรัพย์สิน ที่239.1 ล้านบาทต่อครั้ง ปี สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับผลกระทบต่อคนคือ เมื่อมีการเกิดอุบัติเหตุในโรงงานเกิดขึ้น 10 ครั้ง ในหนึ่งปีจะประมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นจากอัคคีภัยได้ที่ 2,391 ล้านบาท

5. สรุป

การประเมินความเสี่ยงอัคคีภัยในโรงงานในการศึกษาครั้งนี้ทำการพิจารณาในส่วนของปัจจัย ที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดอัคคีภัย โดยการศึกษาจากข้อมูลสถิติการเกิดอัคคีภัยในโรงงาน ซึ่งในการศึกษาแสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาที่มีการเกิดอัคคีภัยบ่อยในช่วงต้นปีที่เดือน มกราคม และ ในครึ่งหลังของปีมีจำนวนการเกิดขึ้นที่น้อยลง และในวันที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากคือวันศุกร์ และวันที่เกิดน้อยที่สุดที่ วันพฤหัสบดี ยิ่งไปกว่านั้น จากข้อมูลสถิติแสดงให้เห็นถึงภูมิภาคที่เกิดเหตุขึ้นบ่อย คือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก ซึ่งมีที่โรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่มาก จึงทำให้ทราบว่าอัตราการเกิดอัคคีภัยจะในโรงงานจะแปรผันตามพื้นที่ความเจริญทางด้านอุตสาหกรรม และในส่วนของปัจจัยด้านประเภทของอุตสาหกรรมพบว่าอุตสาหกรรมที่แปรรูปผลผลิตทางการเกษตรมีมูลค่าการเกิดที่สูง และเมื่อทำการพิจารณาในรายละเอียดพบว่า อุตสาหกรรมที่ทำการแปรรูปยางมีมูลค่าความเสียหายที่สูงมาก และเมื่อนำเอาข้อมูลทั้งหมดมาทำการพิจารณา พบว่า อุตสาหกรรมที่ดำเนินการผลิตไฟฟ้า มีมูลค่าความเสียหายต่อการเกิดหนึ่งครั้งสูงสุดที่ 87.5 ล้านบาท และ ลำดับรองลงมาคือ แปรรูปยาง ที่ 85.57 ล้านบาทแสดงให้เห็นว่า โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้ามีจำนวนครั้งการเกิดที่น้อย แต่การเกิดต่อครั้งส่งผลความเสียหายที่มาก แต่ในแปรรูปยางมีจำนวนการเกิดขึ้นที่ถี่กว่า เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงภาพรวมของอุตสาหกรรมในประเทศไทย พบว่าความเสี่ยงที่อัคคีภัยจะส่งผลกระทบต่อ คน ในรูป มีการเพิ่มขึ้นและลดลงขึ้นอยู่กับเหตุที่เกิดในปีนั้นและใน

ผลกระทบที่ส่งผลต่อ ทรัพย์สินในรูปแบบมูลค่าความเสียหาย พบว่า ปี2550 มีค่าความเสี่ยงที่สูง และค่อยๆ ลดลง แต่หลังจาก ปี2554 กลับมีแนวโน้มที่กลับมาเพิ่มขึ้นอีกครั้ง

6. ข้อจำกัดของงานวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้อ้างอิงข้อมูลจากหน่วยงานราชการซึ่งในการเก็บข้อมูลพบว่า ข้อมูลที่ได้อาจไม่ใช่ข้อมูลที่สะท้อนสถานการณ์จริงที่เกิดขึ้นทั้งหมด จึงต้องมีการตรวจสอบ และ แก้ไขในความถูกต้องของข้อมูล และวิธีการที่นำมาประเมินความเสี่ยงโดยที่ในการศึกษาครั้งนี้อ้างอิงจากข้อมูลในอดีตเป็นหลัก ซึ่งในความเป็นจริงเหตุที่เกิดขึ้นอาจจะแตกต่างจากข้อมูลในอดีต ยิ่งไปกว่านั้น คือ ความไม่แน่นอนของปัจจัย เป็นอีกสิ่งที่ยังไม่ได้ถูกนำมาทำการพิจารณา

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ประเทศไทย

[2] Yuan D., Bennichou N.,How design fires can be used in fire hazard analysis. Fire Technoloogy 38(3) p.231-242, 2002.

[3] Benichou N., Kashef AH., Reid I., FIERAsystem: a fire risk assessment tool to evaluate fire safety in industrial building and large space. Journal Fire Protection Engineering 15 p.145-172, 2005.

[4] Daniela H., Bem A.,Rosk of human fatality in building fire: a decision tool using Bayesian network. Fire safety journal 44 p.704-710, 2009.

[5] สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, กรมโรงงานอุตสาหกรรม, สรุปรายงานการตรวจสอบและสอบสวนอุบัติเหตุและอุบัติภัยในโรงงานอุตสาหกรรมปี 2548 – 2556.

[6] Watts JM., Hall JR., Introduction to fire risk analysis. SFPE handbook for fire protecting engineering, 3rd edition p. 5-1 5-7, 2002.

[7] Yuang D., Principle of fire risk assessment in buildings, Chapter 7 and 8, Wiley, Chichester, 2008.

[8] Bukowski RW., Fire hazard assessment, NFPA fire protection handbook, 18th edition, Chapter 7 , NFPA., Boston, p.69-78, 1996.

[9] Wright D., Fire risk assessment. A viewpoint, Fire safety engineering 6(6) p.7-8, 1999.

[10] สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย, กรมโรงงานอุตสาหกรรม, แนวทางจัดทำรายงานการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการประกอบกิจการ

[11] Jing, X., Chon, F., Fire risk assessment of residential building base on fire statistics from china, Fire technology 50, p. 1147-1161, 2014.

การเพิ่มผลิตภาพการผลิตเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม

Productivity Improvement for Beverage Dispensing Machine

สุรสิทธิ์ มูลทองชุน นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร*
ศูนย์นวัตกรรมสำหรับวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์และการยศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

Surasit Moontongchun, Nantakrit Yodpijit*
Center for Innovation in Human Factors Engineering and Ergonomics (CIHFE^2)
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), Bangsue, Bangkok 10800
E-mail: nantakrit@gmail.com*, ntk@kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือการปรับปรุงกระบวนการผลิตและเพิ่มผลิตภาพ ในการทำเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม ด้วยการศึกษาการทำงาน การศึกษามุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงการผลิตฐานของเครื่องจ่ายเครื่องดื่มรุ่น N-2S ซึ่งมีความต้องการในการผลิตสูงที่สุด ก่อนการปรับปรุง ฐานของเครื่องจ่ายเครื่องดื่มรุ่น N-2S จำนวนทั้งสิ้น 175 ชิ้น ถูกผลิตด้วยทีมผลิต 10 คนต่อวัน ต้องการขั้นตอนการทำงานทั้งสิ้น 45 ขั้นตอน ในเวลา 25 นาที 37 วินาที และระยะทางเคลื่อนที่ 28 เมตร การปรับปรุงใช้หลักการ ECRS เพิ่มความสะดวกและเรียบง่าย ลดความซับซ้อนและกำจัดกระบวนการที่ไม่สำคัญออกจากกระบวนการผลิต หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตฐานของเครื่องจ่ายเครื่องดื่มรุ่น N-2S เหลือขั้นตอนการทำงานทั้งสิ้น 35 ขั้นตอน ในเวลา 22 นาที 2 วินาที (ลดลงร้อยละ 14 จากเวลาการผลิตเดิม) และระยะทางที่เคลื่อนที่เหลือ 14 เมตร (ลดลงร้อยละ 50 จากผังการไหลเดิม) การปรับปรุงทำให้ผลิตภาพโดยรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้นร้อยละ 16 สามารถผลิตฐานของเครื่องจ่ายเครื่องดื่มรุ่น N-2S เพิ่มขึ้นเป็น 204 ฐานต่อวัน

คำหลัก การศึกษางาน เครื่องจ่ายเครื่องดื่ม ฐาน เวลาในการผลิต ระยะทางไหล

Abstract

The objective of this study was to improve the manufacturing process and increase productivity in making the beverage dispensing machine, using work study methods. The study focused on improving the production of a base of the beverage dispensing machine model N-2S, which was in the highest demand for production. Before the improvement, a total of 175 bases of N-2S could be made with a production team of 10 workers per day. Forty-five steps with 25 minutes and 37 seconds and a traveling distance of 28 meters were required for making a base of N-2S. To reduce the complex process, eliminate unimportant process from main process and improve to be an easy process by ECRS principle. As compared to the results after the improvement, 35 steps with 22 minutes and 2 seconds (14% reduction in production time) and a traveling distance of 14 meters (50% reduction in flow distance) were found in making a base of N-2S. This improvement contributed 16% to overall productivity increase; making 204 bases of N-2S per day.

Keywords: Work study, beverage dispensing machine, base, production time, flow distance

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมการผลิตถือว่ามีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศและมีการแข่งขันที่สูงขึ้นทั้งในเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ เพื่อให้ได้สินค้าตามที่ลูกค้าต้องการให้มากที่สุด โรงงานผลิตหรือสถานประกอบการต่างๆ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มผลิตภาพในการผลิต เพื่อให้ได้สินค้าในเวลาที่รวดเร็ว และสามารถแข่งขันได้ในตลาดปัจจุบัน ทั้งภายในและภายนอกประเทศ

ผู้วิจัยได้มีการศึกษาโรงงานตัวอย่าง โดยโรงงานตัวอย่างนี้ได้ดำเนินการผลิตเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม (Beverage Dispensing Machine) เพื่อการส่งออกทั้งในประเทศและนอกประเทศ พบว่ามีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนไม่ต่อเนื่อง ทำให้การผลิตไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงก่อให้เกิดการเสียโอกาสในการขายสินค้า เพราะไม่สามารถส่งสินค้าได้ทันตามกำหนดเวลา โรงงานตัวอย่างจึงให้พนักงานทำงานล่วงเวลา เพื่อเพิ่มกำลังการผลิต ดังนั้นจึงทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นตามจำนวนเวลาที่ทำงานล่วงเวลา

2. การทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติภักดี (2548) [1] ได้ศึกษามาตรฐานการทำงานและการปรับปรุงการผลิตเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตตู้ควบคุมไฟฟ้าแรงสูง 115 kV โดยการใช้ทฤษฎีการศึกษาเวลา (Time Study) เพื่อใช้ในการปรับปรุงเวลามาตรฐานในแต่ละกิจกรรม เพื่อการปรับปรุงเวลามาตรฐานรวมในการผลิตตู้ควบคุมสายส่ง และจากการทำวิจัยนี้ ทำให้ได้เวลามาตรฐานออกมา 109 ชั่วโมง ซึ่งจะมากกว่าเวลาประมาณการที่มีอยู่ก่อน 16.51% และเวลาที่ได้นี้น้อยกว่าเวลาการทำงานจริงเฉลี่ย 3-4 ชั่วโมง

ชัยณรงค์ (2549) [2] ได้ศึกษากระบวนการผลิตเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตควอตซ์ ได้ประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมวิธีการ หรือการศึกษางาน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตผลึกควอตซ์ ซึ่งสามารถลดเวลาการผลิตลงได้เฉลี่ย 6.2 วันต่อล็อตการผลิต คิดเป็นการเพิ่มอัตราผลิตภาพร้อยละ 22.3 เปอร์เซ็นต์

ชัยพร (2546) [3] การหาเวลามาตรฐานการทำงานจริงด้วยกระบวนการวัดเวลา (Time Measurement) เป็นวิธีมาตรฐานสากลที่ใช้สำหรับการศึกษาเวลาจากการทำงานจริง ให้ความสะดวก และยุติธรรมในการตัดสินและลงความเห็นชี้ชัดเป็นมาตรฐานโดยทั่วๆ ไปได้ เทคนิควิธีนี้จะขึ้นอยู่กับพื้นฐานของความเป็นจริงในการทำงานซึ่งต้องพิจารณาข้อมูลรายละเอียดในการทำงาน และสภาวะการทำงานนั้นๆ

เมธัส (2549) [4] ได้ศึกษาในด้านการพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการผลิต กรณี โรงงานตู้ทำน้ำเย็น โดยได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการศึกษางาน (Work Study) การปรับปรุงประสิทธิภาพ และการจัดสมดุลสายการผลิต เพื่อพัฒนาวิธีการทำงานให้เป็นมาตรฐานและเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการทำงาน สามารถลดขั้นตอนในการทำงานจากเดิม 63 ขั้นตอน เป็น 57 ขั้นตอน หรือลดลงไป 6 ขั้นตอน โดยเวลามาตรฐานในการผลิต (Standard time) ที่ลดลงจากเดิม 49.14 นาที ต่อ 1 ตู้ เป็น 43.85 นาที ต่อ 1 ตู้ หรือลดเวลาลงไป 5.29 นาทีต่อ 1 ตู้

พิทธพนธ์ (2551) [5] ได้ศึกษากระบวนการผลิตเพื่อการเพิ่มผลผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมล้างขวดนม โดยได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการศึกษางาน (Work Study) และการวิเคราะห์ SWOT เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีอัตราผลิตรูปที่มากขึ้น โดยเน้นไปที่การปรับปรุงเครื่องจักรและออกแบบการผลิตใหม่ ได้ผลดังนี้ อัตราผลิตภาพรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.0 อัตราผลิตภาพแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 58.5 อัตราผลิตภาพวัตถุดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.38 อัตราผลิตภาพแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.50

ธัญวรรณ (2553) [6] ได้ประยุกต์การศึกษาการทำงานและ กิจกรรมกลุ่มคุณภาพเพื่อการเพิ่มผลผลิตกระบวนการผลิตและลดของเสียชุดสายไฟรถยนต์ โดยได้ทำการศึกษาหาสาเหตุและปัจจัยของปัญหา และหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาโดยการประชุมร่วมกัน จนได้มีการออกแบบอุปกรณ์ฟิกเจอร์ใหม่ และทำการศึกษาเวลา เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิผลก่อนและหลังปรับปรุง และได้ผลดังนี้ความบกพร่องของเสียลดลงจากเดิมอีก 50.94 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตชุดสายไฟรุ่น F10 จากเดิม 3 ชุด เป็น 6 ชุดต่อวัน

ประเคน (2554) [7] ได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพ 7 ประการ (7 QC Tools) เพื่อการค้นหา การวิเคราะห์สภาพปัญหา และใช้หลักการศึกษาเวลาและการ

เคลื่อนไหว เพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการลำเลียงและจัดเก็บผลไม้กระป๋อง โดยมีการใช้อุปกรณ์ระบบลมทดแทนการทำงานของพนักงานในแผนกปิดฝากระป๋อง พบว่า มีต้นทุนแรงงานทั้งหมดลดลง 50.16 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะเวลาการผลิตต่อกิโลกรัมลดลงสูงสุด 13.33 เปอร์เซ็นต์ และมีผลผลิตเพื่อขึ้น 15.39 เปอร์เซ็นต์

รัชต์วรรณ (2552) [8] ได้กล่าวถึง การศึกษางาน (Work Study) หรือที่รู้จักกันในชื่อเดิมว่า การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา (Motion and Time Study) แต่ไม่ว่าจะถูกเรียกด้วยชื่ออะไร ต่างก็มีความหมายอย่างเดียวกัน คือหมายถึง เทคนิคในการวิเคราะห์ขั้นตอนของการปฏิบัติงานเพื่อขจัดงานที่ไม่จำเป็นออก และสรรหาวิธีการทำงานซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดในการปฏิบัติงานนั้นๆ รวมทั้งการกำหนดเวลามาตรฐานของงานและการบริหารแผนการจ่ายเงินจูงใจระบบต่างๆ

สมชาย (2555) [9] ได้ศึกษากระบวนการผลิตเพื่อกำหนดเวลามาตรฐานการผลิตเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม โดยได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการศึกษางาน (Work Study) การศึกษาเวลางาน (Time Study) และการวัดงาน (Work Measurement) ใช้ในการวิเคราะห์และและกำหนดเวลามาตรฐานในการผลิต เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีอัตราผลิตรูปที่มากขึ้น ได้ผลดังนี้ ลดเวลาในกระบวนการผลิตลง 12 เปอร์เซ็นต์ และลดระยะทางการขนส่งเคลื่อนย้ายลง 87 เปอร์เซ็นต์ อัตราผลิตภาพรวมเพิ่มขึ้น 12 เปอร์เซ็นต์

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตในปัจจุบัน

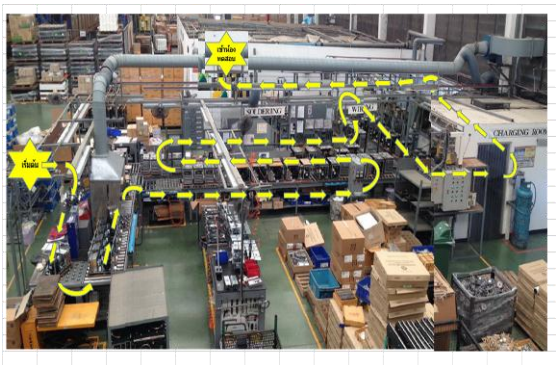
ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือก กระบวนการผลิตชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม มาวิจัยเท่านั้น เนื่องจากพบว่ากระบวนการดังกล่าวมีความซับซ้อน และมีการรอคอยที่สูญเปล่าในกระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 1

ในส่วนของกระบวนการอื่นๆ นอกเหนือจากกระบวนการผลิตชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม ผู้วิจัยไม่ได้ทำการศึกษาเนื่องจาก การทำการศึกษามีเรื่องระยะเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องจึงไม่สามารถทำการศึกษาได้ในครั้งนี้

3.1.1 ทำการศึกษาวิธีการทำงาน

ทำการศึกษาวิธีการทำงานก่อนการปรับปรุงแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอนด้วยกัน คือ การเลือก การบันทึก การวิเคราะห์ การพัฒนา การกำหนดมาตรฐาน การนำไปใช้ และการดำรงรักษา

3.1.2 แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Charts) ของกระบวนการผลิต



รูปที่ 1 ภาพกระบวนการผลิต ก่อนการปรับปรุง

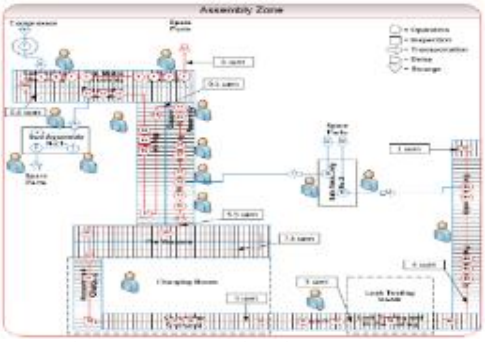
นำข้อมูลที่ศึกษาวิธีการทำงานมาทำการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้การเก็บข้อมูลแบบแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต เพื่อให้เห็นกระบวนการต่างๆ ในการผลิตชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่มก่อนการปรับปรุง ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ที่การวิเคราะห์ตามหลักการ ECRS เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิต

จากการนำข้อมูลวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต ก่อนการปรับปรุง จะได้

1. มีการปฏิบัติงาน 29 ขั้นตอน ใช้เวลา 1,294.15 วินาที
2. มีการตรวจสอบ 4 ขั้นตอน ใช้เวลา 66.11 วินาที
3. มีการขนส่ง 9 ขั้นตอน ใช้ระยะทาง 28 เมตร
4. มีการรอ 3 ขั้นตอน ใช้เวลา 176.57 วินาที

3.1.3 แผนภูมิการเคลื่อนที่ของกระบวนการผลิต (Flow Diagram)

เมื่อนำแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต และข้อมูลที่ได้ มาทำการสร้างเป็นแผนภูมิการเคลื่อนที่ของกระบวนการผลิต เพื่อให้ทราบถึงระยะทางระหว่างขั้นตอนก่อนการปรับปรุงมีระยะทางรวม 28 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิการเคลื่อนที่ ก่อนการปรับปรุง

3.1.4 การวัดงาน และทดสอบการกระจายตัวข้อมูล

การกำหนดรอบการวัดงาน ผู้วิจัยได้กำหนดจำนวนรอบของการจับเวลาที่ 15 รอบ แต่ทั้งนี้ยังต้องมีการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลที่ระดับ α = 0.05 โดยใช้โปรแกรม Minitab 16 จากการทดสอบ พบว่าข้อมูลที่ทำการทดสอบการกระจายตัวแบบปกติ โดยเทียบกับค่าของ P-Value, Anderson Darling ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.493 ซึ่งมากกว่าค่า α = 0.05 ดังนั้น สมมุติฐานนี้ ยอมรับ หมายความว่า ข้อมูลที่ทำการทดสอบนี้มีการกระจายตัวเป็นปกติ

3.1.2 การประเมินอัตราความเร็ว

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยใช้วิธีการประเมินอัตราความเร็ว “Westinghouse System of Rating”

3.2 การปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มผลิตภาพหรืออัตราผลผลิต

จากการวิเคราะห์ข้อมูลกระบวนการผลิต โดยแผนภูมิการไหล (Flow Process Chat) ข้อ 3.1.2 และแผนภูมมิการเคลื่อนที่ของกระบวนการผลิต (Flow Diagram) ข้อ 3.1.3 ก่อนการปรับปรุง เพื่อเพิ่มผลิตภาพการผลิตในกระบวนการผลิต โดยอาศัยหลัก ECRS จะสามารถปรับปรุงได้ 12 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 3

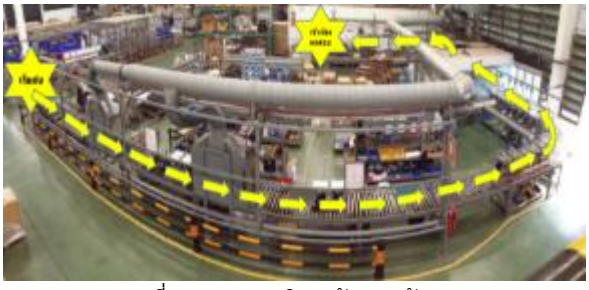
จำนวน	ขั้นตอนที่	สัญลักษณ์ของผังงาน	รายละเอียดของขั้นตอนกระบวนการผลิต	ECRS
1	5	●	ประกอบขาของชุดมอเตอร์พัดลม	E
2	7	●	บันทึกหมายเลขของมอเตอร์พัดลม	C
3	9	●	บันทึกหมายเลขของเครื่องอัดอากาศ	C
4	10	⇨	นำชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่มส่งขั้นตอนต่อไป	E
5	12	●	ประกอบท่อเติมน้ำยาทำความเย็นเข้ากับเครื่องอัดอากาศ	C
6	13	●	เชื่อมท่อเติมน้ำยาทำความเย็นเข้ากับเครื่องอัดอากาศ	C
7	15	■	ตรวจสอบค่าแรงดึงแม่เหล็ก และบันทึก	E
8	17	D	รอการประกอบขั้นตอนต่อไป	E
9	18	⇨	นำชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่มส่งขั้นตอนต่อไป	E
10	30	⇨	นำเครื่องไปทำการดูดความชื้น และ ทำการเติมน้ำยา	E
11	37	⇨	นำชุดฐานเครื่องไปทำการตรวจสอบการรั่ว และทางไฟฟ้า	E
12	38	■	ทำการตรวจสอบการรั่ว และทางไฟฟ้า	R

รูปที่ 3 กระบวนการผลิตที่สามารถปรับปรุงได้

4. ผลของการวิจัย

4.1 การปรับปรุงสายการผลิตชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม

การปรับปรุงสายการผลิตตามแผนภูมิการเคลื่อนที่ของกระบวนการผลิต หลังการปรับปรุง เพื่อเพิ่มผลิตภาพการผลิตของสายการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 สายการผลิต หลังการปรับปรุง

4.2 ผลการดำเนินงานการหาเวลามาตรฐานหลังการปรับปรุง

การดำเนินการวัดข้อมูลเวลามาตรฐานการผลิตเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม รุ่น N-2S ตามวิธีการดำเนินการวิจัยในบทที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้ทำการวัดและบันทึกผลเวลาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม ลงในใบบันทึกผล Time Study Observation Sheet ข้อมูลการวัดเวลามาตรฐานของขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ 2 นี้ มีการกระจายตัวปกติ ด้วยค่า P-Value เท่ากับ 0.49 ซึ่งมากกว่า α = 0.05 และความเพียงพอของข้อมูลและความเชื่อมั่น เท่ากับ 1.38 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ +/- 5% ตามที่ตั้งไว้ ทำให้การเก็บข้อมูลของขั้นตอนการปฏิบัติงานนี้ใช้ได้ โดยมีเวลาตัวแทนที่ 40.44 วินาที และเมื่อนำข้อมูลมาทำการประเมินความเร็วและการกำหนดค่าเผื่อตามวิธีการที่ได้กำหนดไว้ พบว่าได้อัตราความเร็วที่เท่ากับ 0.97 และได้ค่าเผื่อเป็น 3.88 วินาที จากนั้นก็จะสามารถหาเวลาปกติ (Normal Time) ได้จาก

เวลาปกติ = เวลาตัวแทน x ค่าปรับอัตราความเร็ว

เมื่อแทนค่า จะได้

เวลาปกติ = 40.44 x 0.97

= 39.23 วินาที

เวลามาตรฐานจะคำนวณจากเวลาปกติรวมกับค่าของเวลาเผื่อ

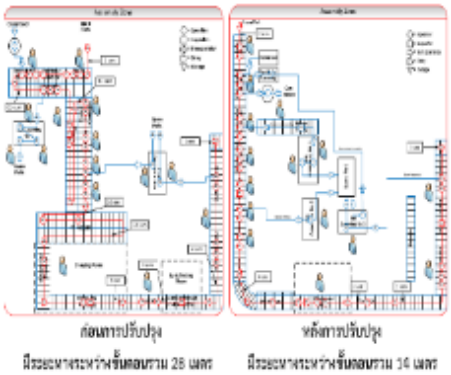
เวลามาตรฐาน = เวลาปกติ + ค่าเผื่อต่างๆ

เมื่อแทนค่า จะได้

เวลามาตรฐาน = 39.23 + 3.88

= 43.11 วินาที

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมผลการศึกษาเวลามาตรฐานการผลิตเครื่องจ่ายเครื่องดื่มของทุกขั้นตอนการปฏิบัติงาน และสามารถสรุปภาพรวมของการศึกษาเวลามาตรฐานการผลิตได้ว่า เวลามาตรฐานที่ใช้ในการประกอบชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่มทั้งหมดเท่ากับ 1,322.22 วินาที และมีระยะทางการขนส่งที่เกิดขึ้นทั้งหมดเท่ากับ 14 เมตร และเปรียบเทียบระยะทางก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปรียบเทียบระยะทางระหว่างกระบวนก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง

หลังการปรับปรุงเวลามาตรฐานของกระบวนการผลิตชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม รุ่น N-2S ก่อนการปรับปรุงมีขั้นตอนทั้งหมด 45 ขั้นตอน ใช้เวลาทั้งหมด 1,536.83 วินาทีต่อชุดต่อคน คิดเป็น 25.61 นาทีต่อชุดต่อคน หลังการปรับปรุงมีขั้นตอนทั้งหมด 35 ขั้นตอน ใช้เวลาทั้งหมด 1,322.20 วินาทีต่อชุดต่อคน คิดเป็น 22.04 นาทีต่อชุดต่อคน เมื่อนำข้อมูลเวลาของทั้งสองมาหาจำนวนชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่มที่สามารถผลิตได้ใน 1 วันทำงานที่เวลา 450 นาทีการทำงานต่อวัน และจำนวนพนักงานฝ่านผลิตเท่ากับ 10 คนได้ดังนี้

กำลังการผลิตต่อวันก่อนการปรับปรุง

= จำนวนพนักงาน x เวลาทำงาน / เวลามาตรฐาน

= 10 x (450 x 60) / 1,536.83

= 175.69 ชุดต่อวัน

กำลังการผลิตต่อวันหลังการปรับปรุง

= จำนวนพนักงาน x เวลาทำงาน / เวลามาตรฐาน

= 10 x (450 x 60) / 1,322.20

= 204.21 ชุดต่อวัน

จากการรวบรวมข้อมูลก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง นำมาคำนวณหาค่าเวลามาตรฐานการผลิต จึงได้ทราบค่าเวลามาตรฐานการผลิตที่ลดลงหลังการปรับปรุง จากเดิมเวลามาตรฐานใช้เวลาในการผลิตเท่ากับ 25.61 นาทีต่อชุดต่อคน พนักงานมี 10 คน สามารถผลิตได้ 175.69 ชุดต่อวัน ลดลงเป็น 22.03 นาทีต่อชุดต่อคน พนักงาน 10 คน สามารถผลิตได้ 204.21 ชุดต่อวัน หากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะสามรถลดเวลาลงได้ 13.97%

5. สรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการศึกษากระบวนการผลิตชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม รุ่น N-2S เพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต ก่อนการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานสำหรับการผลิตชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม รุ่น N-2S ทั้งหมดมี 45 ขั้นตอน ใช้เวลาผลิตต่อชุดประมาณ 1,537 วินาที และมีระยะทางการขนส่งระหว่างขั้นตอนอยู่ที่ 28 เมตร โดยสายการผลิตหลักปัจจุบันมีพนักงานจำนวน 10 คน ทำการผลิตชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม รุ่น N-2S อยู่ที่ 175.69 ชุดต่อวัน ในการปรับปรุงครั้งนี้ ผู้จัดการโรงงานได้ทำการปรับปรุงสายการผลิตใหม่ และวิธีการทำงานให้ง่ายขึ้น จึงทำให้ขั้นตอนการผลิตชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม รุ่น N-2S จะลดลงเหลือ 35 ขั้นตอน หรือสามารถลดขั้นตอนการทำงานหลักลงได้ 22% ใช้เวลาทำงานลดลงเหลือ 1,322.20 วินาที หรือลดลงได้ประมาณ 14% และระยะทางการขนส่งระหว่างขั้นตอนเหลือ 14 เมตร หรือสามารถลดระยะทางได้ถึง 50% ส่งผลให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 204.21 ชุดต่อวัน หรือสามารถผลิตเพิ่มขึ้น 16%

5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัย

5.2.1 ควรมีมาตรฐานในการทำงานเพื่อให้พนักงานทุกคนปฏิบัติตามขั้นตอนการผลิตที่ถูกต้อง และเป็นการรักษามาตรฐานของวิธีการทำงาน และมาตรฐานเวลาที่

กำหนด

5.2.2 ควรศึกษากระบวนการผลิตต่อจากกระบวนการผลิตชุดฐานเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม รุ่น N-2S เนื่องจากหลังการปรับปรุงการผลิตชุดฐานแล้ว อาจจะทำให้เกิดปัญหาคอขวดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตถัดไป

5.2.3 ควรปรับปรุงระบบสายพานลำเลียงงาน ให้เป็นระบบสายพานไฟฟ้า เนื่องจากปัจจุบันระบบการลำเลียงงานระหว่างกระบวนการยังใช้แรงงานคน ทำให้สูญเสียเวลาในการขนย้ายงาน ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าวิธีการนี้อาจจะเป็นแผนการปรับปรุงระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติภักดี มีเสน, การพัฒนามาตรฐานการผลิตตู้ควบคุมสายส่งระบบควบคุมไฟฟ้าแรงสูง 115kV กรณีศึกษาการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548

[2] ชันณรงค์ ตุ่นสังข์, การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตผลึกควอตซ์ด้วยเทคนิควิศวกรรมวิธีการ, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549

[3] ชัยพร วงศ์พิศาล, เอกสารประกอบการสอบวิชา 144410 การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา, 2546.

[4] ธัญวรรณ ชาญพานิชย์, การศึกษาการทำงานและกิจกรรมกลุ่มคุณภาพเพื่อการเพิ่มผลผลิตกระบวนการผลิตและลดของเสียชุดสายไฟรถยนต์, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553

[5] ประเคน คีรีวรรณ, การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการลำเลียงและจัดเก็บผลไม้กระป๋องโดยใช้เทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม อุตสหการ บัณฑิตวิทยาลัยหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554

[6] พิทธพนธ์ พิทักษ์, การศึกษากระบวนการผลิตเพื่อการเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษา อุตสาหกรรมล้างขวด, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552

[7] เมธัส หีบเงิน, การพัฒนาประสิทธิภาพในการผลิตโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตกรณีศึกษา โรงงานทำตู้น้ำเย็น, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549

[8] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญคม, การศึกษางานอุตสาหกรรม, Top Publishing, 2552

[9] สมชาย โอวาท, การกำหนดเวลามาตรฐานการผลิตเครื่องจ่ายเครื่องดื่ม, สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2555

การออกแบบอุปกรณ์จับยึดในกระบวนการกำหนดหมายเลขผลิตภัณฑ์แกนวาล์วปีกผีเสื้อด้วยเครื่องนิโอดิเมียมแย็กเลเซอร์

JIG AND FIXTTURE DESING IN MARKING CODE IMPROVEMENT METHOD MARKING CODE BUTTERFLY VALVE PROCESS WITHYAG RAISER

นรา บุริพันธ์[1]* เกียรติศักดิ์ พระเนตร[2] ธนัญญา พุ่มมะเดื่อ[3]
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี เขตหนองแขม จ.กรุงเทพมหานคร 10160*[1, 3]
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อ.เมือง จ.อุบลราชธานี 34000[2]
E-mail: nara7569@gmail.com*

Nara Buriphan*[1] Keattisak Praneat[2] Thanaya Phummadua[3]
Faculty of Engineering, Thonburi University, Nong KhaemBangkok 10160*[1, 3]
Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Muang, Ubonratchathani 34000[2]
E-mail: nara7569@gmail.com*

บทคัดย่อ

กระบวนการระบุสัญลักษณ์บาร์โค้ดผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนแกนวาล์วปีกผีเสื้อรุ่น Z011-A DN100 ของบริษัทตัวอย่าง ปัจจุบันมีความต้องการของลูกค้าที่ 60,000 ชิ้นต่อเดือน แต่กำลังการผลิตสามารถผลิตได้สูงสุดเพียง 20,000 ชิ้นต่อเดือน บริษัทตัวอย่างจึงมีความจำเป็นต้องเปิดทำงานล่วงเวลาเพิ่มอีกวันละ 4 ชั่วโมง งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับสายการผลิตตัวอย่างโดยจะพยายามลดรอบเวลาการผลิตให้มีค่าเกินจังหวะความต้องการของลูกค้าซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้บริษัทตัวอย่างต้องเพิ่มขยายเวลาการปฏิบัติงาน เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานครั้งนี้ประกอบด้วย หลักการลดความสูญเปล่า 7 ประการ เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ซึ่งใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา และกำหนดแนวทางการแก้ไขจากนั้นจึงปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานเพื่อลดรอบเวลาให้มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับแต่ไม่เกินจังหวะความต้องการของลูกค้า ด้วยเทคนิคการออกแบบอุปกรณ์จับยึดผลการดำเนินงานพบว่าสามารถควบคุมรอบเวลาการผลิตไม่ให้เกินจังหวะความต้องการของลูกค้าที่ 11.44 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็น 68.68% ลดชั่วโมงการปฏิบัติงานได้ 4 ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็น 33.33% ลดจำนวนพนักงานได้ 1 คน คิดเป็น 50% ผลิตภาพการผลิตเพิ่มสูงขึ้น 97.68%

คำหลัก การระบุสัญลักษณ์บาร์โค้ด ชิ้นส่วนแกนวาล์วปีกผีเสื้อจังหวะความต้องการของลูกค้า

Abstract

The process barcode symbolizes(Marking CODE).Valve core parts (Shaft).Butterfly (Butterfly Valve) Model Z011-A DN100 the sample.Current needs of customers, 60,000 pieces per month.But the capacity to produce up to 20,000 pieces per month.For companies, it is necessary to open up an additional four hours of overtime.This Research aims to increase production to the production line.By trying to reduce the cycle time for stroke outweigh the needs of the client, which is the main reason for the company to extend the time of performance.Tools used in the operation of this feature. The seven wastes, reduce seven quality control tools used for data collection.In order to analyze the problem. And define solutions.Then, to improve performance,

reduce cycle time, make the value equal to or less than the timing requirements of the clients. Design techniques jig.Results showed that the cycle time can not be beat for customer needs.To 11.44 seconds per piece, representing 68.68% reduction in hours of work for 4 hours per day, representing a 33.33% reduction in the number of employees not one person representing a 50% productivity increase of 97.68%.

Keywords: Marking CODE, Shaft Butterfly Valve, Takt Time

1. บทนำ

บริษัท ตัวอย่าง เป็นผู้ประกอบการในอุตสาหกรมการผลิตวาล์วอุปกรณ์ และชิ้นส่วนประกอบวาล์ว เพื่อส่งออกและจำหน่ายภายในประเทศ โดยเฉพาะวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) รุ่น Z011-A DN100 ซึ่งใช้กันมากในอุตสาหกรรมเคมีระบบน้ำทิ้ง และระบบส่งน้ำ โดยวาล์วปีกผีเสื้อจะทำหน้าที่กำหนดอัตราการไหลของๆ เหลวที่จะถูกปล่อยออกมาจากท่อ ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วน ดังนี้ 1) ตัววาล์ว (Body) 2) ปีกวาล์ว (Disc) 3)แกนวาล์ว (Shaft) ดังแสดงได้ในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ส่วนประกอบแกนวาล์วปีกผีเสื้อ

จากการศึกษาข้อมูลของฝ่ายการตลาดในปัจจุบันผลิตภัณฑ์วาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) รุ่น Z011-A DN100 มีใบสั่งซื้อ (Order) จากลูกค้าเดือนละ 60,000 ชุด แต่กำลังการผลิตของบริษัทสามารถผลิตได้เพียงเดือนละ 20,000 ชุด เนื่องจากก่อนส่งให้สายการประกอบต้องมีการนำชิ้นส่วนแกนวาล์ว (Shaft) ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 ชิ้นส่วนแกนวาล์ว (Shaft) ปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) รุ่น Z011-A DN100

ไประบุสัญลักษณ์บาร์โค้ดผลิตภัณฑ์ (Marking Code) ดังแสดงในรูปที่ 3เพื่อทำการทวนสอบข้อมูลย้อนกลับในลักษณะที่ผลิตภัณฑ์ส่งถึงมือลูกค้าแล้วเกิดมีปัญหา

รูปที่ 3 ลักษณะตัวเลขบนตัวผลิตภัณฑ์

โดยปัจจุบันขั้นตอนการระบุสัญลักษณ์บาร์โค้ดเป็นขั้นตอนสำคัญที่ทำให้การผลิตเกิดความล้าช้าเนื่องเสียเวลาในการ Setting Part ชิ้นงานเพื่อให้อยู่ในตำแหน่งที่จะทำการ Marketing ได้ครั้งละ 1 ชิ้นโดยใช้ในการตั้งแกนวาล์วเข้ากับ V-Bork แม่เหล็กแต่ละชิ้นใช้เวลา 12.36 วินาที จากนั้นเครื่องนิโอดิเมียมแย็กเลเซอร์ (Yag Raiser) จะทำการระบุสัญลักษณ์บาร์โค้ดผลิตภัณฑ์ใช้เวลา 26 วินาที แล้วจึงนำชิ้นงานออกจาก V-Bork วางใส่ตะกร้าให้พนักงานอีกคนทำการตรวจสอบจากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วยการใช้

เทคนิคการออกแบบอุปกรณ์จับยึด (Jig and Fixture Design) เพื่อลดเวลาในกระบวนการ Setting Part ให้เหลือน้อยที่สุด รวมทั้งลดเวลาสูญเปล่าที่เกิดจากการทำงานของพนักงาน เพิ่มผลผลิตให้กับองค์กร สร้างความไว้วางใจ และพึงพอใจให้กับลูกค้า ที่สำคัญสามารถส่งมอบสินค้าได้ทันตามกำหนดโดยไม่ต้องเปิดการทำงานล่วงเวลา (Over Time)

1.1วัตถุประสงค์

ปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานเพื่อเพิ่มผลผลิต (Productivity) ในกระบวนการระบุสัญลักษณ์บาร์โค้ดผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนแกนวาล์ว (Shaft) ปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) รุ่น Z011-A DN100 ให้ได้ตามความต้องการของลูกค้าที่ 60,000ชิ้นต่อเดือน

1.2 เป้าหมายตัวชี้วัด

หลังจากปรับปรุงวิธีการระบุสัญลักษณ์เลขบาร์โค้ดผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนแกนวาล์วปีกผีเสื้อรุ่น Z011-A DN100 แล้วสามารถเพิ่มผลผลิตได้ตามความต้องการของลูกค้าที่ 60,000 ชุดต่อเดือน ภายในเวลาทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา และปรับปรุงวิธีการทำงานด้วยเทคนิคการออกแบบอุปกรณ์จับยึด (Jig and fixture) เพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการระบุสัญลักษณ์บาร์โค้ดผลิตภัณฑ์โดยเลือกศึกษาเฉพาะชิ้นส่วนแกนวาล์ว (Shaft) ปีกผีเสื้อรุ่น Z011A-DN100 ของบริษัทตัวอย่างเท่านั้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการปรับปรุงวิธีการทำงานด้วยหลักการศึกษางาน (Work Study)[1]เพื่อเพิ่มผลิตภาพการผลิต (Productivity) [2]หลักการลดความสูญเปล่า 7 ประการ (7WASTES)ซึ่งประกอบด้วย ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตมากเกินไปความสูญเสียเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง ความสูญเสียเนื่องจากการขนส่งความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว[3,4]ความสูญเสียเนื่องจากกระบวนการผลิตความสูญเสียเนื่องจากการรอคอยความสูญเสียเนื่องจากการผลิตของเสีย [5]โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด (7Qc tools) ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกนำมาใช้เท่าที่จำเป็น 2 ชนิด คือ แผ่นตรวจสอบ (Check sheet) ในการเก็บข้อมูล และผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram)[6]ช่วยวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา จากนั้นจึงทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการจัดทำเวลามาตรฐาน [7] และหลักการออกแบบอุปกรณ์จับยึด (Jig Design) [8,9]

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

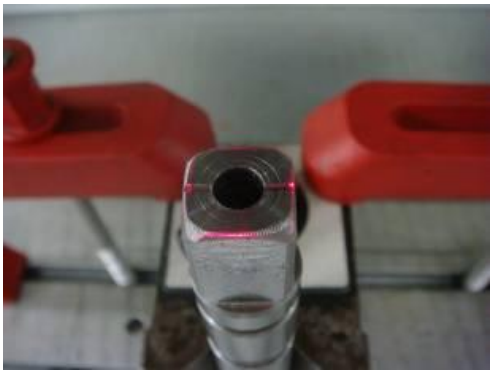
3.1 ศึกษาสภาพปัญหา

การไหลของกระบวนการกำหนดสัญลักษณ์บาร์โค้ดผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนแกนวาล์วปีกผีเสื้อด้วยเครื่องนิโอดิเมียมแย็กเลเซอร์ประกอบด้วย

1) ขั้นตอนการใส่ชิ้นงานแกนวาล์วปีกผีเสื้อเข้ากับอุปกรณ์จับยึด (Jig)พนักงานจะหยิบชิ้นส่วนแกนวาล์วใส่อุปกรณ์จับยึดซึ่งเป็นV-Blockครั้งละ 1 ชิ้น พร้อมกับกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งที่แสงเลเซอร์ (Laser) ของเครื่องนิโอดิเมียมแย็กเลเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 4 การใส่ชิ้นงานเข้ากับอุปกรณ์จับยึด

2) ขั้นตอนการกำหนดสัญลักษณ์ผลิตภัณฑ์แกนวาล์วปีกหลังจากตั้งชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งเรียบร้อยแล้วพนักงานจะทำการกดสวิตช์ (Switch) ให้เครื่องนิโอดิเมียมแย็กเลเซอร์ทำงานโดยที่เครื่องจะทำงานสองจังหวะ คือ แสงเลเซอร์ จะทำการกำหนดจุดที่จะทำการยิงก่อนดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่5 การกำหนดจุดที่จะทำการยิงลงบนตัวผลิตภัณฑ์

จากนั้นเครื่องจะยิงรหัสบาร์โค้ดลงบนตัวผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่6 การยิงรหัสบาร์โค้ดบนตัวผลิตภัณฑ์

ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการกำหนดสัญลักษณ์บาร์โค้ดแล้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7

รูปที่7 ลักษณะรหัสบาร์โค้ดบนตัวผลิตภัณฑ์

3) ขั้นตอนการถอดชิ้นงานออกจากอุปกรณ์จับยึด หลังจากเครื่องนิโอดิเมียมแย็กเลเซอร์กำหนดตัวเลขบาร์โค้ดแล้วพนักงานจะปิดสวิตช์คลื่นแม่เหล็กแล้วนำชิ้นงาน วางใส่ในภาชนะรองรับดังแสดงในรูปที่8

รูปที่ 8 การถอดชิ้นงาน และนำชิ้นงานวางใส่ภาชนะ

4) ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ (Appearance Inspection) หลังจากขั้นตอนการกำหนดสัญลักษณ์แล้วนำชิ้นงานใส่ภาชนะรองรับครบ 50 ชิ้น จะมีพนักงานอีกหนึ่งคนนำชิ้นงานไปตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ดังแสดงในรูปที่ 9

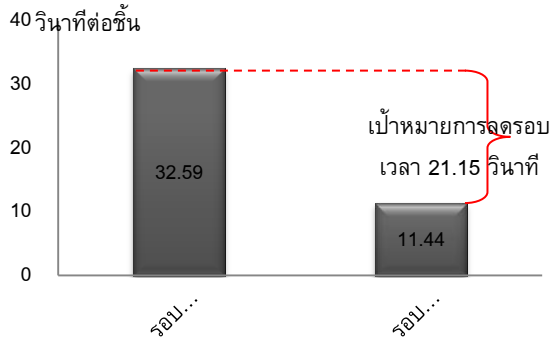
รูปที่ 9 การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน

จากกระบวนการไหลทั้งหมดสามารถสรุปรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) 32.59วินาทีต่อชิ้น และจำนวนพนักงานที่ใช้ในการปฏิบัติงาน2 คน

3.2 การตั้งเป้าหมาย

ปัจจุบันตามความต้องการของลูกค้าอยู่ที่วันละ 2,308 ชิ้นซึ่งปัจจุบันบริษัทต้องเปิดทำงานล่วงเวลา (Over Time) วันละ 4 ชั่วโมง จึงจะได้ผลิตภัณฑ์ตาม

ความต้องการของลูกค้า ผู้วิจัยจึงได้ตั้งเป้าหมายในการปรับปรุงรอบเวลาการผลิตให้พนักงานกลับมาปฏิบัติงานให้ทันตามความต้องการของลูกค้าภายในการทำงาน 1 วัน 8 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 Cycle Time เปรียบเทียบกับค่า Takt Time เป้าหมาย

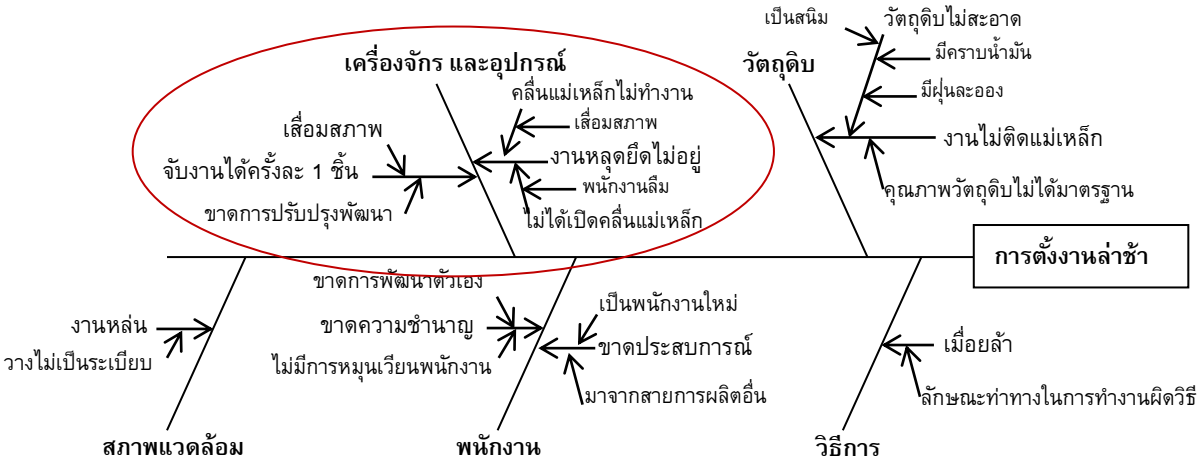
3.3 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากรูปที่ 11 จะเห็นว่ารอบเวลาก่อนการปรับปรุงมีค่าเกิน Takt Time เป้าหมายอยู่ 21.15 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็น 64.89% ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการตั้งงานล่าช้า และเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้บริษัทต้องเปิดทำงานล่วงเวลา สามารถจับชิ้นงานได้ครั้งละ 1 ชิ้น ปัญหาหลักเกิดมาจากอุปกรณ์จับยึดขาดการปรับปรุงพัฒนาอย่างต่อเนื่องซึ่งปัจจุบันอุปกรณ์จับยึดจะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนทั้งหมด 3 ชิ้นดังแสดงในรูปที่ 12

รูปที่ 12อุปกรณ์จับยึด (Jig) ก่อนการปรับปรุง

จากรูปจะเห็นว่าก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดจะเห็นว่ามีชิ้นส่วนสำคัญที่เกี่ยวกับการจับยึดชิ้นส่วนแกนละ 4 ชั่วโมง ทำให้ต้นทุนต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

จากปัญหาที่กล่าวมาผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์หาสาเหตุโดยอาศัยเครื่องมือควบคุมคุณภาพผังแสดงเหตุและผล ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพ

จากรูปที่ 12ผู้วิจัยสามารถสรุปประเด็นที่เป็นปัญหาหลักเพื่อจะนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขโดยผู้วิจัยเลือกสาเหตุที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine) และอุปกรณ์จับยึด (Jig) ที่ใช้ในการปฏิบัติงานซึ่งปัจจุบันวาล์วปีกผีเสื้อทั้งหมด 3 ส่วนได้แก่

1) ซีแคมป์ (C-Clamp) ประคองด้านขวา ทำหน้าที่จับยึด วีบล็อก (V-Block)เข้ากับฐานของเครื่อง

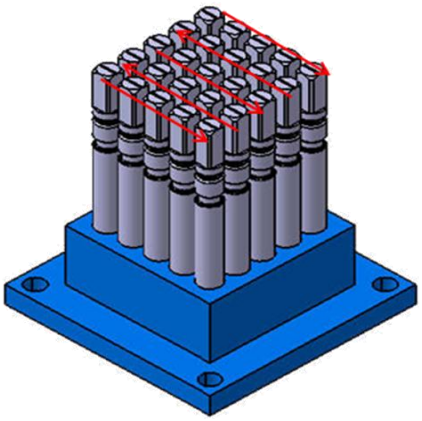
2) ซีแคมป์(C-Clamp) ประคองด้านซ้าย ทำหน้าที่

จับยึด วีบล็อก (V-Block)เข้ากับฐานของเครื่อง

3) วีบล็อก (V-Block)ทำหน้าที่จับยึดชิ้นส่วนแกนวาล์วไม่ให้ขยับ ระหว่างทำระบุสัญลักษณ์

3.4 กำหนดแนวทางการแก้ไข

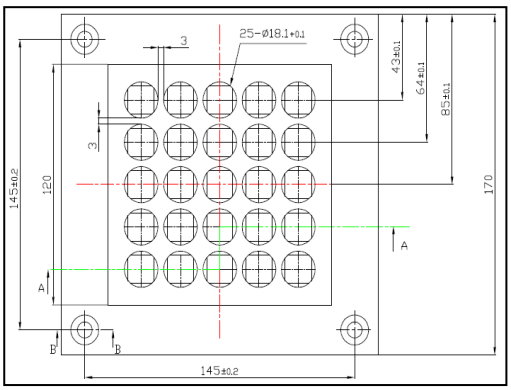
จากลักษณะการทำงานของอุปกรณ์จับยึดแบบเก่า ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะทำการออกแบบให้อุปกรณ์จับยึดสามารถใส่ชิ้นส่วนแกนวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ได้มากขึ้นแต่มีเงื่อนไขว่าการออกแบบจะพิจารณาจากจำนวน Lot Size ซึ่งมีจำนวน Lot Size ละ 50 ชิ้น และต้องคำนึงถึงระยะเวลาการยิงแสงเลเซอร์ต่อเนื่องของเครื่องนิโอดิเมียมแย็กเลเซอร์ (Yag Laser)เป็นหลัก เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องขอบเขตการทำงานของเครื่องซึ่งปัจจุบันสามารถทำได้ต่อเนื่อง 30 ชิ้นต่อการยิงหนึ่งครั้ง แต่เมื่อย้อนกลับไปดูจำนวน Lot Size ของชิ้นส่วนแกนวาล์วปีกผีเสื้อ ผู้วิจัยเลือกที่จะออกแบบ (Design) อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานให้ได้ 25 ชิ้นต่อครั้ง เพื่อง่ายต่อการนับจำนวนจัดเก็บตาม Lot Size ดังแสดงในรูปที่ 13



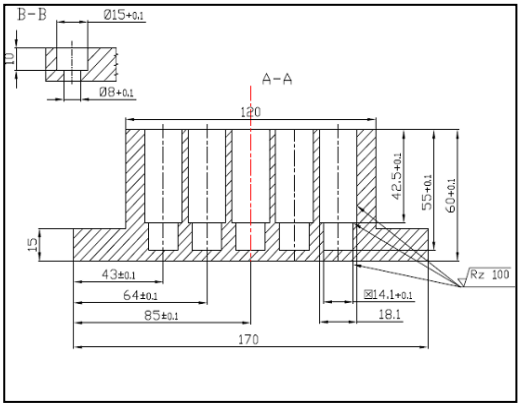
รูปที่ 13 ลักษณะอุปกรณ์จับยึดต้นแบบ

จากรูปที่ 13 ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานโดยออกแบบภาพด้านบนดังแสดงในรูปที่ 14 และภาพด้านหน้าดังแสดงในรูปที่ 15

จากรูปที่ 14แสดงลักษณะการออกแบบอุปกรณ์จับยึดที่มีขนาด กว้างxยาว เท่ากับ 170x170 มิลลิเมตร และเจาะรูที่มีขนาด ความกว้าง 15 มิลลิเมตร ลึก 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 16 ทั้ง 4 มุมของตัว Jig เพื่อล็อคอุปกรณ์จับยึดเข้ากับฐานของเครื่องยิง Laser และทำการเจาะรู ขนาด ความกว้าง 18.1 มิลลิเมตร ทั้งหมด 25 รู เพื่อจับยึดชิ้นส่วนแกนวาล์วปีกผีเสื้อเข้ากับอุปกรณ์จับยึด หลังจากนำไปจัดทำเป็นอุปกรณ์ต้นแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 16



รูปที่ 14 ภาพด้านบนของอุปกรณ์จับยึด



รูปที่ 15 ภาพด้านหน้าของอุปกรณ์จับยึด

รูปที่ 16 อุปกรณ์จับยึดต้นแบบ

หลังจากจัดทำอุปกรณ์จับยึดต้นแบบแล้วผู้วิจัยได้นำมาทำการทดลองปฏิบัติงานจริงโดยได้มีการปรับปรุงการเคลื่อนไหวในการทำงานของพนักงานจากการจับชิ้นงานใส่อุปกรณ์จับยึดด้วยมือข้างเดียวมาจับครั้งละสองชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 17

รูปที่ 17 การทดลองใช้งานอุปกรณ์จับยึดต้นแบบ

ซึ่งหลังจากการยิงแสงเลเซอร์เรียบร้อยแล้วชิ้นส่วนแกนวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 18

รูปที่ 18 แกนวาล์วปีกผีเสื้อหลังผ่านการยิงแสงเลเซอร์

หลังจากผ่านการทดลองใช้อุปกรณ์ต้นแบบผู้วิจัยได้ข้ออนุมัติจัดสร้างอุปกรณ์จากผู้บริหารเพื่อนำไปใช้จริงในกระบวนการผลิต และทำการลดจำนวนพนักงานตรวจสอบคุณภาพลงหนึ่งคนโดยให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานเป็นคนตรวจสอบแทนเนื่องจากมีช่วงเวลาที่เครื่องนิโอดิเมียมแย็กเลเซอร์ (Yag Laser) ทำงานอัตโนมัติแทนการยืนคอยเครื่องทำงานเสร็จ

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

หลังการปรับปรุงกระบวนการกำหนดเลขสัญลักษณ์บาร์โค้ดบนชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์แกนวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ด้วยเครื่องนิโอดิเมียมแย็กเลเซอร์ (Yag Laser) สามารถสรุปรอบเวลาการผลิต และจำนวนพนักงาน ได้ดังตารางที่ 1

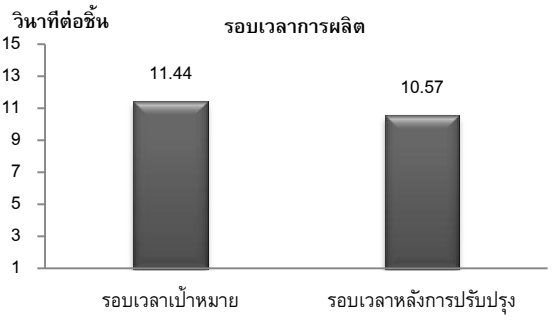
ตารางที่ 1 รอบเวลาการผลิต และจำนวนพนักงานหลังการปรับปรุง

รอบเวลาการผลิต (วินาทีต่อชิ้น)	จำนวนพนักงาน (คน)	จำนวนชิ้นงานต่อรอบ (ชิ้น)
264.26	1	25

จากเวลามาตรฐานหลังการปรับปรุงสามารถนำมาคำนวณหารอบเวลาการผลิตต่อชิ้นได้ดังต่อไปนี้

รอบเวลาต่อชิ้น = (264.26/25) = 10.57 วินาทีต่อชิ้น

เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับรอบเวลาเป้าหมายแสดงได้ดังรูปที่ 19



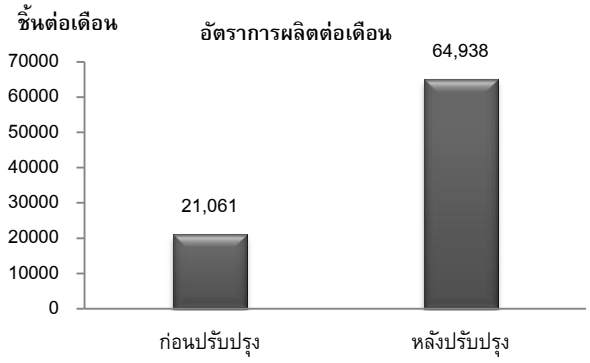
รูปที่ 19 เปรียบเทียบรอบเวลาการผลิตกับรอบเวลาเป้าหมาย

จากรูปจะเห็นว่ารอบเวลาการผลิตหลังการปรับปรุงมีค่า 10.57 วินาทีต่อชิ้นซึ่งน้อยกว่ารอบเวลาเป้าหมายที่วางเอาไว้แสดงว่าผลการปรับปรุงแก้ไขเป็นไปตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่วางเอาไว้

อัตราการผลิตต่อวันจากรอบเวลาการผลิตต่อชิ้นหลังการปรับปรุงที่ 10.57 วินาทีต่อชิ้น สามารถนำมาคำนวณหาความสามารถในการผลิตต่อวันได้ดังนี้

$$\text{อัตราการผลิตต่อเดือน} = \frac{[(8x60x60)-1200-1200]}{10.57} \times 26$$

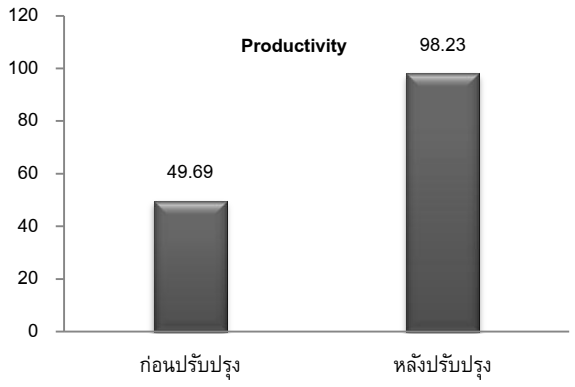
$$= 64{,}938 \text{ ชิ้นต่อเดือน}$$



รูปที่ 19 เปรียบเทียบอัตราการผลิต ก่อน-หลังการปรับปรุง

จากรูปจะเห็นว่าอัตราการผลิตหลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้นจาก 21,061 ชิ้นต่อเดือน เป็น 64,938 ชิ้นต่อเดือน เพิ่มขึ้น 43,877 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็น 208%

ผลิตภาพการผลิต จากการปรับปรุงสมดุลสายการผลิตด้วยการปรับปรุงการเคลื่อนไหวในการทำงานของพนักงาน และเทคนิคการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการการทำงาน (Jig Design) สามารถเพิ่มผลิตภาพการผลิตโดยเฉลี่ยหลังการปรับปรุงได้97.68% สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 เปรียบเทียบผลิตภาพการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการทำงาน และจัดทำเวลามาตรฐานของกระบวนการระบุสัญลักษณ์บาร์โค้ดผลิตภัณฑ์แกนวาล์วปีกผีเสื้อ ของบริษัท ตัวอย่างเพื่อเพิ่มผลผลิตด้วยเทคนิคการออกแบบอุปกรณ์จับยึด โดยมุ่งเน้นที่จะทำการปรับปรุงวิธีการทำงาน ของชิ้นส่วนแกนวาล์วปีกผีเสื้อให้ได้ตามความต้องการของสายการประกอบ เนื่องจากแกนวาล์วทุกชิ้นต้องผ่านการระบุสัญลักษณ์บาร์โค้ดก่อนที่จะนำไปส่งประกอบเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปซึ่งผลจากการดำเนินงานวิจัยพบว่ารอบเวลาการผลิตลดลงจาก 32.59 วินาทีต่อชิ้น เหลือ 10.57 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็นลดลง 67.57% อัตราการผลิตต่อวัน (Capacity) เพิ่มขึ้นจาก 21,061 ชิ้นต่อเดือน เป็น 64,938 ชิ้นต่อเดือน เพิ่มขึ้น 43,877 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็น 208%ชั่วโมงการปฏิบัติงาน ลดลงจาก 12 ชั่วโมง เหลือ 8 ชั่วโมง คิดเป็น 33.33%และสามารถลดจำนวนพนักงานตรวจสอบคุณภาพได้ 1 คน คิดเป็นร้อยละ 50%ผลิตภาพการผลิต (Productivity) เพิ่มขึ้นจากจาก 49.69 เป็น 98.23 เพิ่มขึ้น 48.54 คิดเป็น 97.68%

5.2 ข้อเสนอแนะ

หลังจากมีการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดและลักษณะการเคลื่อนไหวของพนักงานแล้วยังคงพบว่ามีเวลาว่างงานของพนักงานผู้ปฏิบัติงานอยู่ซึ่งทางบริษัทควรมีการปรับปรุงต่อยอดในส่วนดังกล่าวเพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้มากกว่าเดิมโดยอาศัยการออกแบบอุปกรณ์จับยึดส่วนที่จะใช้ในการรองรับอุปกรณ์จับยึดส่วนเดิมให้พนักงานสามารถยกชิ้นงานออกจากจุดยิงเลเซอร์ได้ทั้งหมดแทนการหยิบออกครั้งละสองชิ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ตัวอย่างผู้เป็นเจ้าของข้อมูลที่ได้อนุญาตให้นำข้อมูลของทางบริษัทมาทำการปรับปรุง และอำนวยความสะดวกให้ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ดำเนินงานและขอขอบคุณพนักงานฝ่ายผลิตทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] วันชัยริจิรวนิจ. 2545.การศึกษาการทำงาน และกรณีศึกษา.กรุงเทพฯ : แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] นพเก้าศิริพลไพบูลย์. 2548. หลักการเพิ่มผลผลิต (Productivity Improvement).พิมพ์ครั้งที่5. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ประชาชน.

[3] Barnes, Ralph M., 1980. Motion and Time Study: Design and Measurement of work.,7th edition, John Wiley and Sons, Inc.

[4] Lowry, S.M.,H. B. Maynard. 1940. Time and Motion Study andFormulas for Wage Incentives, 3rd ed., NY: McGraw-Hill.

[5] ดวงรัตน์ ชีวปัญญาโรจน์. และศุภศักดิ์พงษ์อนันต์. 2554. ความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes). กรุงเทพฯ : สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.

[6] เครื่องมือควบคุมคุณภาพใหม่ 7 ชนิด (New QC 7 Tools).” 2554,(ออนไลน์) แหล่งที่มา http://www.elecnet.chandra.ac.th/ [เข้าถึง 17 มกราคม 2556].

[7] คมสันจิระภัทรศิลป. การหาเวลามาตรฐาน (Standard Time), สืบค้นจาก (ออนไลน์) http://*www.pteonline.org/img-lib/staff/file/* [เข้าถึง 12 ธันวาคม 2553]

[8] วัชระ มีทอง.2545. การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).

[9] ศุภชัย รมยานนท์. 2547. การออกแบบอุปกรณ์นำเจาะและจับงาน. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

การออกแบบและพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับแปลงอ้อย

Design and Development of Fertilizer-Sowing Machine for Sugarcane Plots

สิทธิพันธุ์ ตัณฑวิรุฬห์* ชัยรัมภา คุณสุข ณัฐพล ศรีลาเรือง ปรเมษ แร่เพชร
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
อ.พุทธมณฑล จ. นครปฐม 73170 E-mail: sitipan.tun@mahidol.ac.th*

Sittiphun Tuntawiroon*, Chairampha Koonsook, Natthaphon Srerareung, Porameth Raepetch
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University
Phuttamonthon, Nakhon Pathom, 73170, E-mail: sitipan.tun@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

เครื่องใส่ปุ๋ยสำหรับแปลงอ้อยซึ่งได้ศึกษาในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรองรับการขยายตัวในความต้องการผลิตภัณฑ์จากอ้อย โดยเป็นที่ทราบกันว่าช่วงวิกฤติต้นอ้อยคือระหว่าง 3-4 เดือนแรกซึ่งการให้ปุ๋ยมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตาม เครื่องใส่ปุ๋ยในปัจจุบันไม่สามารถป้อนปุ๋ยใต้ผิวอย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกันความไม่สม่ำเสมอของสารอาหารในดิน การศึกษานี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยซึ่งขับเคลื่อนโดยรถแทรกเตอร์ เปิดหน้าดินด้วยสิ่วไถ 2 ระดับ และกลบหน้าดินด้วยผาลกลบ ระหว่างการใส่ปุ๋ยให้กับต้นไม้ในระยะทางการเคลื่อนที่ของรถ โดยมีการประยุกต์เพลาขับพีทีโอ (Power Take-Off Drive Shaft)ในการส่งผ่านพลังงานจากเครื่องยนต์ของรถแทรกเตอร์เพื่อให้มั่นใจความต่อเนื่องในการทำงานของกลไกการป้อนปุ๋ย เครื่องที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและเครื่องที่พัฒนาขึ้นมาถูกนำมาทดสอบการใช้งานบนพื้นดินร่วนปนทรายบริเวณร่องของไร่อ้อยด้วยสภาวะการใส่ปุ๋ยที่เหมือนกัน พบว่าเครื่องจักรที่พัฒนาขึ้นก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของประสิทธิผลในการกำจัดปัญหาการตกค้างของเม็ดปุ๋ยบริเวณหน้าดิน ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพคือลดระยะเวลาในการใส่ปุ๋ย 12.9% ลดการใช้น้ำมัน 2.3% และเพิ่มระยะทางในการใส่ปุ๋ย 29.9%

คำหลัก เครื่องใส่ปุ๋ย, การออกแบบเครื่องจักรและอุปกรณ์, อ้อย, การเกษตร

Abstract

Fertilizer-sowing machine for sugarcane plots was studied in this research with an aim to support the increase in demand of sugarcane products. It was recognized that the critical growing period for sugarcane trees is during the first 3-4 months, where the supply of fertilizer is crucial. However, the present fertilizer-sowing machine has failed to continuously underground feed the fertilizer to the sugarcane plot in order to prevent the non-homogeneity in soil nutrients. This study proposed the design and development of fertilizer-sowing machine driven by pushcart to plough out soil using two-level graver and fill in the groove using covering equipment, while continuously fertilizing the tree along its traveling distance. Power take-off drive shaft (PTO Drive Shaft) was applied to transfer energy from the pushcart engine to assure the continuous operation of the fertilizing mechanism. The present and the newly developed fertilizer-sowing machine were tested on sandy soil along the plots of a sugarcane farm using the same fertilizing condition. It was found that the machine contributed to the increase of effectiveness in eliminating the problem of fertilizer left-over the surface of the ground along with the increase of

efficiency in shorten fertilizing time (12.9%), fuel consumption (2.3%), and extend the fertilizing distance (29.9%).

Keywords: Fertilizer-Sowing Machine, Machine and Equipment Design, Sugarcane, Agriculture

1. บทนำ

ความต้องการในการบริโภคสินค้าเกษตร ประเภทพืชเศรษฐกิจมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของประชากรภายในและภายนอกประเทศ อย่างไรก็ตาม ผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ โดยเฉพาะอ้อย ในสภาพการณ์ปัจจุบัน มีปริมาณลดน้อยลง สาเหตุหลักที่ทำให้ผลผลิตต่ำคือ การบำรุงรักษาต้นอ้อยในช่วงแรกปลูก ซึ่งต้องมีการใส่ปุ๋ยบริเวณร่อง [1] ในช่วงระยะเวลา 3-4 เดือนแรก เพื่อให้อ้อยสามารถดูดซึมอาหารตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของระบบรากซึ่งมีลักษณะฝอย [2] ต้านทานต่อสภาพภูมิอากาศ และเจริญเติบโตได้อย่างแข็งแรงก่อนการเก็บเกี่ยว จึงถือว่าการใส่ปุ๋ยเป็นจุดวิกฤติของการปลูกอ้อยในช่วงเวลาดังกล่าว

เกษตรกรในปัจจุบัน นิยมใช้เครื่องจักรในการใส่ปุ๋ยอ้อย เพื่อลดต้นทุนแรงงานคน และลดเวลาในการทำงาน [3] แต่ประสบปัญหาการชะล้างของน้ำฝนทำให้ปุ๋ยซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดไหลไปตามน้ำดังแสดงในตารางที่ 1 ส่งผลให้ต้นอ้อยโดยเฉพาะในระยะเวลา 3-4 เดือนแรกได้รับสารอาหารน้อย และไม่เท่ากัน จึงทำให้การเจริญเติบโตของต้นอ้อยไม่สม่ำเสมอและไม่แข็งแรง และยังมีปัญหาการสึกหรอของชิ้นส่วนในเครื่องจักรที่สัมผัสดิน [4] เนื่องจากการออกแบบชิ้นส่วนเดิมคือ สิ่วไถหรือริปเปอร์ ซึ่งมีต้นทุนในการสร้างต่ำ บำรุงรักษาง่าย มีความคล่องตัวในการใช้งาน แต่ยังไม่เหมาะสมกับสภาพการทำงาน โดยมีแนวคิดในการใส่ปุ๋ยใต้ดินซึ่งประกอบด้วยการเปิดหน้าดินเพื่อใส่ปุ๋ย [4] และกลบเพื่อแก้ไขปัญหาการชะล้างของน้ำฝน และการเพิ่มผาลพรวนดิน [5] เพื่อบำรุงหน้าดินไปพร้อมกับการใส่ปุ๋ย รวมไปถึงการปรับเปลี่ยนชิ้นส่วนของเครื่องจักรเดิมที่พบปัญหาในการใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 1 อีกทั้งยังพบปัญหาของต้นกำลังของกลไกการป้อนเม็ดปุ๋ย (รูปที่ 1) ซึ่งต้องอาศัยการเคลื่อนที่ของล้อต้นกำลังไปตามพื้นไร่ [6] เพื่อขับเคลื่อนการลำเลียงเม็ดปุ๋ย แต่มักประสบปัญหาพื้นไร่ไม่สม่ำเสมอส่งผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในกำลังขับ การป้อนเม็ดปุ๋ยเกิดการขาดช่วง เพิ่มภาระงานในการลากจูงให้กับรถแทรกเตอร์ และสิ้นเปลืองพลังงาน

ตารางที่ 1 ปัญหาที่พบในการใส่ปุ๋ยต้นอ้อยด้วยเครื่องจักร

ปัญหาที่พบ	สภาพที่ปรากฏ
เครื่องใส่ปุ๋ยที่ประกอบด้วยสิ่วไถจะแบบเปิดหน้าดินให้มีลักษณเป็นร่อง และไม่มีการไถกลบปุ๋ย ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงเมื่อฝนตกจะทำให้ปุ๋ยละลายและไหลไปตามน้ำ	
เครื่องใส่ปุ๋ยที่ประกอบด้วยสิ่วไถรับแรงต้านดินมากเกินไป ส่งผลให้หัวใบมีดของสิ่วไถเกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว รวมทั้งการถอดเปลี่ยนหัวใบมีด ยากต่อการเปลี่ยนเนื่องจากการประกอบโดยการเชื่อมติด	

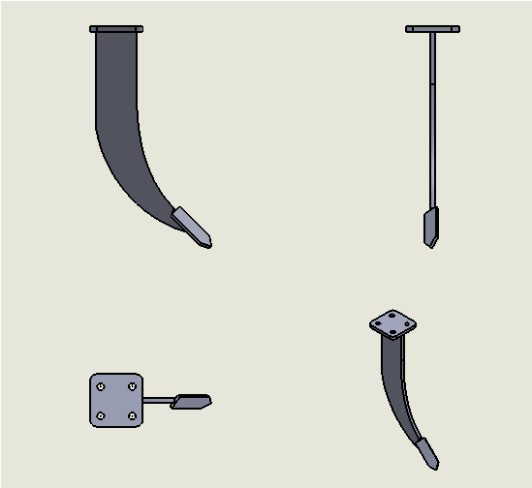
รูปที่ 1 ต้นกำลังขับของกลไกการป้อนเม็ดปุ๋ยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ดังนั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาสิ่วไถและอุปกรณ์ประกอบสำหรับเครื่องใส่ปุ๋ยที่สามารถลดการใช้พลังงานของเครื่องยนต์ และสามารถใส่ปุ๋ยใต้ดินได้อย่างต่อเนื่อง สำหรับช่วงระยะเวลา 3-4 เดือนแรกของการปลูก โดยมีขอบเขตของการศึกษาคือ

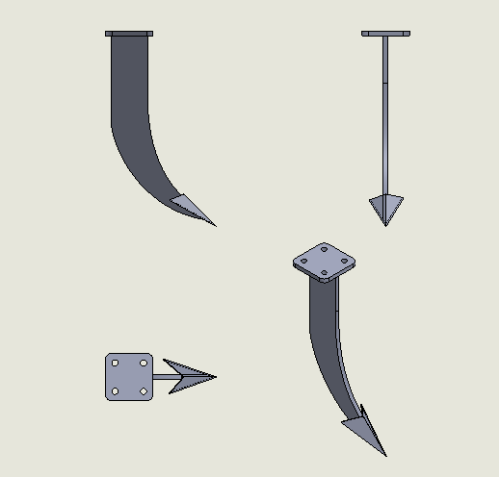
พื้นการปลูกที่มีระยะห่างของร่องอ้อย 1.0-1.8 เมตร ใช้ต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ที่มีขนาด 21-24 แรงม้า โดยมีถังบรรจุปุ๋ยขนาด 50 กิโลกรัม สำหรับพื้นที่การเกษตร ทางภาคตะวันตกของประเทศ (อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี) ซึ่งมีลักษณะของสภาพดินเป็นดินร่วนปนทราย

2. การออกแบบสิ่วไถและอุปกรณ์ประกอบ

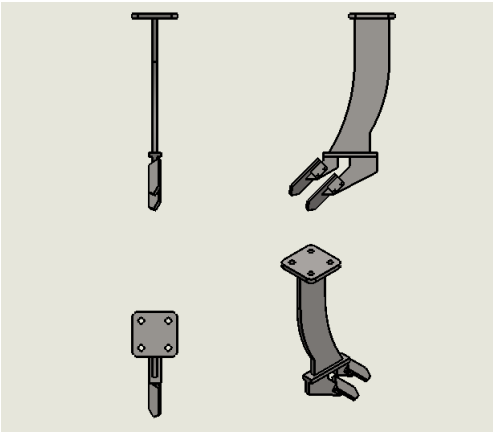
ในการศึกษานี้พิจารณารูปแบบของสิ่วไถทั้งหมด 3 รูปแบบ (รูปที่ 2) และการวิเคราะห์การรับแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ในโปรแกรม Solid Works 2014 ประกอบกับข้อมูลของสภาพดิน [7] ในการคำนวณ โดยพบว่าสิ่วไถแบบ 2 ขาต่างระดับ (รูปที่ 2 (ค) และมีภาพร่างในการติดตั้งแสดงดังรูปที่ 3) สามารถลดแรงต้าน ส่งผลให้โอกาสการบิดงอลดลง และสามารถขุดเปิดหน้าดินเพื่อใส่ปุ๋ยได้ระยะลึกมากกว่าสิ่วไถประเภทอื่น อีกทั้งยังสามารถถอดประกอบได้สะดวกด้วยการใช้สกรูและน็อต



(ก)



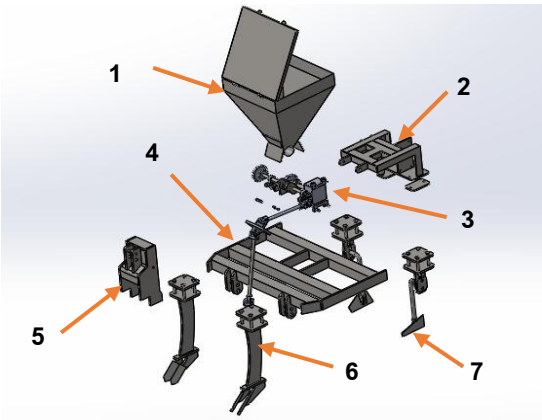
(ข)



(ค)

รูปที่ 2 รูปแบบของสิ่วไถ 3 รูปแบบที่พิจารณาในมุมมองต่างๆ

การออกแบบได้มีการเพิ่มอุปกรณ์เสริมการใช้งาน ได้แก่ ถังปุ๋ย ฐานรองถังปุ๋ย เครื่องใส่ปุ๋ย โครงเครื่องใส่ปุ๋ย โครงยึดจับเครื่องใส่ปุ๋ยกับรถแทรกเตอร์ ผาลกลบดิน ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณด้านหลังทำหน้าที่กลบดินภายหลังการใส่ปุ๋ย และเพลาขับพีทีโอ (Power Take-Off Drive Shaft) เพื่อทดแทนการใช้ล้อต้นกำลังเพื่อขับเคลื่อนกลไกการลำเลียงเม็ดปุ๋ย โดยติดตั้งเข้ากับเครื่องใส่ปุ๋ย ทั้งนี้อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องป้อนปุ๋ยตามแบบที่พัฒนาขึ้นมีต้นทุนค่าวัสดุทั้งสิ้นประมาณ 15,000 บาท แบบร่างของเครื่องใส่ปุ๋ยโดยรวมแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งมีรายการวัสดุพร้อมเลขอ้างอิงแสดงดังตารางที่ 2 และเครื่องใส่ปุ๋ยจริงที่ได้พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 แบบร่างของเครื่องใส่ปุ๋ยที่พัฒนาขึ้นโดยรวม

ตารางที่ 2 รายการวัสดุ (อ้างอิงรูปที่ 3)

หมายเลขอ้างอิง	ชื่อ	จำนวน (ชิ้น)	วัสดุ
1	ถังปุ๋ย	1	เหล็กกล้าปลอดสนิม
2	ฐานรองถังปุ๋ย	2	เหล็กกล้าคาร์บอน
3	เครื่องใส่ปุ๋ย	1	เหล็กกล้าคาร์บอน
4	โครงเครื่องใส่ปุ๋ย	1	เหล็กกล้าคาร์บอน
5	โครงยึดจับเครื่องใส่ปุ๋ยกับรถแทรกเตอร์	1	เหล็กกล้าคาร์บอน
6	สิ่วไถ	2	เหล็กกล้าคาร์บอน
7	ผาลกลบดิน	2	เหล็กกล้าคาร์บอน

3. การทดสอบการใช้งาน

เครื่องใส่ปุ๋ยที่พัฒนาขึ้นได้ทดสอบการใช้งานเปรียบเทียบกับเครื่องใส่ปุ๋ยแบบปัจจุบันในพื้นที่การเพาะปลูกอ้อย ที่ตั้งอยู่ในบริเวณ อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี โดยติดตั้งเครื่องใส่ปุ๋ยเข้ากับรถแทรกเตอร์ขนาด 24 แรงม้า ซึ่งมีถังบรรจุน้ำมันดีเซลขนาด 23 ลิตร ความเร็วรอบเครื่องยนต์ของรถแทรกเตอร์คงที่ 1800 รอบต่อนาที ทดสอบใส่ปุ๋ยขนาด 50 กิโลกรัมโดยเคลื่อนที่ตามร่องระหว่างแปลงอ้อย ทั้งนี้ ทำการทดสอบการใช้งานทั้งหมด 3 ครั้ง

รูปที่ 4 เครื่องใส่ปุ๋ยที่พัฒนาขึ้น

4. ผลและการอภิปรายผลการทดสอบการใช้งาน

การทดสอบการใช้งานเพื่อตรวจสอบความสามารถในการใส่ปุ๋ย 50 กิโลกรัม โดยพิจารณาจากระยะเวลาที่ใช้ในการใส่ปุ๋ย พื้นที่การใส่ปุ๋ย และปริมาณน้ำมันที่ใช้ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความสามารถในการใส่ปุ๋ย 50 กิโลกรัม เปรียบเทียบระหว่างเครื่องใส่ปุ๋ยแบบปัจจุบันและเครื่องใส่ปุ๋ยที่พัฒนาขึ้น

ลำดับ	เวลา (นาที)		ระยะทาง (เมตร)		ปริมาณน้ำมัน (มม.)	
	ปัจจุบัน	พัฒนา	ปัจจุบัน	พัฒนา	ปัจจุบัน	พัฒนา
1	29.07	26.16	865	1154	1000	982
2	32.36	25.34	912	1144	1006	974
3	30.22	27.23	884	1163	1004	985
ค่าเฉลี่ย	31±4	27±2	887±46	1153±18	1004±6	981±12

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าเครื่องใส่ปุ๋ยที่พัฒนาขึ้นสามารถลดระยะเวลาในการใส่ปุ๋ย (12.9%) ลดการใช้น้ำมัน (2.3%) และเพิ่มระยะทางในการใส่ปุ๋ย (29.9%) นอกจากนี้ ยังมีการสุ่มตรวจสอบปริมาณปุ๋ยที่มิได้ถูกกลบภายหลังการใส่ปุ๋ย จำนวน 10 จุด ของพื้นที่การทดสอบจำนวน 9 ร่อง และทำการตรวจสอบทั้งสิ้น 3 ครั้ง โดยแต่ละจุดจะทำการนำปุ๋ยที่ปรากฏบนหน้าดินที่รัศมีการตรวจสอบ 1 เมตรรอบๆ จุดที่สุ่ม มาชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณปุ๋ยที่มิได้ถูกกลบ ผลการตรวจสอบพบว่าเครื่อง

ใส่ปุ๋ยแบบปัจจุบันมีปริมาณปุ๋ยค้างบริเวณผิวหน้า 33±9 กรัมต่อจุดการตรวจสอบรัศมี 1 เมตร ในขณะที่เครื่องใส่ปุ๋ยที่พัฒนาขึ้นไม่ปรากฏปุ๋ยตกค้างบริเวณผิวหน้าดิน (รูปที่ 5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องใส่ปุ๋ยที่พัฒนาขึ้นสามารถลดปัญหาปริมาณปุ๋ยที่มิได้ถูกกลบ และประสิทธิผลของการใช้เพลาขับพีทีโอ

รูปที่ 5 การเปรียบเทียบลักษณะดินภายหลังการใส่ปุ๋ยโดยเครื่องปัจจุบันและเครื่องที่พัฒนาขึ้น

5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้สามารถออกแบบและพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยในร่องอ้อย โดยการอาศัยการพัฒนาสิ่วไถแบบ 2 ขาต่างระดับเพื่อเปิดร่องบริเวณหน้าดิน และผาลกลบเพื่อกลบปุ๋ยที่ถูกลำเลียงสู่ร่อง และการปรับระบบการส่งกำลังของกลไกการลำเลียงเม็ดปุ๋ยเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในการลำเลียงปุ๋ย โดยผลการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องใส่ปุ๋ยแบบปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าเครื่องป้อนปุ๋ยที่พัฒนาขึ้นช่วยในการเพิ่มประสิทธิผลในการกำจัดปัญหาการตกค้างของเม็ดปุ๋ยบริเวณหน้าดิน ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพคือลดระยะเวลาในการใส่ปุ๋ย 12.9% ลดการใช้น้ำมัน 2.3% และเพิ่มระยะทางในการใส่ปุ๋ย 29.9% ทั้งนี้ แนวคิดในการออกแบบสามารถประยุกต์ใช้กับการพัฒนาเครื่องใส่ปุ๋ยพืชชนิดอื่นซึ่งมีลักษณะการเพาะปลูกขนาด และความสูงใกล้เคียงกันได้

เอกสารอ้างอิง

[1] ถวิล ครุฑกุล, ดินและปุ๋ยเพื่อการเพาะปลูก, ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร, 2527

[2] ปราณี สนธิ, การศึกษาอิทธิพลของระยะแถวปลูกและอัตราปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของอ้อยปลูกในดินเนื้อปานกลาง และการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุน และผลตอบแทนการผลิตอ้อยปลูกในดินเนื้อละเอียดที่มีระยะแถวปลูกต่างกัน, ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548

[3] อนุชาติ กังวานณรงค์กุล, ยงยุทธ์ เหมจินดา, สมยศ อิสระเสนีย์. การศึกษาเครื่องมือหยดปุ๋ยอ้อยหลังการเก็บเกี่ยว, ภาควิชาวิศวกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2529

[4] สุพร ฤทธิภักดี, พฤติกรรมการสึกหรอแบบขัดสีของผิวเชื่อมพอกผิวแข็งบนเหล็ก AISI 1020, หนังสือประกอบการประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2554. วันที่ 20-21 ตุลาคม 2554, 2554: โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้ จอมเทียน. ชลบุรี; 2070-2075

[5] ราวุฒิ น่วมปฐม. การพัฒนาอุปกรณ์ปรับปรุงการอัดแน่นของดินในไร่อ้อย, วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550

[6] ชาญชัย โรจนสโรช, อัคคพล เสนาณรงค์, รัตนา ตั้งวงศ์กิจ, ชุติ ม่วงประเสริฐ. การวิจัยและพัฒนารถแทรกเตอร์ 4 ล้อขนาดเล็ก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2537

[7] กิจการ พรหมมา, ธรณีวิทยาสำหรับวิศวกร, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2555

การเพิ่มกำลังการผลิตในกระบวนการรีดเย็นท่อเหล็กแบบงานสั่งทำโดยใช้เครื่องมือของระบบลีน : กรณีศึกษา โรงงานโลหะรูปพรรณ

Production Capacity Expanding in Made-to-order Steel pipe cold rolling process by Lean Tools: A Case Study of Steel pipe cold rolling factory

กัญจน์ คณาธารทิพย์*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
อ.พุทธมณฑล จ. นครปฐม 73170 E-mail: gunn.kan@mahidol.ac.th*

Gunn Kanatarntip*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University
Puthamonthon, Nakornpathom, 73170, E-mail: gunn.kan@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์แนวคิดของการผลิตแบบลีนและเครื่องมือของลีนมาใช้ในโรงงานผลิตท่อเหล็กรีดเย็นแบบงานสั่งทำซึ่งมีการปรับตั้งเครื่องจักรบ่อยและใช้เวลานาน ขนาดชุดการผลิตก็ไม่สูงนัก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์แนวคิดของการผลิตแบบลีนเพื่อระบุความสูญเปล่าซึ่งพบว่ามีความสูญเปล่าด้านการรอคอย (Waiting waste) ในกระบวนการปรับตั้งเครื่องจักร และทำให้ร้อยละของเวลาที่ใช้ในการทำงานจริง (%Uptime) ต่ำส่งผลให้กำลังการผลิตจึงต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ถ้าหากทางโรงงานต้องการเพิ่มกำลังการผลิตด้วยวิธีปกติคงต้องมีการลงทุนเพื่อขยายกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงนำการวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness, OEE) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่ใช้ประเมินความสำเร็จกิจกรรมการบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance) สำหรับเครื่องจักรที่ดำเนินการอยู่ โดยก่อนปรับปรุงค่า OEE เฉลี่ยอยู่ที่ 72.85% ค่า A เฉลี่ย = 94.27% ค่า P เฉลี่ย = 79.25% และ Q เฉลี่ย = 97.51% แต่เป้าหมายของทางโรงงานคือ OEE = 80% หลังจากใช้หลักการความสูญเสียอันยิ่งใหญ่ 6 ประการ (6 big losses) หาสาเหตุที่ทำให้ค่า OEE ต่ำกว่าเป้าหมายแล้ว จึงประยุกต์ใช้เครื่องมือของลีน ได้แก่ เทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว การควบคุมด้วยสายตา การบำรุงรักษาด้วยตนเอง และการสร้างเครื่องมือช่วยทุนแรงเช่น รถเข็นสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร (Setup car) ผลการวิจัยพบว่าโรงงานแห่งนี้สามารถลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรได้ในสายการผลิตการขึ้นรูปเย็นท่อเหล็ก (Cold Rolling) จากเดิม 410 นาที เป็น 209 นาที คิดเป็น ลดลง 49.02 % ลดความเมื่อยล้าของช่างปรับตั้งเครื่องจักร และทำให้ค่า OEE เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 72.85% เป็น 79.06% (เพิ่มขึ้น 10.05%) ในที่สุดก็สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 48,240 เส้น/ปี

คำหลัก การปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว / แนวคิดของการผลิตแบบลีน / เหล็กรีดเย็น / ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

Abstract

This research is an application of lean manufacturing concept and lean tools in a made-to-order steel pipe cold rolling process which its machine setting up is so often with a long time spent and lot-size is small. Therefore, researcher defines wastes according to lean manufacturing concept and found that there is a waiting waste in machine setup process and bring about low % uptime affecting consequently

production capacity lower than it should be. If the factory needs to increase traditionally production capacity, the investment is more and more. Thus, Overall Equipment Effectiveness, OEE as a metric to identify the success of Total Productive Maintenance activities for all machines are employed. Before improvement, average OEE is 72.85% (A = 9427%, P = 79.25% and Q = 97.51%) but the target is 80%. After deploying 6 big losses principle to explore the causes of low OEE, the lean tools were subsequently applied such as Quick changeover technique, Visual Control, Autonomous maintenance and a setup car producing. Results from this research are shown that setup time in cold rolling production line was reduced significantly from 410 minutes to 209 minutes (less 49.02%). Additionally, the setup team are appreciate with the supplemental equipment that can remove fatigue among set-up process and OEE is coming up from 72.85% to 79.06% (10.05%). Eventually the production capacity is increased 48,240 pieces / year.

Keywords: Quick changeover / Single minute exchange of die / lean concept / lean tools / cold rolled steel / Overall Equipment Effectiveness

1. บทนำ

โรงงานกรณีศึกษาเป็นผลิตท่อเหล็กรีดเย็นแบบงานสั่งทำ (Made-to-order) สำหรับงานอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์หรืองานก่อสร้างต่าง ๆ โดยรับคำสั่งซื้อจากลูกค้าที่หลากหลายรูปแบบและมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยที่มีขนาดชุดการผลิตไม่สูงนักทำให้ต้องมีการปรับตั้งเครื่องจักรบ่อยครั้ง ในขณะที่ต้นทุนการผลิตก็เพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว ทำให้การบริหารต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิตที่เป็นค่าใช้จ่ายคงที่ต้องอาศัยปริมาณการผลิตจำนวนมาก หรือใช้เครื่องจักรให้คุ้มค่าเพื่อถั่วเฉลี่ยต้นทุนค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรให้มากที่สุด แต่เครื่องจักรที่ใช้งานในปัจจุบันก็ถูกใช้เต็มกำลังการผลิตที่สามารถใช้ได้แล้ว ทางโรงงานก็ยังต้องการขยายกำลังการผลิตซึ่งตามปกติก็คงต้องมีการลงทุนซื้อเครื่องจักรเพิ่มขึ้นอย่างแน่นอน อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาด้วยแนวคิดของระบบการผลิตแบบลีนจะพบว่าร้อยละของเวลาการทำงานจริงของเครื่องจักร (%Uptime) ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น แสดงว่ามีความสูญเปล่าแฝงอยู่แน่นอน และยังมีโอกาสที่จะลดความสูญเปล่าที่ซ้อนอยู่ที่ทำให้เครื่องจักรอาจจะยังใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพและเต็มกำลังความสามารถก็ได้ ถึงแม้ทางโรงงานจะพยายามบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยการใช้กิจกรรมบำรุงรักษาแบบทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance, TPM) เพื่อบริหารเครื่องจักรและลดเวลาหยุดเครื่องจักรแล้วก็ตาม

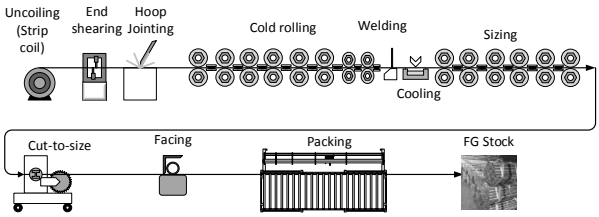
งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของโรงงานด้วยการนำแนวคิดของลีนมาค้นหาความสูญเปล่าในการบริหารจัดการเครื่องจักร และใช้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร(Overall Equipment Effectiveness, OEE) เป็นตัวชี้วัดเพื่อประเมินเวลาการผลิตและการทำงานของเครื่องจักรว่าเป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้หรือไม่ รวมทั้งประเมินความสำเร็จของกิจกรรม TPM ที่ดำเนินอยู่ด้วย ประกอบกับใช้หลักการความสูญเสียอันยิ่งใหญ่ 6 ประการ (6 Big losses) เพื่อค้นหาสาเหตุที่ทำให้ ค่า OEE ต่ำเกินไปและประยุกต์ใช้เครื่องมือของลีนเพื่อเพิ่ม %Uptime และค่า OEE ของเครื่องจักร ซึ่งในท้ายที่สุดจะเป็นการเพิ่มกำลังการผลิตให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในท้ายที่สุด ก่อนที่จะคิดถึงการลงทุนกับเครื่องจักรใหม่

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการขึ้นรูปโลหะแบบรีดเย็น

กรณีศึกษาเป็นโรงงานที่มีกระบวนการรีดเย็นท่อเหล็ก เริ่มต้นจากการนำเหล็กแผ่นที่ผ่านการรีดร้อนจนเป็นม้วนขนาดใหญ่ (Coil) ซึ่งมีหน้าตัดขนาดมากกว่า 1,000 มม. และหนาตั้งแต่ 1-3 มม. มาตัดแบ่ง (Slitting) ให้เป็นแถบเหล็กแผ่นหน้าตัดเล็กลงและถูกม้วนเป็นม้วนเหล็กแถบ (Strip coil) เก็บเข้าคลังวัตถุดิบอีกครั้งเพื่อรอพร้อมใช้งาน จากนั้นจึงเบิกม้วนเหล็กแถบออกมาและคลี่ออก (Uncoiling) เพื่อให้เกิดการผลิตอย่างต่อเนื่อง ระหว่างม้วนจึงมีการเชื่อมต่อกันด้วยการตัดปลาย (End

shearing) และเชื่อมไฟฟ้าให้แถบเหล็กเกิดความต่อเนื่อง (Hoop Jointing) จากนั้นแถบเหล็กก็ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปแบบเย็นด้วยลูกกลิ้ง (Cold rolled forming) จนได้รูปร่างหน้าตัดของชิ้นงานตามที่ลูกค้าต้องการ และเชื่อมด้วยไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง (Welding) และเจียระไนรอยเชื่อมให้เรียบ ถ้าหากเป็นงานท่อแบบไร้ตะเข็บ (Seamless pipe) แต่ถ้าเป็นงานหน้าตัดตัว C ก็จะไม่มีการเชื่อม และผ่านการลดอุณหภูมิด้วยน้ำหล่อเย็น (Cooling down) จากนั้นท่อเหล็กจะถูกลำเลียงต่อเนื่องมายังเครื่องตัด (Cut-to-size) เพื่อตัดให้ได้ความยาวตามที่ลูกค้ากำหนด จากนั้นก็ทำการปาดหน้า (Facing) เพื่อลดเสี้ยนคมที่ปลายท่อ และให้ได้ฉากหรือมุมที่ต้องการ และส่งไปแผนกบรรจุภัณฑ์ (Packing) เพื่อเรียงหรือมัดชิ้นงานและจัดให้อยู่ในลักษณะพร้อมส่งตามที่ลูกค้ากำหนด และส่งเข้าจัดเก็บเข้าคลังสินค้าเพื่อรอการจัดส่งต่อไป ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังแสดงกระบวนการผลิตท่อเหล็กรีดเย็นของโรงงานกรณีศึกษา

2.2 แนวคิดของระบบการผลิตแบบลีน

แนวคิดของระบบการผลิตแบบลีนสามารถวิเคราะห์หาความสูญเปล่าและความสูญเสียที่เกิดขึ้น [1] และกำหนดมาตรการหรือเครื่องมือมาปรับปรุงแก้ไข เครื่องมือของลีนมีอยู่มากมายที่ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับเครื่องจักรหรือกำลังการผลิต ซึ่งขึ้นอยู่กับอาการหรือสภาพปัญหา เช่น การบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม (TPM) การลดเวลาปรับเปลี่ยนเครื่องจักร (Quick Changeover) การควบคุมด้วยสายตา (Visual Control) หรือ การวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำ OEE มาเป็นเครื่องมือในการประเมินการทำกิจกรรม TPM และให้หลักการความสูญเสียอันยิ่งใหญ่ 6 ประการ (6 Big losses) มาวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อนำไปเลือกเครื่องมือของลีนในการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงค่า OEE ให้สูงขึ้น ดังนั้นโดยเครื่องมือสำคัญในงานวิจัยนี้ได้แก่ ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร การปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว การควบคุมด้วยสายตา กิจกรรม 5ส กิจกรรมไคเซนและการบำรุงรักษาด้วนตนเอง

- การวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness, OEE) เพื่อใช้การวิเคราะห์หาช่องว่าง (gap) ในการปรับปรุง ซึ่งประกอบด้วย ผลคูณของค่าความพร้อมใช้งาน (Availability, A) ค่าสมรรถนะ (Performance, P) และค่าอัตราคุณภาพ [2] เมื่อวัดค่าทั้งสามแล้วจะสามารถทวนกลับไปสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้ค่า OEE ไม่เป็นไปตามเป้าหมาย ด้วยหลักการความสูญเสียอันยิ่งใหญ่ของเครื่องจักร (6 Big losses) เช่น ความพร้อมใช้งานต่ำจะมีสาเหตุมาจากเครื่องจักรเกิดเหตุขัดข้องบ่อย เกิดการหยุดเครื่องจักรนาน(Downtime) เพราะรอซ่อมหรือใช้เวลาซ่อมนานเกินไปซึ่งสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ด้วยการบำรุงรักษาที่ทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance, TPM) หรือเกิดจากการเสียเวลาเริ่มเดินเครื่องจักรนาน (Startup loss) ซึ่งอาจประยุกต์เทคนิค Visual control หรือระบบการผลิตแบบเซลลูล่าร์ (Cellular manufacturing) มาใช้เพื่อลดเวลาในช่วงแรกของการเดินเครื่อง หรือการเสียเวลากับการปรับตั้งเครื่องจักร (Setup time) การลดเวลานี้สามารถใช้เทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (Quick changeover) ได้เช่นกัน สมรรถนะต่ำจะมีสาเหตุมาจากการเดินเครื่องที่ความเร็วต่ำกว่าที่ควรจะเป็น (Speed loss) เพราะคุณภาพของวัตถุดิบไม่เสถียร การหยุดเครื่องเล็ก ๆ น้อย ๆ (Minor stoppage) อาจเกิดจากการบำรุงรักษาที่ไม่ดีพอ ควรนำกิจกรรมการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous maintenance) หรือ กิจกรรมการปรับปรุงงานเพื่อลดความสูญเสีย (Focus improvement) มาใช้ ค่าอัตราคุณภาพต่ำอาจเกิดจากของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต ซึ่งสามารถใช้เทคนิคการป้องกันความผิดพลาด (Poke Yoke) หรือเทคนิคการควบคุมตัวเองโดยอัตโนมัติ (Autonomation) เพื่อจัดการเวลาเกิดของเสียในสายการผลิตแล้วสามารถหยุดเครื่องจักรเพื่อดำเนินการแก้ไขโดยทันที หรือของเสียที่เกิดในช่วงแรกของการเดินเครื่อง (Startup defect) สามารถใช้เทคนิคการควบคุมด้วยสายตา หรือเครื่องมืออุปกรณ์ช่วยให้การปรับตั้งสามารถหาจุดเหมาะสมได้

รวดเร็วขึ้นก็จะเกิดของเสียในส่วนนี้น้อยลงได้

- การปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (Quick changeover) คือ เป็นทฤษฎีและชุดเทคนิคที่ช่วยให้สามารถดำเนินการติดตั้งหรือปรับเปลี่ยนเครื่องจักรได้ภายใน 10 นาที หรือพูดง่าย ๆ ว่าภายในจำนวนที่เป็นเลขหลักเดียว [3]

- การควบคุมด้วยสายตา หรือการมองเห็น (Visual control) คือ เทคนิคที่ทำให้เกิดการรับรู้ข้อมูลข่าวสารหรือค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการปฏิบัติงานได้อย่างรวดเร็ว เข้าใจง่าย ไม่ผิดพลาดและทันเวลา หรือช่วยให้การตรวจสอบความถูกต้องหรือการตั้งระยะ ทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ซึ่งข้อมูลมีได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ตัวหนังสือ ข้อความ ตารางตัวเลข กราฟ ภาพ สัญลักษณ์ รูปถ่าย เส้น แถบสี เป็นต้น [4]

- กิจกรรม 5 ส ถูกใช้สำหรับจัดการพื้นที่และสภาพแวดล้อมของทำงานเป็นระเบียบและสะอาด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ ทำงานง่ายขึ้น สะดวกขึ้น แม่นยำขึ้น ถูกนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย เช่น ในการปรับเปลี่ยนเครื่องจักร หรือการตรวจสอบเครื่องจักรได้ดี เช่นการทำแผ่นแบบ (Templates) เพื่อใช้ช่วยตั้งระยะห่างของลูกกลิ้ง เป็นต้น [5]

- กิจกรรมไคเซน (Kaizen Event) : คือกิจกรรมการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นรากฐานของการนำระบบลีนมาใช้ เพราะจะช่วยให้เกิดข้อเสนอแนะในการปรับปรุงพัฒนา [6]

- การบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous Maintenance): คือ กรอบของ TPM สามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิผลของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรด้วยวิธีการหลากหลายแบบซึ่งเกี่ยวข้องกับทุกคนในโรงงาน โดยเฉพาะคนงานที่อยู่หน้างานจะมีบทบาทหลักในกิจกรรมที่เรียกว่า “การบำรุงรักษาด้วยตนเอง” เพราะจะทำให้เครื่องจักรเกิดความเสถียร และค้นพบปัญหาได้แต่เนิ่น ๆ [7]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

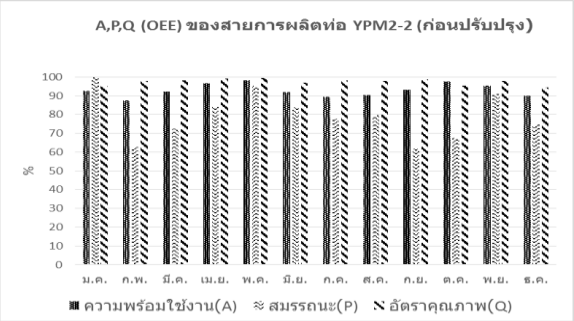
มีการทำวิจัยหรือบทความต่าง ๆ มากมายที่มีการศึกษาและประยุกต์การนำเครื่องมือและแนวคิดของลีนไปใช้ในอุตสาหกรรมในประเทศไทย ทั้งโรงงานขนาดเล็กไปถึงโรงงานขนาดใหญ่ ณัฐพงศ์ และคณะ [8] ได้ประยุกต์ใช้หลักการผลิตแบบลีนในโรงงานผลิตผ้าอนามัยซึ่งมีเครื่องจักรจำนวนมากและมีสายการผลิตต่อเนื่อง ซึ่งเดิมเสียเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรแต่ละครั้งกินเวลานานกว่า 12 ชั่วโมง และใช้ช่างจำนวน 12 คน ผลการนำเทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว เทคนิคการป้องกันความผิดพลาด การปรับปรุงให้เกิดความสะดวกในการหยิบใช้เครื่องมือ การสร้างมาตรฐานงาน และการควบคุมด้วยสายตา ผลจากการดำเนินการพบว่าสามารถเวลาปรับเปลี่ยนเครื่องจักรลงจาก 12.08 ชั่วโมง เหลือ 10.66 ชั่วโมง และทำให้ค่า OEE เพิ่มขึ้นจาก 61% เป็น 76% และลดของเสียจากการปรับตั้งเครื่องจักรจาก 61,347 ชิ้นเหลือ 15,688 ชิ้น คิดเป็น 74.43% และของเสียจากการผลิตลดลงจาก 728,795 ชิ้น/เดือนเหลือ 193,474 ชิ้น/เดือน คิดเป็น 73.45% วรรณกร [9] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการประยุกต์ใช้ระบบลีนในอุตสาหกรรมพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกภายในรถยนต์ พบว่า ผู้ผลิตระดับ Tier2 ประสบความสำเร็จมากกว่า Tier 3 จากนำเครื่องมือของลีนและระบบลีนไปใช้แล้ว สามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพได้ด้วยเครื่องมือหลัก คือ Quick changeover, Balance Production, TPM, Lean Accounting System และ Engineering พัฒสุภา [10] ได้นำเทคนิคการลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักร (SMED) และการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยเทคนิค 5 Why analysis ไปใช้ในกรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเลคทรอนิกส์แห่งหนึ่ง ผลที่ได้จากการปรับปรุงพบว่า เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของเครื่องวางอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์บนชิ้นงานลดลงจากเดิม 69.50% และผลที่ได้จากเครื่องจักรที่เพิ่มขึ้น 2,097,150 บาทต่อเดือนต่อสายการผลิตและต้นทุนการผลิตลดลง 61,354 บาทต่อเดือนต่อสายการผลิต และจินตนา [11] ก็นำเทคนิค SMED ไปใช้ เพื่อลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรกับอุตสาหกรรมการฉีดท่อพลาสติกทำให้สามารถลดเวลาการตั้งเครื่องภายในจากเดิม 80 นาที เหลือ 0 นาที และใช้แนวทางการกำจัดการปรับตั้งมาปรับปรุงการตั้งระดับล้อในถังแว๊คคัมและการตั้งระยะเส้นผ่านศูนย์กลางลูกกลิ้งขึ้นรูปท่อ สามารถลดขั้นตอนย่อยเดิมที่มี 64 ขั้นตอน เหลือ 52 ขั้นตอน ผลจากการปรับปรุงพบว่า สามารถลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรจากขั้นตอนการทำงานแบบเดิม 120.4 นาที เหลือ 47.5 นาที สามารถลดเวลาจากเดิมลงได้ 72.9 นาที คิดเป็น 60.5%

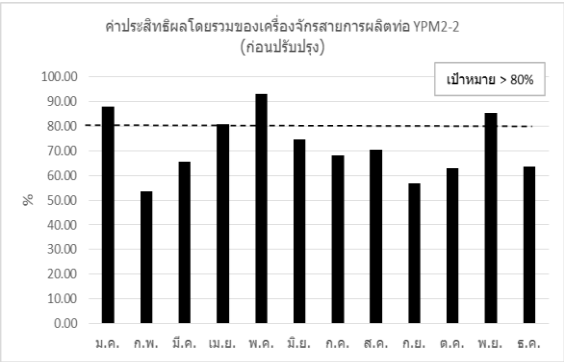
และยังได้จัดทำมาตรฐานการทำงานเพื่อให้ใช้งานต่อไปด้วย

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

เนื่องจากทางโรงงานยังไม่เคยมีการวัดประสิทธิผลของการใช้งานเครื่องจักรมาก่อน แต่มีการนำกิจกรรม TPM เป็นส่วนใหญ่ในทุก ๆ สายการผลิต ดังนั้นเพื่อให้การค้นหาโอกาสในการปรับปรุงง่ายขึ้น จึงได้ทำการเก็บข้อมูลเพื่อวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรมาใช้กับสายการผลิตตัวอย่างที่ต้องการศึกษา (สายการผลิต YPM2-2) ก่อนปรับปรุงมีค่า A,P,Q และ OEE แสดงได้ดังรูปที่ 2 โดยมีค่า OEE เฉลี่ยอยู่ที่ 72.85% ค่า A เฉลี่ย = 94.27% ค่า P เฉลี่ย = 79.25% และ Q เฉลี่ย = 97.51% แต่เป้าหมายของทางโรงงานคือ OEE = 80%





รูปที่ 2 ค่า A,P,Q และ OEE ของสายการผลิตท่อ YPM2-2 ปี 2556

3.2 การปรับปรุงแก้ไขปัญหา

ขั้นตอนต่อไปคือการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยหลักการความสูญเสียอันยิ่งใหญ่ของเครื่องจักร (6 Big Losses) พบว่า ความพร้อมใช้งาน (Availability) ต่ำจะมีสาเหตุมาจากเครื่องจักรเกิดเหตุขัดข้องบ่อย เกิดการหยุดเครื่องจักรนาน(Downtime) เพราะรอซ่อมหรือใช้เวลาซ่อมนานเกินไป และทางโรงงานได้มีการทำกิจกรรมการบำรุงรักษาที่ทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance, TPM) อยู่แล้ว ส่วนการเสียเวลาเริ่มเดินเครื่องจักรนาน (Startup loss) ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็วและเทคนิคการควบคุมด้วยสายตา(Visual control) เมื่อทำการเก็บข้อมูลของสายการผลิตท่อ YPM 2-2 มีเวลาสำหรับการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรทั้งสิ้น 410 นาที (6.83 ชม.) ดังตารางที่ 1 จากนั้นจึงได้ออกแบบแผ่น Shim gauge เพื่อช่วยในการตั้งระยะช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง (Roller) เพื่อให้สามารถทำการปรับละเอียด (Fine tuning) ได้ทันที ไม่จำเป็นต้องปรับหยาบ (Rough tuning) ซึ่งเสียเวลามาก อีกทั้งยังส่งผลให้ของเสียที่เกิดขึ้นจากการปรับตั้งฯ น้อยลงตามลำดับ ทำให้ค่าอัตราคุณภาพสูงขึ้นตามมา และใช้เทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (Quick changeover) เพื่อวิเคราะห์ว่ามีขั้นตอนที่สามารถกำจัด หรือลดเวลาได้ โดยใช้ไฟสัญญาณ (Andon)

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องจักร (ก่อนปรับปรุง)

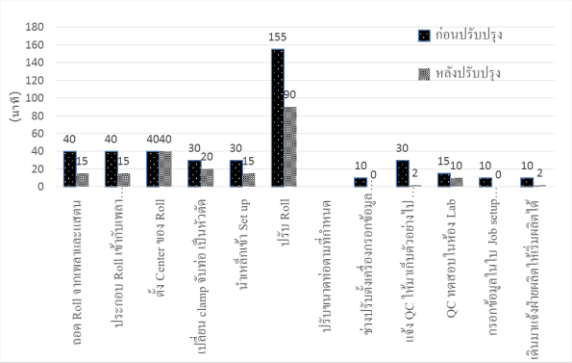
ลำดับที่	ขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องจักร (ก่อนปรับปรุง)	นาที
1	ถอด Roll จากเพลาและแสตน	40
2	ประกอบ Roll เข้ากับเพลา และ แสตน	40
3	ตั้ง Center ของ Roll	40
4	เปลี่ยน clamp จับท่อ เป็นหัวตัด	30
5	นำเหล็กเข้า Set up	30
6	ปรับ Roll	155
7	ปรับขนาดท่อตามที่กำหนด	
8	ช่างปรับตั้งเครื่องกรอกข้อมูลในใบ Job setup	10
9	แจ้ง QC ให้มาเก็บตัวอย่างไปทดสอบในห้อง lab	30
10	QC ทดสอบในห้อง Lab	15
11	กรอกข้อมูลในใบ Job setup และเซ็นอนุมัติ	10
12	เดินมาแจ้งฝ่ายผลิตให้เริ่มผลิตได้	10
	รวมเวลาทั้งสิ้น	**410**

ในขั้นตอนการสื่อสารระหว่างฝ่ายผลิตและฝ่ายควบคุมคุณภาพในการอนุมัติให้เริ่มเดินเครื่องจักรผลิตแทนการเดินไปมา และตัดขั้นตอนการทำเอกสาร Job setup sheet เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่ไม่มีคุณค่า และทำการออกแบบและสร้างรถสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร (Setup car) ที่มีอุปกรณ์สำหรับการปรับตั้งพร้อมใช้ และสามารถใส่ลูกกลิ้งและอะไหล่ที่ต้องมีการเปลี่ยนซึ่งมีน้ำหนักมาก เมื่อนำมาใช้ก็ทำให้เกิดความสะดวกและลด

ความสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหวของช่างปรับตั้งฯ ได้เป็นอย่างดี ลดความเมื่อยล้าและทำให้เกิดความรวดเร็วในการปรับตั้งฯมากขึ้น ขณะเดียวกันการที่จะเพิ่มค่าสมรรถนะ (Performance) ให้สูงขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการหยุดเครื่องเล็ก ๆ น้อย ๆ (Minor stoppage) ก็ได้ใช้กิจกรรมการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous maintenance) อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ปัญหาการหยุดเครื่องนี้ลดลง ส่งผลให้ขั้นตอนการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรลดลง 2 ขั้นตอน และเวลาโดยรวมลดลงเหลือ 209 นาที ตามตารางที่ 2 และรูปที่ 3 คิดเป็นลดลง 49.02%

ตารางที่ 2 ขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องจักร (หลังปรับปรุง)

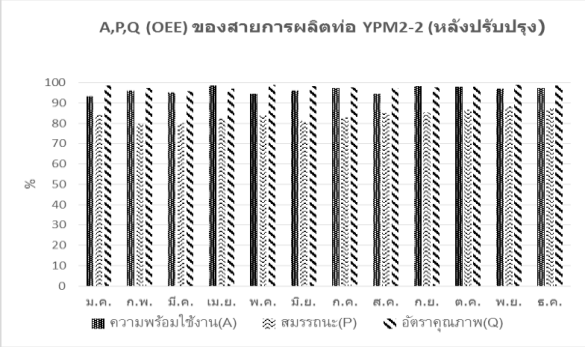
ลำดับที่	ขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องจักร (หลังปรับปรุง)	นาที
1	ถอด Roll จากเพลาและแสตน	15
2	ประกอบ Roll เข้ากับเพลา และ แสตน	15
3	ตั้ง Center ของ Roll	40
4	เปลี่ยน clamp จับท่อ เป็นหัวตัด	20
5	นำเหล็กเข้า Set up	15
6	ปรับ Roll	90
7	ปรับขนาดท่อตามที่กำหนด	
8	ฝ่ายผลิตแจ้ง QC ด้วยไฟสัญญาณ	2
9	QC ทดสอบในห้อง Lab	10
10	ฝ่าย QC แจ้งฝ่ายผลิต อนุมัติเริ่มเดินเครื่องจักร	2
	รวมเวลาทั้งสิ้น	**209**

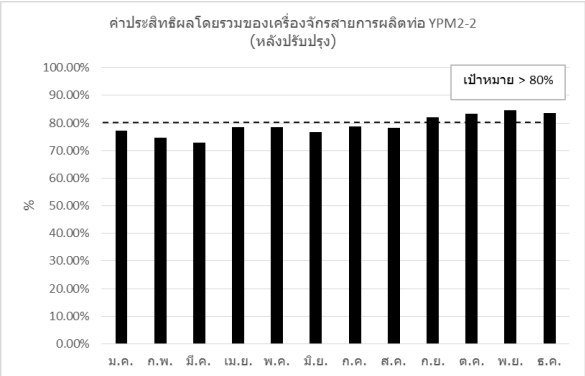


รูปที่ 3 เวลาในการปรับเปลี่ยนเครื่องจักร (นาที/ครั้ง) ก่อนและหลังการปรับปรุงของสายการผลิต YPM2-2

4. ผลการดำเนินงาน

หลังจากได้ดำเนินการปรับปรุงโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือของลีนตามที่กล่าวในข้อที่ 3 แล้วทำการเก็บข้อมูลติดตามผลอีกทีพบว่า ทำให้ค่า OEE และ ค่า A,P,Q เพิ่มขึ้นตามรูปที่ 4 โดยค่า A เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิม 94.27% เป็น 96.32% ค่า P เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิม 79.25% เป็น 83.91% และ Q เฉลี่ยจากเดิม97.51% เป็น 97.79% โดยมีค่า OEE เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิม 72.85% เป็น 79.06% คิดเป็นเพิ่มขึ้น 10.05% เวลาในปรับเปลี่ยนเครื่องจักรแต่ละครั้งลดลงจาก 410 นาที (6.83 ชม.) เหลือ 209 นาที (3.48 ชม.) ลดลง 49.02%





รูปที่ 4 ค่า A,P,Q และ OEE ของสายการผลิตท่อ YPM2-2 ปี 2557

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร เพื่อค้นหาโอกาสในการกำจัดความสูญเปล่า และความสูญเสียของเครื่องจักรตามแนวคิดของลีน และประยุกต์ใช้เครื่องมือของลีนที่สามารถดำเนินการได้ด้วยต้นทุนที่ไม่มาก ทำให้สามารถเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรเป็นเวลาการผลิตแทนได้ถึง9,648 นาที/ปี (160.8 ชม./ปี) ทำให้สามารถกำลังการผลิตต่อปีได้ 48,240 เส้น คิดเป็นมูลค่ายอดขายที่สามารถเพิ่มขึ้นได้ 10,323,360 บาท/ปี และประหยัดเงินลงทุนในการขยายสายการผลิตได้ประมาณ 522,926.83 บาท/ปี ทำให้โรงงานจำเป็นต้องลงทุนเพิ่มจำนวนมากกับการขยายกำลังการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องของโรงงานคอทโก้ เมททอลเวอร์ท จำกัด ที่สนับสนุนทั้งข้อมูลและการอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Grey L., “Made-to-order Lean: Excelling in a High-Mix, Low-Volume Environment”, Productivity Press, 2007

[2] Productivity Development Team, ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร(OEE for Operators: Overall Equipment Effectiveness), สำนักพิมพ์ อี.ไอ.สแควร์, 2550

[3] Productivity Development Team, การปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (Quick changeover for Operator), สำนักพิมพ์ อี.ไอ.สแควร์, 2550

[4] นพเก้า และ สุกัญญา ตีรวุฒิพร, “พลังการสื่อสาร เพิ่มประสิทธิภาพองค์การ (Visual control)”, หจก.ซีโนดีไซน์, 2546

[5] ซานโตส, ฮาเวียร์, “ปรับปรุงการผลิต ด้วยแนวคิดแบบลีน (Improving Production with Lean Thinking)”, สำนักพิมพ์ อี.ไอ.สแควร์, 2551

[6] Productivity Development Team. ไคเซน (Kaizen for the Shopfloor), สำนักพิมพ์ อี.ไอ.สแควร์ 2550.

[7] Productivity Development Team. การผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-in-Time for Operator), สำนักพิมพ์ อี.ไอ.สแควร์, 2550

[8] ณัฐพงศ์และคณะ, “Developing quick changeover with green lean indicator in the sanitary napkin production” , ปริญญานิพนธ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2555

[9] วรรณกร บัวเนียม, การเปรียบเทียบการประยุกต์ใช้ระบบลีนระหว่าง Tier2 และ Tier3 ในอุตสาหกรรมพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกภายในรถยนต์, วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1, ตุลาคม 2555-มีนาคม 2556

[10] พัฒสุภา ศรีคันธะรรักษ์, การลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์ลงบนชิ้นงาน (Mounting machine) กรณีศึกษา บริษัทฟูจิคูระอิเล็กทรอนิกส์ ประเทศไทย จำกัด โรงงานปราจีนบุรี, ปัญหาพิเศษหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553

[11] จินตนา ไชยคุณ, การศึกษาวิธีลดเวลาการสูญเสียในการปรับตั้งเครื่องจักรของกระบวนการฉีดท่อพลาสติกด้วยเทคนิค SMED กรณีศึกษาอุตสาหกรรมการผลิตท่อพลาสติก, ปัญหาพิเศษหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553

กลุ่มที่ 4

Green and Sustainable Technology Management

Feasibility Study of Investing in Ethanol Plants Using Cassava: Case study in Vietnam

Kamolwan Deeswasmongkol*, Naraphorn Paoprasert, Punnamee Sachakamol
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Kasetsart University, Bangkok, 10900
E-mail: townintownmsn@hotmail.com

Abstract
The objective of this study was to analyze the feasibility of investing in ethanol plants. This ethanol plant project in Vietnam consumes 240,000 tons of cassava chips/year. Local bio-mass resources are the main fuel source for steam boilers to provide power and steam for the plant. A water treatment plant with a daily capacity of 8,000 m^3 will be constructed on the plant's campus. Base power is generated by re-using organic wastewater from an ethanol plant in Thailand. Electricity for production will be supplied by Binh Phuoc Electricity through a separate 22 KV power grid from an anaerobic waste water treatment system to produce methane. The plant's crude CO_2 product (approximately 140 tons/day) will be purchased to produce pure CO_2 for sale in the domestic market and for export. An additional income source is derived from a Certificate of Emission Reductions (CER). The plant is expected to produce 100,000 tons of CERs/year. Wet cake, one of the plant's by-products with daily output of approximately 220 tons, will be collected and used in bio-fertilizer production to solve the environmental issue of foul smell and it will take full advantage of the by-products of the process. The project will cost 1,493 billion VND and will be completed in 18 months. Total investment in equipment and machines is approximately 1, 242 billion VND. At a discount rate of 13 percent, the present positive net value is 239 billion VDN. The internal rate of return is 19 percent and the payback period is 9 years. Sensitivity analysis focused on variations of ethanol price, capital investment and production capacity ± 10 percent for each factor. Results show that this project is suitable for investment in sustainability development.

Keywords: Feasibility Study, Bio-gas, Water Treatment Process, Power Plant and Engineering Economics.

1. Introduction

The Prime Minister of Vietnam has approved the "Proposal for bio-fuel development to 2015 with the vision to 2025" [1] in an effort to ensure energy security, to promote environmental protection and stimulate economic development in marginal and disadvantaged areas. This article discusses the activities of governmental organizations and enterprises building a road map for bio-fuel use in Vietnam. It also formulates a legal framework and policies for production promotion. The research demonstrates a model for bio-fuel production and distribution as well as for the government's investment projects in bio-fuel development until 2025.

2. Literature review

The cassava in Vietnam has expanded in recent years because of high demand from

starch factories and for the export of dry chips [2]. Although suitable land for cassava cultivation is still available, the Vietnamese government discourages cassava expansion because of soil degradation and water pollution from cassava processing. In 2013, there were 650,000 hectares of cassava under cultivation with an output of 9.4 million tons.

In June 2015, the selling price of ethanol was approximately 13,610 VND per liter while the ethanol production cost of domestic companies was approximately 5,215.50 VND per liter in 2015 [3]. With the higher price of ethanol relative to the international market, export scenarios are not possible.

Policy incentives are increasingly promoting the development and expansion of advanced bio-fuel production; adaptions of the two-variable model presented in this article will be useful for future policy analysis [4]. Given the development and expanded production of cellulosic feed stock for bio-energy production, the predicted price levels and volatilities of these feed stocks are relatively uncertain.

Sensitivity analysis of a range of feed stock volatilities and investment costs will be important to consider in the development of this industry. In addition, the ability of current corn-based ethanol facilities to retrofit their operations to accommodate alternative feed stock may have particular relevance to optimal entry and exit conditions for firms.

The use of bio-fuel as an alternative for fossil-fuel products may have both positive and negative impacts on food security and climate change abatement [5]. Therefore, scaling-up bio-fuel development must be considered carefully and objectively, based on specific practices and perceptions in Vietnam. The “Scheme on Development of Bio-fuels up to 2015 with the Vision to 2025” only provides a general orientation of the targets for each period and a prioritized list of activities. A road map for bio-fuel development is expected to be completed soon in order to provide detailed instructions for necessary steps to achieve the set targets. A workable plan for implementation will follow. Sources of funding for bio-fuel projects also need to be well defined. The lack of human resources needed for bio-fuel production, including skilled workers and senior technical experts in related areas also limit the capacity of R&D and production.

3. Methodology

3.1 Scope of boundaries

The case study plant is located in Minh Hung commune, Bu Dang district of Binh Phuoc province. It is located on the side of Thac Mo hydropower reservoir along National Highway No.14. Binh Phuoc province has a tradition of cassava planting and ranks third nationwide for cassava output, after Tay Ninh and Gia Lai provinces. The semi-flooded area of Thac Mo reservoir and the belt area provide a direct cassava supply for the plant. National Highway No.14 is the transportation route for cassava chips from the Highlands through Binh Phuoc to Binh Duong and Dong Nai. This route supplies animal food plants and export through Sai Gon port. Binh Phuoc province possesses a reliable road network and a dynamic investment environment as it belongs to the thriving economic zone of the Southeast region of Vietnam. Provincial and district governments have been creating all possible favorable conditions for project preparation.

The ethanol plant consumes 240,000 tons of cassava chips/year or around approximately 22,000 tons/month on average. To ensure a stable material source, the plant will coordinate the establishment of a wide procurement network covering Binh Phuoc province, Dac Nong province and Cambodia with investment in an intensive farming area of cassava around Thac Mo reservoir including 8 communes of Bu Dang and Phuoc Long districts. The plant also plans to develop a material area in provinces bordering Cambodia and opposite Hoa Lu and Ta Vat border gates (in Loc Ninh district) and Hoang Dieu (Bu Dop district,

Binh Thuan province) to provide significant input material to the plant.

According to the plan, after 4 years of operation (2020), the plant will be able to supply 45 percent of material demand with cassava from its own material areas. The main fuel source for steam boilers to provide power and steam for the plant is local bio-mass resources, which include oil-extracted cashew nut shells, wood chips (from wood processing plants), rubber and cashew firewood. These fuel resources are quite abundant in Binh Phuoc province. The plant's fuel demands will be wholly met by locally available and low cost bio-mass fuel resources.

A water treatment plant with a daily capacity of 8,000 m^3 will be constructed on the plant's campus. Electricity for production will be supplied by Binh Phuoc Electricity through a separate 22 KV power grid.

The plant's crude CO_2 product (of approximately 140 tons/day) will be purchased by professional buyers to produce pure CO_2 for sale in the domestic market and for export. The Messer industrial gas company has been chosen as the contractor to purchase the plant's CO_2 production. The company is investing in a pure CO_2 processing plant for liquid and solid forms used in food processing and industrial engineering. The CO_2 plant will be designed, constructed and completed alongside progress at the plant.

An additional source of income for the plant will be earned through Certificate of Emission Reductions (CERs). The plant is expected to yield 100,000 tons of CERs/year. Wet cake, one of the plant's by-products with daily output of approximately 220 tons, will be collected and used in bio-fertilizer production to solve the environmental issue of foul smell and take full advantage of by-products.

The plant has material reception, storage, material preparation, a fermentation plant, a distillation plant, a dehydration plant, a waste water treatment system, an ethanol warehouse and other utilities. There is also a raw water treatment plant, plus purified CO_2 plants and bio-fertilizer plant.

Environmental protection is one of the project's top priorities. Technological processes and the waste water treatment plant have been designed to ensure meeting Vietnam's highest environmental standards for smell and waste water quality.

Total investment for the plant is budgeted at 1,493 billion VND including construction cost, land compensation, equipment, machinery, working capital and contingency expenses.

4. Results

4.1 Technical analysis

The cassava ethanol production plant comprises a main production chain and utilities. To ensure the competitiveness of the products, the technological chain must optimize investment expenses and operational effectiveness. It must strictly follow regulations for environmental protection. The authentic ability of current ethanol production technology must be analyzed, and a supplier for the technological copyright of cassava chips original ethanol production chain must be selected.

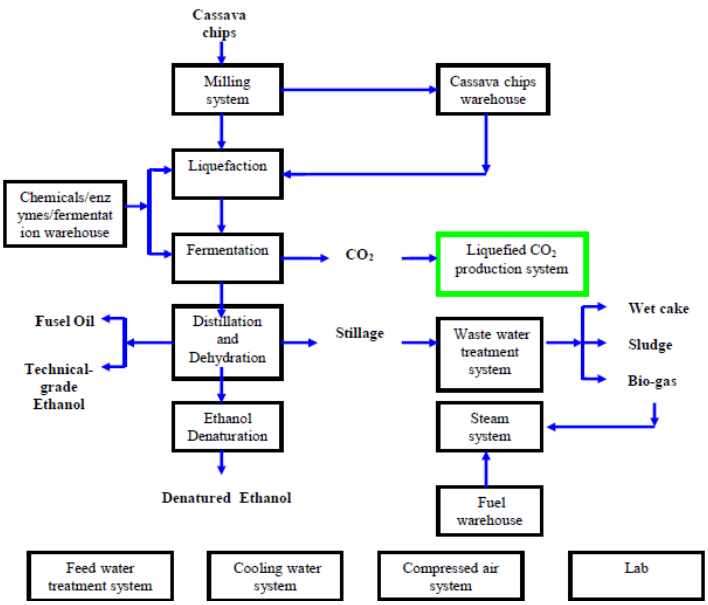


Figure 1 Production process of Ethanol Production Plant

4.2 Uncertainty analysis

4.2.1 Revenue from CO_2 recovery

Recovery and trading in CO_2 requires a transportation system, intermediate CO_2 storage stations in large markets and near customers' locations. Therefore, substantial capital investment is needed for construction of a CO_2 capture plant and distribution system. The purchase price of crude CO_2 from the ethanol plant is 272 VND/kg adjusted for inflation. With an average daily capacity of 70 tons, revenue from crude CO_2 is expected to yield 6.28 billion VND/year.

4.2.2 Clean Development Mechanism (CDM)

Clean Development Mechanism (CDM) is a mechanism that allows industrialized countries to use support measures such as funding and new technology for emission reduction projects or carbon projects in developing countries to receive credits which are called "Certified Emission Reduction" (CER). These are commonly known as carbon credits. The credits can be counted towards the emission reduction target of the financier instead of actual emission reduction, which is normally much more costly for the financier.

The feasibility of the CDM project of the ethanol plant project has been thoroughly analyzed. Accordingly, the plant will limit emissions of greenhouse gas by maximizing the use of recycled fuel sources for the plant such as bio-mass fuel (wood chips, cashew nut shells) and utilizing micro-biology technology for waste water treatment to produce bio-gas. Bio-gas is used as fuel for the steamer to replace coal, which is a non-renewable fuel source. The potential volume of CERs is approximately 100,000 tons.

4.2.3 Certified Emission Reduction:

Certified Emission Reduction (CERs) are issued by UNFCCC, a United Nations organization for climate change due to the greenhouse effect. 06 types of gas that contribute to the greenhouse effect are converted into CO_2 to calculate CERs (1 ton of CO_2 is equivalent to 1 ton of CERs) and are granted to eligible projects. To receive CERs, carbon projects must have approval from the UNFCCC. After that, CERs can be sold on the market.

4.2.4 Price of CERs and expected revenues

The price of secondary CERs fluctuate from approximately 174,415 to 436,038 VND per ton. The peak price of 436,038 VND per ton was reached in 2014. The price fell to 174,415 VND per ton in 2015 due to global financial crisis. Currently, the price is 345,370 VND per ton. As proposed by CDM consultants, the price for secondary CERs is 296,030 VND. The price of the plant's CERs is estimated at 80 percent of secondary CERs. The CERs are priced at 236,830 VND per ton. Thus, CER revenue for one year is expected to reach 23 billion VND. Revenue of the following years will vary along with the fluctuation of the price of secondary CERs.

4.3 Financial analysis

Total investment for equipment and machines is approximately 1,242 billion VND. Total investment for the project is summarized in Table 1 below:

Table 1 Total investment for the project

No.	ITEM	COST (including tax, billion VND)	Percentage
1.	Land-related cost and preparation before construction	33.083	2.2%
2.	Construction and civil works	409.553	27.4%
3.	Equipment and machines for the plant and office	667.135	44.7%
4.	Indirect investment (vehicles and housing for workers)	58.334	3.9%
5.	Administration expenses	39.344	2.6%
6.	Test running expenses	44.187	3.0%
7.	Capital and interest arrangement expenses	117.481	7.9%

	during construction		
8.	Contingency	123.536	8.3%

The plant will achieve annual revenue of over one thousand billion VND upon operation at full capacity in 2019, employing nearly 245 direct workers and contribute over 20 billion VND/year to the state budget (excluding VAT and PIT).

The plant will create a stable market for approximately 10,000 cassava farming households in Binh Phuoc and Dac Nong provinces. The plant's operation will fundamentally change the economic conditions of Bu Dang district and make a significant contribution to rural economic development and economic mechanism transformation. The main financial indicators of the project are summarized in the following table:

Table 2 Main financial indicators of the project

No.	Indicator	Unit	Value
1.	Total investment	Billion VND	1,493
2.	Including: Rising fund	Billion VND	448
3.	Loan	Billion VND	1,045
	Domestic currency interest (first year)	%	13%
	VND interest (first year)	%	6%
4.	Loan interest during construction	Billion VND	115
5.	Payback due date	Year	9
6.	Plant capacity	Thousand liters/day	300
7.	IRR	%	19%
8.	Interest rate in purchasing price (average in 20 years)	%	9.1%
9.	Net Present Value (NPV) (with discount rate of 13%)	Year	9
10.	Payback period (discount rate of 13%)	Year	9.8
11.	Payback period (regardless of discount)	Year	6.9

5. Sensitivity Analysis

5.1. Sensitivity analysis of the ethanol whole purchase price relative to changes in the cassava material price (see Table 3).

The cost of cassava chips accounts for approximately 45 percent of the whole purchase price of ethanol. According to the base scenario, the purchase price of cassava material for the plant in 2018 will be VND 2,000/kg. The ethanol whole purchase price increases along with the increase in this cost. If cassava cost increases by VND 200/kg to VND 2,200/kg (about 10%), the ethanol whole purchase price will reach VND 11,141/liter (+4.5%) as shown in Table 3.

Table 3. Sensitivity of the whole purchase price to changes in dry cassava chip cost

Cassava chips	1,800	2,000	2,200	2,400	2,600	2,800	3,000	3,200	3,400	3,600
10,659	10,177	10,659	11,141	11,622	12,104	12,586	13,067	13,549	14,031	14,512

5.2 Sensitivity analysis of the ethanol whole purchase price relative to changes in the liquefied enzyme cost (see Table 4).

Yeast and enzyme account for approximately 9 percent of the whole price structure. In the base scenario, if the liquefied enzyme price is 186,900 VND/kg, the ethanol whole purchase price will be 10,659 VND per liter. If the enzyme price increases by 20,000 VND per/kg, the ethanol price will increase by 20 VND/liter.

Table 4. Sensitivity of the whole purchase price to changes in liquefied enzyme price (1:100)

liquefied Enzyme (unit x 100)	160	186.9	200	220	240	260	280	300	320	340
10,659	10,631	10,659	10,673	10,693	10,714	10,735	10,756	10,777	10,798	10,819

5.3 Sensitivity analysis of ethanol whole purchase price relative to changes in yeast price (see Table 5). In the base scenario, yeast is priced at 222,500 VND/kg and the whole purchase price is 10,659 VND/liter. If the yeast price rises to 240,000 VND/kg, the ethanol price will increase to 10,669 VND/ liter (+10 VND/liter).

Table 5. Sensitivity of the whole purchase price relative to changes in yeast price.

Yeast	160	180	222.5	240	260	280	300	320	340	360
10,659	10,622	10,634	10,659	10,669	10,681	10,693	10,705	10,717	10,729	10,741

5.4 Sensitivity analysis of the ethanol whole purchase price relative to changes in the electricity rate (see Table 6).
Electricity accounts for approximately 3 percent of the whole purchase price. If the electricity rate increases from 919 VND/kwh to 1,600 VND/kwh or approximately 74 percent, the whole purchase price will increase from 10,659 VND/liter to 10,856 VND/liter.

Table 6. Sensitivity of the whole purchase price to changes in electricity rate

electricity	900	919	1,200	1,400	1,600	1,800	2,000	2,200	2,400	2,600
10,659	10,653	10,659	10,740	10,798	10,856	10,914	10,972	11,030	11,088	11,145

5.5. Sensitivity analysis of the ethanol whole purchase price relative to changes in the steam price (see Table 7).
The plant uses steam generated from burning firewood. According to our calculations, the conversion coefficient is 320 kg of firewood per ton of steam. In the base scenario, the whole purchase price is 10,659 VND/liter at a steam price of 188,420 VND/ton, or a firewood price of 600 VND/kg. The whole purchase price will increase to 10,876 VND/kg or the firewood price increases to 800 VND/kg.

Table 7. Sensitivity of the whole purchase price relative to changes in steam price

Steam (unit x 100)	160	188.42	200	220	240	260	280	300	320	340
10,659	10,573	10,659	10,694	10,754	10,815	10,876	10,936	10,997	11,057	11,118

6. Summary

Economic analysis reveals that this project will cost 1,493 billion VND and will be completed in 18 months. Total investment for equipment and machines is approximately 1, 242 billion VND. At a discount rate of 13 percent, the positive net present value is 239 billion VDN. The internal rate of return is 19 percent and the payback period is 9 years.

Sensitivity analysis demonstrates that this project focuses on variations of ethanol price, capital investment and production capacity ±10 percent for each factor. Results show that the project responds to these factors and is still possible. Therefore, this project is a suitable investment for sustainability development.

References

[1] Decision No.177/2007/QD- TTg of the Vietnamese Prime Minister.

[2] Hoang, K., et al., 2011, Cassava for Biofuel in Vietnam. Linking the poor to global market, IFAD GRANT 971.

[3] Chicago Board of Trade (CBOT®) http://www.tradingeconomics.com/commodity/ethanol. Saturday, June 20, 2015.

[4] Todd M. Schmit, Jianchuan Luo, Loren W. Tauer. Ethanol plant investment using net present value and real options analyses. Biomass and bio-energy. Vol.33, 2009. 1442– 1451.

[5] Van Dinh Son School of Chemical Engineering, Hanoi University of Science and Technology, Vietnam, 2014

การพัฒนา ไซโคลนสครับเบอร์ แบบแรงดันน้ำสูง

The Development Cyclone Scrubber type High Water Pressure.

เรวัต ซ่อมสุข
ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
Email:Rawat_suk@hotmail.com

Rawat Sumsuk
Faculty of Technical Education ,Rajamangala University of Technology
Thanyaburi Rangsit-Nakhonnayok Rd. Klong6, Thanyaburi Pathum Thani 12110
Email:Rawat_suk@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาไซโคลนสครับเบอร์แบบแรงดันน้ำสูง ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด ฝุ่นขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน คือ ค่า L/G ratio หน้าตัดขนาดท่อสครับเบอร์และทิศทางการฉีดละอองน้ำแบบไหลตามแนวแกน จากการศึกษาสามารถออกแบบไซโคลนสครับเบอร์ โดยประกอบด้วยไซโคลนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. สูง 120 ซม. และท่อสครับเบอร์ที่มีการติดตั้งหัวฉีด แบบ สามารถฉีดละอองน้ำที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในช่วงประมาณ 300-500 ไมครอน โดยแบ่งอัตราการไหลของอากาศที่ 8.36 ลบ.ม.ต่อนาที และอัตราการฉีดน้ำที่ 1-6 ลิตรต่อนาที ผลการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค ในภาพรวมกล่าวได้ว่าระบบจะมีประสิทธิภาพสูง เมื่อค่า L/G ratio สูงขึ้น ในการปรับค่าแรงดันน้ำให้สูงขึ้น มีผลให้ปริมาณน้ำที่ใช้ลดลงสัดส่วน L/G ratio มีค่าที่น้อยลงตามลำดับ แต่ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคนั้นสูงขึ้นตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน ของไซโคลนสครับเบอร์สูงกว่าระบบบาบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันเปรียบเทียบกับระบบบำบัดมลพิษอากาศ ชนิดหอพ่นน้ำ (Spray Tower) และไซโคลนซึ่งไม่มีการฉีดละอองน้ำ คือ ร้อยละ 94.5 80.20 และ 42.70 ตามลำดับ

คำหลัก ไซโคลน สครับเบอร์แบบ, ค่า L/G ratio,แรงดันน้ำสูง

This research aims to development a cyclone scrubber type high pressure spy. Factors that affect the treatment efficiency. Dust particles smaller than 10 microns is the L/G ratio of cross-section size scrubber hose and spray water flow direction along the axis. The study design cyclone scrubber. It consists of a cyclone with a diameter of 30 cm high 120 cm and scrubber tubes that are equipped with spray nozzles to spray water at a range of about 300-500 microns in diameter divided by the flow of air to 8.36 m^3 per minute and the injection rate of 1 to 6 liters of water per minute, the test factors affecting particle removal efficiency. Overall, the system is said to be highly effective when the L / G ratio higher the water pressure is higher. As a result, water consumption reduction ratio L / G ratio is less respectively. But the high particle removal efficiency, respectively. Removal of particles less than 10 microns of cyclone scrubber higher than the treatment of air pollution that is used to compare current treatment of air pollution tower types spray (Spray Tower) and the cyclone, which is the injection of water droplets percent. 94.5 80.20 and 42.70 respectively

Keywords: cyclone scrubber, L/G ratio, high pressure spay

1. บทนำ

ไซโคลน (cyclones) เป็นอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาคอีกประเภทหนึ่งซึ่งใช้หลักการทางกลศาสตร์ (mechanical) คล้ายกับห้องตกอนุภาค แต่ไซโคลนใช้กลไกหลักในการแยกอนุภาคคือ แรงเหวี่ยงหรือแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสก๊าซหรืออากาศเกิดการหมุนวน (vortex) ขึ้นภายในตัวไซโคลน ส่งผลให้อนุภาคถูกเหวี่ยงและกระทบกับผนังของไซโคลน เนื่องจากความเฉื่อยหรือโมเมนตัม จากนั้นอนุภาคจะตกลงเบื้องล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก นิยมใช้ไซโคลนเป็นอุปกรณ์บำบัดเบื้องต้น เหมาะสำหรับใช้เก็บกักอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนขึ้นไป สครับเบอร์ (scrubbers) เป็นอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศชนิดอนุภาคซึ่งใช้ของเหลว (liquid) ในการดักจับอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีหลักการทำงานที่สำคัญคือ การทำให้อากาศเสีย (อากาศที่มีอนุภาค) ไหลผ่านของเหลว (โดยทั่วไปสำหรับการดักจับอนุภาคจะใช้น้ำ) ซึ่งการไหลผ่านของเหลวนี้สามารถทำได้หลายวิธีคือ อาจฉีดพ่นของเหลวให้เป็นละอองฝอยสู่กระแสอากาศ หรือให้กระแสอากาศไหลผ่านแผ่นฟิล์มของเหลว หรือไหลผ่านชั้นวัสดุที่มีของเหลวเคลือบอยู่ เมื่ออนุภาคที่อยู่ในกระแสอากาศเคลื่อนที่เข้าใกล้ละอองหรือหยดน้ำจะสัมผัสกับหยดน้ำเกิดกลไกในการดักจับอนุภาคที่สำคัญ 3 กลไก คือ การกระทบเนื่องจากความเฉื่อย การสกัดกั้นโดยตรง และการแพร่ (กลไกที่สำคัญที่สุดคือ กลไกกระทบเนื่องจากความเฉื่อย) ทำให้อนุภาคถูกดักจับโดยน้ำ หลังจากนั้นของเหลวหรือน้ำจะต้องถูกทำให้แยกออกจากกระแสของอากาศด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ด้วยแรงเหวี่ยงหรือแรงหนีศูนย์กลาง หรือการใช้แผ่นกั้น (baffle) เป็นต้น โดยน้ำที่แยกได้ต้องนำไปบำบัดก่อนนำกลับมาใช้ใหม่หรือระบายทิ้งต่อไป มีประสิทธิภาพในการเก็บกักอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

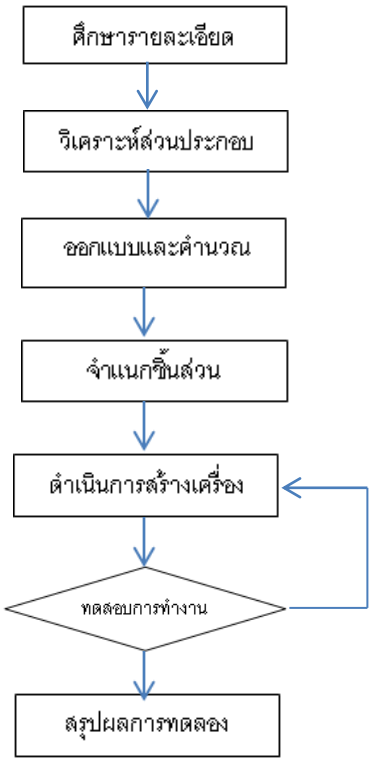
จากการศึกษา จึงได้ทราบว่าระบบไซโคลนนั้นมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน และไม่สามารถดักจับอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ผู้วิจัยจึงพัฒนาเครื่องไซโคลน ให้สามารถดักจับอนุภาคฝุ่นที่เล็กกว่า 10 ไมครอน โดยอาศัย ระบบสครับเบอร์เข้ามาช่วยในการดักจับอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก

2. สมมติฐานของงานวิจัย

ไซโคลนสครับเบอร์ แบบ แรงดันน้ำสูง เป็นเครื่องควบคุมมลพิษทางอากาศที่เหมาะสมกับการใช้งานกับอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็ก ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสครับเบอร์ คือ ขนาดหยดน้ำ การกระจายตัวของหยดน้ำ ค่า L/G ratio ขนาดอนุภาคของหยดน้ำ และลักษณะการไหลของอากาศภายในถังทดสอบ

3. วิธีการวิจัย

การออกแบบและการสร้างเครื่องดักจับอนุภาคฝุ่นแบบเปียกชนิดไซโคลนสครับเบอร์ แบบแรงดันน้ำสูง ได้มีวิธีการดำเนินงานอย่างเป็นขั้นตอนตั้งแต่การศึกษาข้อมูลต่างๆทั้งที่เป็นข้อมูลทั้งในประเทศและข้อมูลในประเทศ จากนั้นนำมาวิเคราะห์และกำหนดกรอบแนวคิดในการออกแบบ การคำนวณและการกำหนดขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ตลอดจนการเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ไปจนถึงขั้นตอนการสร้างจนสำเร็จโดยลำดับ



4. การออกแบบ และสร้างไซโคลนสครับเบอร์

แนวคิดการออกแบบเป็นการเพิ่มขีดความสามารถของไซโคลน ให้สามารถกาจัดอนุภาค ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ได้ดีขึ้น ด้วยการเพิ่มการฉีดละอองน้ำ เข้า

ไประบบ ด้วยแรงดันที่มากกว่าแรงดันปกติ เพื่อให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างก๊าซที่ปะปนกับฝุ่นทดลอง กับละอองน้ำ กำหนดค่า L/G ratio ในช่วง 1- 6 ลิตรต่อนาที เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับสครับเบอร์แบบแรงดันน้ำสูง (เรวัต ซ่อมสุข, 2557)

รูปที่ 1 การพัฒนาชุดทดลองพัฒนาไซโคลน สครับเบอร์แบบแรงดันน้ำสูง

สำหรับโครงสร้างไซโคลนสครับเบอร์แบบแรงดันน้ำสูง นำสแตนเลสแผ่นมาม้วนกลมที่มีขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร (Stairmand, C.J.,1951) ทำการเจาะรู 100 มิลลิเมตร ทำช่องทางเข้าของลมและหน้าแปนยึด

รูปที่ 2 การสร้างถังไซโคลน สครับเบอร์แบบ แรงดันน้ำสูง และการตำแหน่งการว่างท่อส่งน้ำ

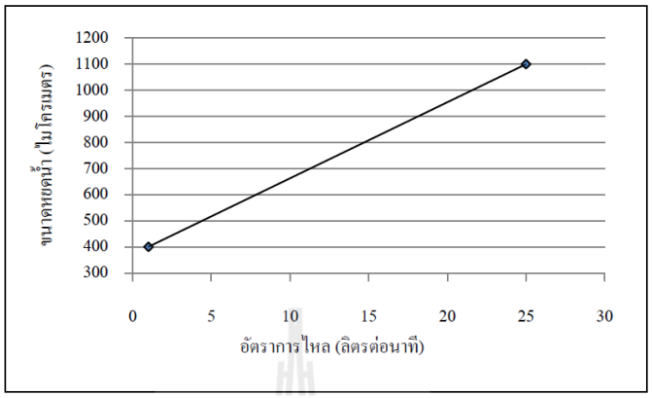
5. การทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสครับเบอร์

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษา การพัฒนาไซโคลนสครับเบอร์ แบบแรงดันน้ำสูง เพื่อใช้งานกับการดักจับอนุภาคขนาดเล็กดัง เช่น การศึกษานี้ ดังนั้นหลังจากที่ได้ออกแบบ และสร้างไซโคลนสครับเบอร์แล้วนั้น จึงทำการทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนครับเบอร์ที่พัฒนาขึ้น เพื่อทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศ เน้นฝุ่นอนุภาคต่ำกว่า 10 ไมครอน พิจารณาค่า L/G ratio โดยขั้นตอนทดสอบประสิทธิภาพดังต่อไปนี้

5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1) เลือกใช้หัวฉีดแบบเดือยหมูขนาด 120 องศา (Full Cone Spray Nozzle) หัวฉีดสเปรย์ทรงกรวยเต็ม ลักษณะของสเปรย์จะเป็นทรงโคน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเพิ่มกระจายตัวของอนุภาคของของเหลว โดยการทำให้เป็นละออง คาดหวังการเพิ่มพื้นที่หน้าสัมผัส สามารถเลือกทั้งแบบมุมสเปรย์ธรรมดาและแบบมุมกว้าง ทำให้ฉีดน้ำได้เป็นวงกลมเต็มพื้นที่ ประโยชน์ของหัวฉีดน้ำแบบทรงกรวยเต็มมักจะใช้เพื่อดักฝุ่น ลดความร้อน จากข้อมูลของบริษัท Lecher Co.Ltd.(www,2011) แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำที่ผ่านหัวฉีดชนิด Full cone nozzle ที่ความดันของน้ำ 2 บาร์ ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ดังรูปที่ 4

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างหัวฉีดเดือยหมู “Full Cone Spray Nozzle”



รูปที่ 4 แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำที่ผ่านหัวฉีดชนิด Full cone nozzle ที่ความดันของน้ำ 2 บาร์

2) โบเวอร์ดูดอากาศ
3) ปั๊มน้ำให้ขนาดแรงดัน 80-120 บาร์
4) ชุดตัวถังขนาดรัศมีภายใน 300 มิลลิเมตร

5) แผ่นดักจับละอองน้ำ

6) ฟิลเตอร์ขนาด 18 ไมครอน และ 40 ไมครอน

7) จัดเตรียมอุปกรณ์ เช่น ไขควง คีมล็อค ประแจ

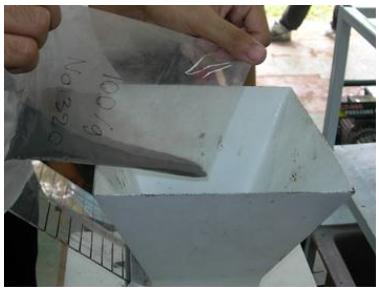
8) จัดเตรียมนาฬิกาจับเวลา เพื่อทำการจับเวลาในการทดสอบ

9) จัดเตรียมเครื่องชั่งดิจิตอล และเครื่องมือจับเวลา

5.2 การทดสอบวัดค่าความเร็วลม เพื่อคำนวณอัตราการไหลของอากาศ จากชุดทดลอง ประสิทธิภาพการพาฝุ่นละอองเข้าสู่ระบบ

ทำการวัดค่าแรงลมด้วยเครื่องแอนีโมมิเตอร์และเก็บผลทดสอบตามค่าที่กำหนด เป็นจำนวน 10 ครั้งในแต่ละค่า คำนวณประสิทธิภาพการพาฝุ่นละอองเข้าสู่ระบบ หาค่าที่ดีสุดเพื่อใช้ในการทอลอง ซึ่งค่าที่บึกทึกได้ ทดสอบการปล่อยฝุ่น 17.2 เมตรต่อนาที นำฝุ่นละอองเข้าสู่ระบบดีที่สุด

รูปที่ 5 การตรวจวัดค่าแรงลมด้วยเครื่องแอนีโมมิเตอร์



รูปที่ 6 นำผงอลูมินั่มออกไซด์ใส่ชุดห้องทดสอบ

ตารางที่ 1 ผลการทดลองหาปริมาณผงฝุ่นอลูมินั่มออกไซด์ 100ไมครอน ที่เข้าสู่ถังทดลอง

ระยะช่องเปิด (mm)	ปริมาณฝุ่นที่ใส่ (g)	ปริมาณฝุ่นอลูมินั่มที่เข้าระบบ (g)			เฉลี่ย (g)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
10	100	31.82	39.97	37.22	36.34
20	100	53.21	54.03	58.86	55.37
30	100	52.11	53.92	59.31	55.11
40	100	74.64	75.91	72.44	74.33
50	100	49.06	48.72	43.56	47.11
60	100	60.34	65.3	69.52	65.05
70	100	58.06	52.68	55.4	55.38
80	100	48.03	46.98	45.66	46.89
90	100	49.55	48.35	48.76	48.88
100	100	32.93	38.79	37.6	36.44

5.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการดักฝุ่น

การทดสอบประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นขนาด 30, 80 และ 100 ไมครอน ที่แรงดันน้ำขนาด 80 100 และ 120 บาร์ วัดประสิทธิภาพในการดักฝุ่นโดยการสังเกตจากขนาดอนุภาคที่เกาะติดฟิลเตอร์ ขนาด 18 และ 40 ไมครอน สามารถดักจับได้ต่อ 1 ตารางหน่วย

แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 การทดสอบดังนี้

1) ผงฝุ่นอลูมินั่มขนาด 30 ไมครอน ขนาดฟิลเตอร์ 18 ไมครอน แรงดัน 80 100 และ 120 บาร์

2) ผงฝุ่นอลูมินั่มขนาด 80 ไมครอนขนาดฟิลเตอร์ 40 ไมครอน แรงดัน 80 100 และ 120 บาร์

3) ผงฝุ่นอลูมินั่มขนาด 100 ไมครอน ขนาดฟิลเตอร์ 40 ไมครอน แรงดัน 80 100 และ 120 บาร์

เริ่มการทดสอบการเปิดระบบการดูดอากาศตามอัตราการไหลของอากาศที่ได้ตามข้อ 4.2 และจ่ายแรงดันน้ำ ปรับแรงดันให้ได้ตามค่าที่กำหนดคือ 80, 100 และ 120 บาร์ ค่อยๆ ปล่อยฝุ่นจำนวน 100 กรัม เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้อากาศเป็นตัวกลางพาฝุ่น เข้าไปในระบบ โดยกำหนดอัตราการไหลของอากาศที่ 17.2 เมตรต่อนาที จากนั้นนำฟิลเตอร์ที่ติดปลายทางออกไปอบแห้งเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง เพื่อหาขนาดของอนุภาคฝุ่นที่ดักจับได้ใน 1 ตารางหน่วยด้วยกล้อง Microscope ต่อไป

ตารางที่ 2 ปริมาณฝุ่นโลหะที่เข้าสู่ถังทดลอง

ขนาดของฝุ่นโลหะ (μm)	ปริมาณฝุ่นโลหะที่เข้าสู่ถังทดลอง (g)	ค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นโลหะที่เข้าสู่ถังทดลอง (g)
100	100	74.33
80	100	66.54
30	100	48.97

หลังจากนั้นนำค่าที่เหลือ มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของสภาวะนั้น ๆ จึงนาไปทดสอบสมมติฐานต่อไปนี้ ค่า L/G ratio แบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีค่า L/G ต่ำ และกรณีค่า L/G สูง ได้แก่

H0 : กรณี L/G ratio ต่ำ มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับกรณี L/G ratio สูง

H1 : กรณี L/G ratio ต่ำ มีค่าประสิทธิภาพน้อยกว่ากรณี L/G ratio สูง

6. ผลการการทดสอบประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่น

1) การคำนวณหาน้ำหนักโดยเฉลี่ยของผงฝุ่นแต่ละขนาดที่เข้าไปในระบบชุดทดสอบ ภายในระยะเวลาทดสอบ 10 นาที

2) เพื่อหาขนาดของอนุภาคฝุ่นอลูมินั่มปริมาณ 100 กรัม ที่สามารถดักจับได้ในตาราง 1 หน่วยของฟิลเตอร์ขนาด 18 ไมครอน ภายในเวลา 10 นาที โดยที่ขนาดของช่องทดสอบและแรงลมเท่ากับ 17.2 เมตรต่อนาที ตามลำดับ

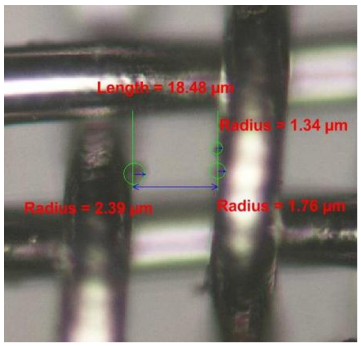
3) ความเข้มข้นของผงฝุ่นอลูมินั่มขณะไหลผ่านช่องดูดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 270 m^3 เมื่อปริมาณของผงฝุ่นที่เทใส่เข้าไปในระบบเท่ากับ 100 กรัม จะมีความเข้มข้นของฝุ่นขณะผ่านช่องดูด เท่ากับ 0.37 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 3 ผลการการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดฝุ่นโลหะ

ขนาดฝุ่นโลหะ (μm)	ค่าแรงดันน้ำ (bar)	ปริมาณฝุ่นโลหะเข้าถัง(g) เฉลี่ย	ปริมาณฝุ่นโลหะออก(g)	ขนาดอนุภาคเกาะที่ฟิลเตอร์ (μm)
100	80	74.33	NA	2.6-4.8
	100		NA	
	120		NA	
80	80	66.54	NA	2.6-4.8
	100		NA	
	120		NA	
30	80	48.97	NA	2.6-4.8
	100		NA	
	120		NA	

3) เพื่อหาขนาดของอนุภาคฝุ่นอลูมินั่มปริมาณ 100 g ที่สามารถดักจับได้ในตาราง 1 หน่วยของฟิลเตอร์ขนาด 40 ไมครอน ภายในเวลา 10 นาที โดยที่ขนาดของช่องทดสอบและแรงลมเท่ากับ 17.2 เมตรต่อนาที

จากผลการทดสอบในตารางที่ 3 พบว่าอนุภาคฝุ่นที่สามารถหลุดรอดออกมาจากการดักจับด้วยระบบสครับเบอร์ นั้นมีขนาดอยู่ระหว่าง 2.6-4.8 ไมครอน นับจำนวนอนุภาคฝุ่นที่เกาะบนฟิลเตอร์โดยเฉลี่ยได้จำนวน 4 อนุภาค ต่อ 1 ตารางหน่วย และไม่พบอนุภาคของฝุ่นขนาด 30 80 และ 100 ไมครอน เกาะบนฟิลเตอร์ แสดงว่า ระบบแรงดันน้ำที่ใช้ความเร็วของน้ำที่แรงดัน 80 100 และ 120 บาร์ มีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นขนาด 18 μm ขึ้นไปได้มากกว่า 90%



รูปที่ 7 ภาพจากกล้อง Microscope แสดงให้เห็นถึงการเกาะติดของอนุภาคฝุ่นบนฟิลเตอร์ขนาด 18 ไมครอน (กำลังขยาย 20X)

ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคนั้นสูงขึ้นตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน ของไซโคลนสครับเบอร์สูงกว่าระบบบาบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในเปรียบเทียบกับระบบบำบัดมลพิษอากาศ ชนิดหอพ่นน้ำ (Spray Tower) และไซโคลนซึ่งไม่มีการฉีดละอองน้ำ คือ ร้อยละ 94.5 80.20 และ 42.70 ตามลำดับ

การทดสอบผลของอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับอัตราการไหลของอากาศ (L/G) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดผงฝุ่นอลูมินั่ม

1) จากการคำนวณอัตราการไหลของอากาศ ได้อัตราการไหลของอากาศขณะทดสอบ เท่ากับ 295.24 ft^3/ min หรือ 8.36 m^3/min

2) อัตราการไหลของของเหลว (น้ำ) ใน 1 นาที ตารางที่ 4 อัตราการไหลของของเหลว (น้ำ) ต่อ 1 นาที ค่าแรงดันน้ำ

3) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน L/G ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น อัตราส่วน L/G สามารถคำนวณได้ดังนี้

การทดสอบผลของอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับอัตราการไหลของอากาศ (L/G) ต่อประสิทธิภาพการกำจัดผงฝุ่นอลูมินั่ม

ตารางที่ 4 อัตราการไหลของของเหลว (น้ำ) ต่อ 1 นาทีค่าแรงดันน้ำ

แรงดัน (บาร์)	อัตราการไหล (L/min)
80	6.54
100	6.27
120	5.68

ที่แรงดัน 80 บาร์ อัตราส่วน L/G $\frac{6.54\ \mathrm{L/min}}{295.24\ \mathrm{ft3/min}}$ = 0.0221

ที่แรงดัน 100 บาร์อัตราส่วน L/G $\frac{6.27\ \mathrm{L/min}}{295.24\ \mathrm{ft3/min}}$ = 0.0212

ที่แรงดัน 115 บาร์อัตราส่วน L/G $\frac{5.68\ \mathrm{L/min}}{295.24\ \mathrm{ft3/min}}$ = 0.0192

7. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบที่แรงดัน 80 100 และ 115 bar จะเห็นว่าที่แรงดันสูงขึ้นอัตราการไหลลดลงเท่ากับ 6.54 6.27 และ 5.68 L/min ตามลำดับ แสดงว่าอัตราการจ่ายแรงดันสูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณการใช้น้ำมีแนวโน้มลดลง สัมพันธ์กับอัตราส่วน L/G ที่ได้จากการคำนวณ 0.0221 0.0212และ 0.0192 ตามลำดับ

8. อภิปรายผล

จากการทดสอบนี้สามารถสรุปได้ว่า ค่าแรงดันน้ำที่สูงกว่าระบบสครับเบอร์ปกติ ส่งผลให้ ไซโคลนสครับเบอร์ มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเปรียบเทียบกับระบบเดิม อัตราการใช้น้ำลดลง และทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นมากขึ้น เพราะอนุภาคฝุ่นมีโอกาสสัมผัสกับอนุภาคของหยดน้ำมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณ ประจำปี 2557 จากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] ฉัตรชัย นิมมล ,ระบบกำจัดฝุ่นและการระบายอากาศ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพมหานคร,2548

[2] มานะ อมรกิจบารุง และ สามารถ พรเจริญ, การพัฒนาไซโคลนสครับเบอร์ประสิทธิภาพสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546

[3] เรวัต ซ่อมสุข,การพัฒนาเครื่องกำจัดฝุ่นแบบเปียกชนิดแรงดันน้ำสูง,คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี,2557

[4] Stairmand, C.J. The Design and Performance of Cyclone Separators, Transactions of Industrial Chemical Engineers,1951

[5]Kim H.T., Jong C.H., Oh S.N. and Lee K.W.,Particle Removal Efficiency of Gravitational Wet Scrubber Considering Diffusion, Interception, and Impaction. Environmental Engineering

Science,18(2),125 –136, 2001

[6]Marshall,D.A.,Summer,R.J and Shook,C.A., (1995). Remaval of SiO_2Particles with an Ejector VanturiScrubber. Environmental Progress,Vol.14, No.1,pp.28-32

[7] Theodore, L., and Buonicore, A.J. Air Pollution Control Equipment: Selection, Design, Operation, and Maintenance, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag,1994

การพัฒนาและสร้างหม้อต้มใบสับปะรดระบบปิดประหยัดพลังงาน

A Development of Close System – Energy Efficient Pineapple leaf Boiling Tank

รัชดาศักดิ์ สุเพ็งคำ*
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800 E-mail rachadasak@yahoo.com*
Rachadasak Supengcum*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Phra Nakhon, Bangkok, 10800
E-mail rachadasak@yahoo.com*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการต้มใบสับปะรดของชาวบ้านเพื่อนำใบสับปะรดที่ต้มเสร็จมาทำกระดาษจะใช้หม้อต้มถังทรงกลม ทำจากสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตรสูง 50 เซนติเมตร ต้มใบสับปะรดแต่ละครั้งประมาณ 40 กิโลกรัม ใช้เวลาในการต้มประมาณ 4 ชั่วโมง โดยใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง ขณะต้มก็ต้องมีคนเฝ้าตลอดเพื่อเติมฟืนไม่ให้ไฟดับ ซึ่งกว่าจะต้มเสร็จก็สูญเสียไม้ในการต้มประมาณ 50 กิโลกรัม การแก้ปัญหาของนักวิจัยเพื่อลดปริมาณของไม้ฟืนที่จะใช้ในการต้มลงและไม่ต้องมีคนคอยเฝ้าตลอด คือออกแบบหม้อต้ม ให้เป็นหม้อต้มระบบปิด เพื่อลดการสูญเสียความร้อนในขณะต้ม นอกจากนี้ยังออกแบบเตาให้เหมือนกับเตาเผาถ่าน ที่ทีมประยุกต์ใช้งานระบบความร้อน จากมหาวิทยาลัยแม่โจ้ได้ทำการวิจัย ผสมผสานกับเตาเผาถ่านแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน เตาที่สร้างเสร็จจึงสามารถใส่ไม้ฟืนในครั้งเดียว และในการต้มแต่ละครั้งก็ไม่ต้องเสียเวลาที่จะต้องเติมฟืนอีก เมื่อต้มใบสับปะรดเสร็จ และไม้กลายเป็นถ่านจึงปิดระบบไม่ให้ออกซิเจนเข้า ไฟก็จะดับเหลือถ่านไม้ นำมาใช้ประโยชน์ในการหุงต้มได้ จากการทดลองต้มใบสับปะรดปริมาณ 40 กิโลกรัม โดยใช้หม้อต้มใบสับปะรดระบบปิดที่มีขนาดเท่ากัน สรุปผลการทดลองได้ดังนี้คือใช้ไม้ฟืนในการต้มน้อยที่สุดที่ต้มใบสับปะรดจนเปื่อยเท่ากับ 10 กิโลกรัม โดยใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง 30 นาที และได้ถ่านหลังจากการต้ม 4,6 กิโลกรัม สามารถลดปริมาณไม้ฟืนได้ถึง 40 กิโลกรัม

คำหลัก หม้อต้มใบสับปะรด , กระดาษใบสับปะรด,กระดาษจากธรรมชาติ

Abstract

Nowadays people use stainless boiling tank with the diameter of 50 cm and height of 50 cm in round shape to boil pineapple leaves for about 40 kilograms each time in order to make paper from the pineapple leaves. It takes around 4 hours until the boiling is finished. If the wood is used as fuel, a person is required all the time for filling the firewood not to make the fire extinguish. 50 kilograms of wood are used in each boiling process. The resolution of the researcher is to reduce the quantity of firewood used in boiling and there is no need to observe the process all the time. The boiling tank is designed in the close system so that it does not lose the heat during the boiling process. Apart from that, the furnace is also designed to be similar to the charcoal furnace which the Team to apply the Heat System from Maejo University conducted the research mixed with the charcoal furnace from local wisdom. The furnace can contain the firewood in one time. In each boiling, it will not waste the time in

filling the firewood again. When having finished boiling the pineapple leaves and the wood becomes charcoal, the system will be closed to prevent the oxygen to flow in. Then, the fire will stop burning. Only the wood charcoal remains to be beneficial for cooking. Based on the experiment on 40-kilogram pineapple leaf boiling by using close system in the pineapple leaf boiling tanks in the same size, it is found that the minimum amount of firewood used for boiling the pineapple leaf until it becomes soft is 10 kilograms by spending 3 hours 30 minutes. The amount of charcoal obtained from the boiling is 4, 6 kilograms and the firewood amount can be reduced for 40 kilograms.

Keywords: Pineapple leaf boiling tank, Pineapple leaf paper, Natural paper

1. บทนำ

กลุ่ม แม่บ้าน บ้านป่าซางวิวัฒน์ ตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ได้รวมกลุ่มทำกระดาษจากใบสับปะรดเพราะใบสับปะรดมีเส้นใยจำนวนมาก สามารถนำมาทำกระดาษได้ดี ขั้นตอนในการทำคือนำใบสับปะรดดิบ มาตัดเป็นชิ้นขนาดเล็ก แล้วนำไปต้มจนใบเปื่อยยุ่ยจากนั้นนำไปเทใส่ตาข่ายไนล่อนใช้เท้าเหยียบเพื่อให้ได้เยื่อใบสับปะรดมาทำกระดาษใบสับปะรด ขั้นตอน ในการต้มใบสับปะรดนั้นจะ ใช้ไม้ฟืนที่หาได้ในท้องถิ่นมาเป็นเชื้อเพลิงในการต้มใบสับปะรดจำนวนไม้ฟืนที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงประมาณ 50 กิโลกรัมต่อการต้มใบสับปะรด40กิโลกรัม ซึ่งใช้ไม้ฟืนเป็นจำนวนมากและสูญเสียไม้ฟืนไปอย่างเปล่าประโยชน์

จากปัญหาข้างต้นทางผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะสร้างหม้อต้มใบสับปะรดระบบปิดพร้อมเตาเผาถ่านเพื่อลดการสูญเสียไม้ฟืน ผู้วิจัยจึงออกแบบหม้อต้มให้เหมือนกับเตาเผาถ่าน ที่ทีมประยุกต์ใช้งานระบบความร้อน,2553 จากมหาวิทยาลัยแม่โจ้ได้ทำการวิจัย[1] และผสมผสานกับเตาเผาถ่านแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน[2] การเผาถ่านแบบใช้ถังปิดเมื่อไม้กลายเป็นถ่านจึงปิดถังไม่ให้ออกซิเจนเข้า ไฟก็จะดับเหลือแต่ถ่านไม้ [3] นำมาใช้ประโยชน์ในการหุงต้มได้ ในขณะเดียวกัน ก็สามารถต้มใบสับปะรดให้เปื่อยพอดี

2. หลักการออกแบบหม้อต้มใบสับปะรดระบบปิดประหยัดพลังงาน

การคำนวณหาขนาดเพื่อออกแบบสร้างเตา เผาถ่านที่เหมาะสมจะใช้วิธีคำนวณจากการต้มด้วยวิธีภูมิปัญญาชาวบ้าน โดยชาวบ้านเดิมใช้ปริมาณฟืนเป็นเชื้อเพลิงจำนวน 50 กิโลกรัม ประมาณ 50 ท่อน ไม้ฟืนแต่ละท่อนยาวประมาณ 400 มิลลิเมตรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เฉลี่ย 50 มิลลิเมตร นำมาคำนวณ หาพื้นที่ของเตาเผา

จากสูตรการหาพื้นที่ A = ¶ r^2

แทนค่า = ¶ x 25^2

= 1,964 ตารางมิลลิเมตร

∴ ไม้ 1 ท่อนจะมีพื้นที่หน้าตัด 1,964 ตารางมิลลิเมตร ดังนั้นไม้ทั้งหมด 50 ท่อนจะมีพื้นที่หน้าตัด

= 50 x 1,964

= 98,200 ตารางมิลลิเมตร

แต่เนื่องจากไม้แต่ละท่อนมีความโค้งงอไม่เท่ากันจึงได้ทำการเผื่อพื้นที่หน้าตัดเพิ่มอีกสองเท่าจากที่คำนวณก็จะได้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของเตา

= 98,200 x 2

= 196,400ตารางมิลลิเมตร

นำตัวเลขที่ได้มาหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเตา

จากสูตรการหาพื้นที่ A = ¶ r^2

แทนค่า 196,400 = ¶ r^2

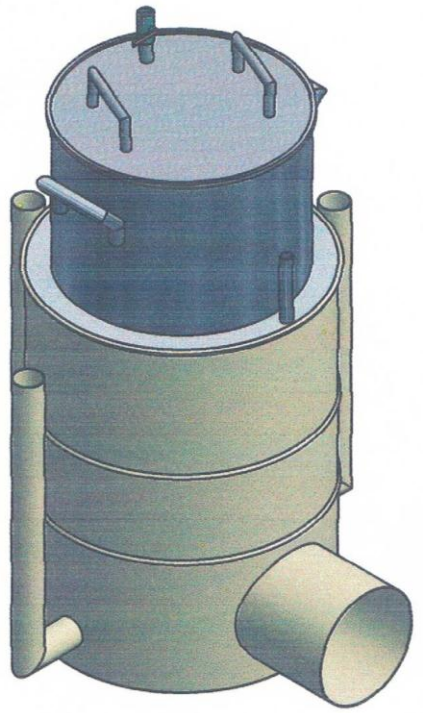
r^2 = 62,516

r = 250 มิลลิเมตร

∴ เตาจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 250 x 2 = 500มิลลิเมตรจึงจะสามารถบรรจุไม้ทั้งหมดได้

แต่เนื่องจากถูกกำหนดด้วยขนาดของหม้อต้ม จึงจำเป็นต้องสร้างตัวเตาให้มีขนาดที่สามารถวางสวมหม้อต้มได้พอดีโดยเตาที่สร้างเสร็จจะมีขนาดใหญ่กว่าที่คำนวณได้ และ ใช้หลักการเดียวกันในการคำนวณ หาขนาดส่วนประกอบอื่นๆของเตา ซึ่งจะได้เตาเผาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 620 มิลลิเมตร สูง 830 มิลลิเมตรและหม้อต้มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 500 มิลลิเมตร สูง 500

มิลลิเมตร รวมความสูงเมื่อนำหม้อต้มสวมประกอบเข้ากับเตา เท่ากับ 1,200 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หม้อต้มใบสับปะรดระบบปิดประหยัดพลังงาน

3. วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินการทดลองหม้อต้มใบสับปะรดระบบปิดประหยัดพลังงาน เพื่อหาประสิทธิภาพหม้อต้มที่สร้างขึ้น มีวิธีการดังนี้

3.1 หาข้อมูลเดิมในการต้มใบสับปะรด

ข้อมูลเดิมในการต้มสับปะรดในแต่ละครั้งโดยการสอบถามและเก็บข้อมูลจากกลุ่มสมาชิกสหกรณ์ ได้ข้อมูลในการต้มใบสับปะรด คือ ใช้หม้อต้มสแตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ต้มใบสับปะรดแต่ละครั้งประมาณ 40 กิโลกรัม ใช้เวลาในการต้มประมาณ 4 ชั่วโมง โดยใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงในการต้มประมาณ 50 กิโลกรัม

3.2ทดลองหาเวลาและจำนวนการใช้ไม้ฟืนในการต้ม

ทำการทดลอง เพื่อหาเวลาในการต้ม เปรียบเทียบกับวิธีการต้มแบบเดิม และ ทดลองหาจำนวนการใช้ไม้ฟืนที่น้อยที่สุด ที่สามารถต้มใบสับปะรด ให้เปื่อยได้ โดยมีขั้นตอนการต้มใบสับปะรดดังนี้

3.2.1 ชั่งไม้ฟืนทั้งหมด 50 กิโลกรัมก่อนที่จะทำการบรรจุลงในเตาเผา

รูปที่ 2 การชั่งน้ำหนักไม้ฟืน

3.2.2 เรียงไม้ฟืนทั้งหมด 50 กิโลกรัมลงในเตาเผา

รูปที่ 3 การเรียงไม้ลงในเตาเผา

3.2.3 ใส่ใบสับปะรดจนเต็มหม้อต้ม

รูปที่ 4 การใส่ใบสับปะรดลงในหม้อต้ม

3.2.4 นำหม้อต้มใบสับปะรดมาวางลงบนถัง เติมน้ำ 44 ลิตร+ โซดาไฟ 1 กิโลกรัม

รูปที่ 5 การใส่น้ำลงในหม้อต้ม

3.2.5 ติดไฟหน้าเตาเมื่อไฟหน้าเตาติดแล้วให้ดันไฟเข้าไปภายในเตา

รูปที่ 6 การติดไฟหน้าเตา

3.2.6 เติมใบสับปะรดที่เหลือเมื่อผ่านการต้มไป 1ชั่วโมง

รูปที่ 7 การเติมใบสับปะรดที่เหลือ

3.2.7 เมื่อฟืนไหม้จนหมด(สังเกตจากควันที่ไส)จึงปิดระบบไม่ให้อากาศเข้า

รูปที่ 8 การปิดเตาไม่ให้อากาศเข้าไปในระบบ

3.2.8 เมื่อปิดระบบไม่ให้อากาศเข้า รอจนเตาเย็นจึงทำการเปิดเตา

รูปที่ 9 ถ่านที่อยู่ในเตา

3.2.9 นำถ่านที่ได้หลังจากการต้มแต่ละครั้งออกจากเตา

รูปที่ 10 ถ่านที่ได้จากการต้มแต่ละครั้ง

3.3 บันทึกผลการทดลอง

การทดลองต้มใบสับปะรดที่เปื่อยจนใช้งานได้โดยใช้ไม้ฟืนในการต้มครั้งแรก 50 กิโลกรัมและลดจำนวนของไม้ฟืนลงครั้งละ 5 กิโลกรัมจนเหลือไม้ฟืนน้อยที่สุดที่สามารถต้มใบสับปะรดให้เปื่อยได้ คือใช้ ไม้ฟืน 10 กิโลกรัมดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ทำการทดลองหม้อต้มใบสับปะรดระบบปิดและบันทึกผล

ครั้งที่	ไม้ฟืน (กิโลกรัม)	เวลา (ชั่วโมง)	ถ่านไม้ (กิโลกรัม)
1	50	2.40	7.2
2	50	2.30	8.2
3	45	2.20	8.1
4	40	2.30	7.4
5	35	2.40	9.4
6	30	2.40	11
7	25	3.00	5.7
8	20	3.20	7.1
9	15	3.20	7
10	10	3.30	4.6

การหาประสิทธิภาพของหม้อต้มใบสับปะรดระบบปิดทำได้จากการสังเกตลักษณะของใบสับปะรดว่า อยู่ในสภาพเปื่อยยุ่ยขณะต้มใช้น้ำจำนวน 44 ลิตร ใบสับปะรดจำนวน 40 กิโลกรัมโซดาไฟจำนวน 1 กิโลกรัม เวลาที่ใช้ในการต้มใบสับปะรดให้เปื่อยใช้เวลาไม่เกิน 3 ชั่วโมง 30 นาทีจากใบสับปะรดดิบที่ใส่ 40 กิโลกรัมจะได้ใยสับปะรดที่บีบน้ำออกประมาณ 17 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับการต้มใบสับปะรดแบบเดิมจะสูญเสียไม้ฟืน 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ เมื่อเทียบกับ หม้อต้มใบสับปะรดระบบปิด จะได้ถ่านไม่น้อยกว่า 4.6 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับปริมาณและประเภทของไม้ฟืน

3.4 หาจำนวนครั้งในการทดลอง

ในการหาจำนวนครั้งที่ใช้ในการทดลองต้มใบสับปะรดด้วยหม้อต้มใบสับปะรดระบบปิดประหยัดพลังงานโดยการนำผลการทดลองที่มีค่าต่ำที่สุดจากการทดลอง มาทำการทดลองอีกสามครั้งเพื่อหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 2 ผลการทดลองที่มีค่าต่ำที่สุดทำการทดลองอีกสามครั้งเพื่อหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ครั้งที่	ไม้ฟืน (กิโลกรัม)	เวลา (ชั่วโมง)	ถ่านไม้ (กิโลกรัม)
1	10	3.30	4.6
2	10	3.25	4.8
3	10	3.30	4.8
เฉลี่ย	10	3.28	4.7

หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สัญลักษณ์ของตัวแปร

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

n = ขนาดของตัวอย่าง

μ = ค่าเฉลี่ยเวลา

σ^2 = ความแปรปรวน

σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

α = ค่าความน่าจะเป็น

z = ตัวสถิติ

E = ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่สามารถยอมรับได้

N = แทนจำนวนข้อมูลทั้งหมด

จากสูตร $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X-\mu)^2}{n}}$

แทนค่า

$$\sigma = \sqrt{\frac{(3.30-3.28)^2+(3.25-3.28)^2+(3.30-3.28)^2}{3}}$$

σ = 0.247

หาค่า E จากการต้มใบสับปะรดจำนวน 3 ค่า

จากสูตร $E = \frac{Z_{\frac{\alpha}{2}}\alpha}{\sqrt{n}}$

$= 1.96\,\frac{0.247}{\sqrt{3}}$

$= 0.28$

จากการต้มใบสับปะรดจำนวน 3 ครั้งพบว่ามีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.247 โดยการประมาณค่าขนาดตัวอย่างที่ความเชื่อมั่น 95% และกำหนดความคลาดเคลื่อน 10% จะได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมจึงนำไปคำนวณได้ดังนี้

เมื่อ $\sigma = 0.247$

$E = 0.28$

$Z_{\frac{\alpha}{2}} = 1.96$

จากสูตร $n = \left[\frac{Z_{\frac{\alpha}{2}}(\sigma)}{E}\right]^2$ (

จะได้ $n = \left[\frac{(1.96)(0.247)}{0.28}\right]^2$

= 2.989 ครั้ง

หาค่าเฉลี่ยเวลาการทำงานของหม้อต้มใบสับปะรดระบบปิด

จากสูตร $\mu = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{N}$

ค่าเฉลี่ยเวลา $\mu = \frac{(3.3+3.25+3.3)}{3}$

$= \frac{9.85}{3}$

= 3.28 ชั่วโมง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าทำการทดลอง 3 ครั้ง ที่ระดับความเชื่อมั่น95% เพียงพอสำหรับการทดสอบหาเวลาในการต้มใบสับปะรดโดยใช้หม้อต้มใบสับปะรดระบบปิดประหยัดพลังงาน

4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองต้มใบสับปะรด จากการทดลองต้มโดยใช้ไม้ฟืนตั้งแต่ 50 กิโลกรัม และ ลดจำนวนของไม้ฟืนลงครั้งละ 5 กิโลกรัม จนเหลือไม้ฟืนน้อยที่สุด ที่สามารถต้มใบสับปะรดให้เปื่อยได้คือใช้ไม้ฟืน 10 กิโลกรัมและใช้เวลาในการต้มน้อยที่สุด 2 ชั่วโมง 20 นาที และผลพลอยได้จากการต้มใบสับปะรดจะได้ถ่านไม้จากการต้มแต่ละครั้งประมาณ 4.6 ถึง 11 กิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของไม้ฟืนที่ใช้ในการต้มแต่ละครั้ง

5. สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองต้ม โดย ใช้หม้อต้มใบสับปะรดระบบปิดประหยัดพลังงาน จะใช้ไม้ฟืนน้อยที่สุด ที่สามารถต้ม ใบสับปะรด ให้เปื่อยได้ คือ ใช้ไม้ฟืน 10 กิโลกรัม เมื่อเทียบกับวิธีเดิมในการต้ม จะสูญเสียไม้ทั้งหมด ประมาณ 50 กิโลกรัม นอกจากนั้นการต้ม โดย ใช้หม้อต้มใบสับปะรดระบบปิด ยังได้ถ่านไม้ในการต้ม แต่ละครั้งประมาณ 4.6 ถึง 11 กิโลกรัม และ ใช้เวลาน้อยกว่า การต้มใบสับปะรดแบบเดิมประมาณ 30 นาทีโดยไม่ต้องคอยเฝ้าตลอดเวลาเหมือนกับการต้มด้วยวิธีเดิม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรตัดไม้ฝืนทิ้งไว้ เป็นเวลา ไม่น้อยกว่า 2 เดือนเพื่อให้ไม้แห้งสนิท

5.2.2 ควรระวังความร้อนขณะปฏิบัติงาน เพราะตัวถังด้านนอกมีความร้อนสูง

5.2.3 ควรระวังในการใส่โซดาไฟลงในน้ำ เพราะโซดาไฟมีฤทธิ์กัดกร่อนควรสวมถุงมือและแว่นตาในขณะทดลอง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก โครงการวิจัยงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ 2557 หน่วยงานรับผิดชอบโครงการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เอกสารอ้างอิง

[1] ทีมประยุกต์ใช้งานระบบความร้อน.การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาถ่านไม้ไผ่แบบถังแนวดิ่งด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ,คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร,มหาวิทยาลัยแม่โจ้,2553.

[2] http://www.oknation.net/blog/chawsaun/2008/10/20/entry-1

[3] http://www.ssruir.ssru.ac.th/bitstream/ssruir/855/1/rdi_174_2555(1).pdf

การประยุกต์ใช้ทฤษฎี AHP ในการเลือกใช้เปลือกอาคาร อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน และระบบประกอบอาคาร กรณีศึกษาร้านสะดวกซื้อ

Application of AHP in the selection of the building envelope, energy saving equipment and building system Case study convenience stores.

จุฑาทิพย์ ลีลาธนาพิพัฒน์*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ อ. ปากเกร็ด จ. นนทบุรี 11120, E-mail: jutathiplee@pim.ac.th*

Jutathip Leelathanapipat*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Panyapiwat Institute Of Management, PakKret, Nonthaburi, 11120,
E-mail: jutathiplee@pim.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการเลือกใช้เปลือกอาคาร อุปกรณ์ประหยัดพลังงานและระบบประกอบอาคารของร้านเซเว่นอีเลฟเว่น สาขาธาราสแคร์ โดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการตัดสินใจด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process) ในการเปรียบเทียบข้อมูลของเปลือกอาคาร อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน และระบบประกอบอาคารของร้านสะดวกซื้อประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกับร้านสะดวกซื้อทั่วไป

จากการศึกษาผู้วิจัยสามารถกำหนดกลุ่มตัวอย่าง ที่มีอำนาจในการตัดสินใจในการเลือกใช้เปลือกอาคาร อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน และระบบประกอบอาคาร โดยมีการให้คะแนนน้ำหนักความสำคัญจากแบบประเมิน ผลประเมินจากผู้ประเมินทั้ง 5 ท่าน พบว่าการเลือกใช้เปลือกอาคารประเภทกระจก มีผลการเลือกใช้กระจกฉนวนความร้อนมีค่าลำดับความสำคัญเท่ากับ 0.75 และประเภทฝ้ามีผลการเลือกใช้ฝ้าฉาบเรียบแบบฉนวนความร้อน มีค่าลำดับความสำคัญเท่ากับ 0.61 และการเลือกใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงานและระบบประกอบอาคาร ประเภทหลอดไฟฟ้ามีผลการเลือกใช้หลอด Light Emitting Diode มีค่าลำดับความสำคัญเท่ากับ 0.72 ประเภทเครื่องปรับอากาศมีผลการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์ มีค่าลำดับความสำคัญเท่ากับ 0.79 และประเภทตู้แช่แบบเปิดหน้ามีผลการเลือกใช้ตู้แช่แบบเปิดหน้าระบบคอยล์ร้อนแบบรวมศูนย์มีค่าลำดับความสำคัญเท่ากับ 0.79 จากค่าลำดับความสำคัญที่ได้ทำให้ทราบถึงชนิดของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุด และทางผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน และระบบประกอบอาคารที่มีค่าลำดับความสำคัญสูงที่สุด เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนผลการหาค่าลำดับความสำคัญ ดังนั้นผลการวิจัยสามารถนำมาเป็นแนวทางหรือต้นแบบที่ช่วยในการตัดสินใจในการเลือกใช้เปลือกอาคาร อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน และระบบประกอบอาคาร ของร้านสะดวกซื้ออื่นๆได้

คำหลัก : กระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้น ลำดับความสำคัญ เปลือกอาคาร

Abstract

This study aimed to investigate the selection the building envelope, energy saving equipment and building system for convenience stores. By the application of decision theory with the Analytic Hierarchy Process: (AHP) to compare data of the building envelope, energy saving equipment and building system of convenience stores energy saving and environmentally friendly with convenience stores general.

From this study, the researchers can define the sample. The authority to decide on the selection the building envelope, energy saving equipment and building system of the weight a priority score out of assessment form. The study evaluated assessment of the 5 persons found that the selection the building envelope, Type of glass has the result of select insulation glass a priority value is 0.75. Type of ceiling has the result select ceiling insulation a priority value is 0.61. The selection the energy saving equipment and building system, Type of bulb has the result select of Light Emitting Diode a priority value is 0.72. Type of air conditioner has the result select of Inverter air conditioning system a priority value is 0.79. Type of freezer open show case has the result of select Freezer open show case chillers System a priority value is 0.79. The priority to be to indicate of the most suitable products, and the researcher analyzed the energy saving equipment and building system has the highest priority. The data support the finding value priorities. Therefore, the findings can take as a guide or template that decisions made in the selection of the building envelope, energy saving equipment and building system of other convenience stores.

Keywords : Analytic Hierarchy Process Priority Rating Building envelope

1. บทนำ

ปัจจุบันวิกฤตการณ์ทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมเพิ่มทวีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากความต้องการในการใช้พลังงานของมนุษย์เพิ่มสูงขึ้นอย่างไม่รู้จบ ในขณะที่แหล่งพลังงาน ถ่านหิน ก๊าซ น้ำมัน มีอยู่อย่างจำกัด และการพัฒนาพลังงานทดแทนยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการพลังงานของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้นได้ในเวลาอันใกล้ ส่งผลให้ทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องมีการตระหนักถึงการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

[1] สถาบันอาคารเขียวไทยเป็นสถาบันหนึ่งที่แสดงความรับผิดชอบต่อปัญหาของโลกในปัจจุบันที่ต้องเผชิญกับวิกฤตการณ์ทางพลังงานและสิ่งแวดล้อม จัดตั้งขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ให้มีการพัฒนามาตรฐานทางวิชาการและวิชาชีพทางสถาปัตยกรรม ทางด้านการออกแบบ การจัดการอาคารประหยัดพลังงาน และการก่อสร้าง โดยการร่วมมือกันระหว่าง วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์กับสมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์

บริษัท ซีพีออลล์ จำกัด มหาชน เป็นบริษัทที่มีการขยายตัวของภาคธุรกิจค้าปลีกเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้น ซึ่งค่าพลังงานงานไฟฟ้าเป็นภาระค่าใช้จ่ายอันดับต้นๆของร้านสะดวกซื้อ ดังนั้นบริษัทซีพีออลล์ จำกัด มหาชน จึงมีแนวคิดในการออกแบบร้านค้าปลีกประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามแนวทางของสถาบันอาคารเขียวไทย

ผลกระทบที่ทำให้เกิดปัญหาวิกฤตการณ์ทางพลังงานและสิ่งแวดล้อม มาจากความต้องการใช้พลังงานของมนุษย์ แนวคิดในการลดใช้พลังงานในร้านสะดวกซื้อแบ่งออกเป็น 3 ปัจจัย คือ

1. การปลูกจิตสำนึกให้กับพนักงาน เป็นการจัดอบรมณ์พฤติกรรมความเสียงที่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงาน แต่ผลที่คาดว่าจะได้รับอาจมีความไม่แน่นอนสูง อาจเนื่องจากภาระการทำงาน และการเปลี่ยนแปลงของบุคลากร ทำให้ขาดการสื่อสารของแนวทางการลดใช้พลังงานได้ และอาจเปรียบเสมือนการนำหลักเกณฑ์หรือข้อบังคับในการทำงานให้พนักงานปฏิบัติหน้าที่เพิ่มมากขึ้น เพราะในปกติแล้วลักษณะงานบริการที่เน้นความพึงพอใจสูงสุดของลูกค้า ซึ่งเป็นงานหลักที่พนักงานได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติหน้าที่อย่างเคร่งครัด

2. ระบบเปลือกอาคาร สำหรับงานวิจัยนี้หมายถึง กระจก ฝ้า ซึ่งเป็นตัวแปรในการช่วยลดการส่งผ่านความร้อนจากภายนอกสู่ภายในอาคาร เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อน ช่วยลดภาระการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆภายในร้านสะดวกซื้อ ทำให้อุปกรณ์และระบบประกอบอาคารทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นการเลือกใช้เปลือกอาคารเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการลดใช้พลังงาน

3. อุปกรณ์และระบบประกอบอาคาร สำหรับงานวิจัยนี้หมายถึง หลอดไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ

และตู้แช่แบบเปิดหน้า เนื่องด้วยร้านสะดวกซื้อให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง อุปกรณ์และระบบประกอบอาคารภายในร้านสะดวกซื้อจึงเป็นเหตุผลสำคัญของการใช้พลังงานไฟฟ้า การนำความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ให้ตรงกับความต้องการในการลดการใช้พลังงานขององค์กร จึงเป็นแนวทางที่สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่กล่าวมาเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์และระบบประกอบอาคารในร้านสะดวกซื้อเป็นสาเหตุหลักในการใช้พลังงาน ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาแนวทางการเลือกใช้เปลือกอาคารเพื่อเป็นตัวช่วยสนับสนุนการประหยัดพลังงาน และศึกษาแนวทางการเลือกใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน และระบบประกอบอาคารที่เป็นเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ในการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีการตัดสินใจด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process) ในการเปรียบเทียบข้อมูลของเปลือกอาคาร อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน และระบบประกอบอาคารของร้านสะดวกซื้อ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเลือกใช้เปลือกอาคาร อุปกรณ์ประหยัดพลังงานและระบบประกอบอาคารของร้านสะดวกซื้อ อันจะนำไปสู่การประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2. เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

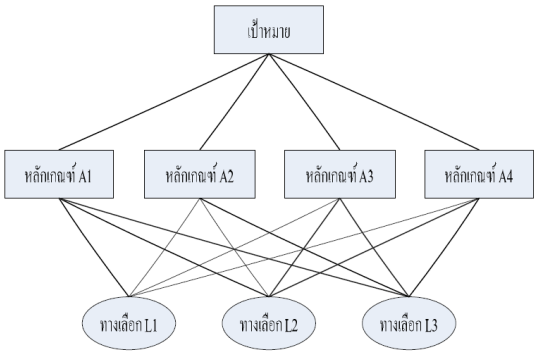
AHP [2] เป็นกระบวนการทางทฤษฎี Multiple Criteria Decision Making ที่ได้รับความนิยมสูงสุด เพราะเป็นกระบวนการที่ช่วยตัดสินใจธรรมชาติของมนุษย์ AHP จะแบ่งองค์ประกอบของปัญหาทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรมออกเป็นส่วนๆ แล้วจัดให้อยู่ในรูปของแผนภูมิลำดับขั้น จากนั้นก็ทำการกำหนดตัวเลขที่เกิดจากการเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละปัจจัยเพื่อดูว่าปัจจัยหรือทางเลือกใดที่มีลำดับความสำคัญสูงที่สุด และมีอิทธิพลต่อผลของการแก้ปัญหาอย่างไร ขั้นตอนการประยุกต์ทฤษฎี AHP จำนวน 4 ขั้นตอนคือ

1. การสลายปัญหาที่ซับซ้อน (Decomposition) ให้อยู่ในรูปของแผนภูมิโครงสร้างเป็นลำดับขั้นแสดงดังรูปที่ 1

2. การหาลำดับความสำคัญ (Prioritization) ทำการเปรียบเทียบความสำคัญทีละคู่ (Pair Wise Comparisons)

3. การสังเคราะห์ (Synthesis) ทำการพิจารณาจากลำดับความสำคัญทั้งหมด แล้วเปรียบเทียบว่าทางเลือกใดควรได้รับคัดเลือก

4. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของทางเลือกที่มีต่อปัจจัยในการวินิจฉัย (Sensitivity Analysis) ทำการทดสอบเพื่อพิจารณาว่าเมื่อข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างแผนภูมิลาดับชั้น AHP

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเทคนิค AHP ไปประยุกต์ใช้พบว่า AHP สามารถนำไปใช้กับการศึกษาการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามมาตรฐาน กรณีศึกษาบริษัทผลิตกระดาษถ่ายเอกสาร [3] โดยทำการวิเคราะห์แบบเอบีซี (ABC Analysis) ร่วมกับ AHP ทำให้สามารถกำหนดชนิดผลิตภัณฑ์ในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับม้วนกระดาษถ่ายเอกสาร 80แกรมที่มีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามมาตรฐานได้ นอกจากนี้ AHP ยังได้ถูกนำไปใช้ประเมินผลแบบสอบถามของการใช้เครื่องมือชี้วัด [4] สำหรับการตัดสินใจเลือกภาควิชาของนักศึกษามหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่าผลที่ได้ตรงตามสถิติการเลือกภาควิชาที่ผ่านมาในแต่ละปี ในที่นี้จึงสามารถสรุปได้ว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน

3.การดำเนินงานวิจัยและเก็บข้อมูล

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะเริ่มจากการดำเนินการศึกษาทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้องกับแนวคิด วิธีการประยุกต์ใช้ AHP เพื่อเป็นตัวกำหนดกรอบแนวคิดของงานวิจัย

จากนั้นทำการแบ่งกลุ่มประเภทเปลือกอาคารและอุปกรณ์-ระบบประกอบอาคาร โดยพิจารณาจากการออกแบบร้านค้าปลีกประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามแนวทางของสถาบันอาคารเขียวไทย แล้วทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล สำหรับใช้ในการประกอบการพิจารณาคัดเลือกปัจจัยที่คาดว่าน่าจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการตัดสินใจในการจัดลำดับความสำคัญในการตัดสินใจ เมื่อได้ข้อมูลดังกล่าวเบื้องต้นแล้วจึงทำการสร้างตารางแบบฟอร์มสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่จะทำการจัดเก็บจะเป็นข้อมูลหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ประมวลผล เพื่อทำการคัดแยกและจัดประเภทของปัจจัยที่ทำให้ประหยัดพลังงาน ในร้านสะดวกซื้อ

3.2 การวางแผนการออกแบบวิธีการสำรวจ

3.2.1 หลักการของ AHP ที่ใช้สำรวจข้อมูล

สำหรับการสำรวจผู้ศึกษาได้ทำการจัดแบ่งข้อมูลและคัดเลือกผู้มีความรู้ ประสบการณ์ และความสามารถเฉพาะด้านให้ตรงกับเป้าหมายหรือปัญหาที่ทำการวิเคราะห์

3.2.2 ชนิดของข้อมูลที่รวบรวม

ชนิดของข้อมูลที่เก็บรวบรวมแบ่งออกเป็นสามส่วน คือข้อมูลทั่วไป ข้อมูลจากการวินิจฉัยเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของหลักเกณฑ์ และข้อมูลจากการวินิจฉัยเปรียบเทียบน้ำหนักของทางเลือก

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลในส่วนที่หนึ่งได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่แล้ว ส่วนข้อมูลส่วนที่สองได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ และผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและนอกองค์กร

3.4 การคัดเลือกตัวอย่างผู้เชี่ยวชาญ

การวิจัยได้คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจากผู้เชี่ยวชาญด้านการประหยัดพลังงานและผู้เกี่ยวข้องกับการสร้างร้านสะดวกซื้อ โดยพนักงานที่มีความชำนาญ มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านพลังงาน และมีประสบการณ์สูง จำนวน 5 คน

3.6 แบบฟอร์มการสำรวจข้อมูล

แบบฟอร์มการสำรวจข้อมูลถูกจัดทำหลังจากพิจารณาหลักเกณฑ์ที่มีผลโดยตรงต่อรูปแบบของทางเลือกในการประหยัดพลังงาน ประกอบด้วยสามส่วน คือ

3.6.1 การสอบถามเกี่ยวกับประวัติส่วนตัวของผู้ตอบแบบฟอร์มและคำชี้แจงต่างๆ

3.6.2 ข้อมูลประเภททางเลือกของวินิจฉัยเปรียบเทียบน้ำหนักของทางเลือก

3.6.3 ข้อมูลประเภทเปลือกอาคาร อุปกรณ์ และการวินิจฉัยเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของหลักเกณฑ์

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ส่วนที่ 1 ผลการหาลำดับความสำคัญของเปลือกอาคาร จากคะแนนการเปรียบเทียบการเลือกใช้เปลือกอาคาร เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการตัดสินใจด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process) ดังตารางที่ 1

4.2 ส่วนที่ 2 ผลการหาลำดับความสำคัญของอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน และระบบประกอบอาคาร จากคะแนนการเปรียบเทียบการเลือกใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงานและระบบประกอบอาคาร เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการตัดสินใจด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการหาลำดับความสำคัญของเปลือกอาคาร

ประเภทกระจก					
เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ	**องค์ประกอบของกระจก**	**ความใสของกระจก**	**การป้องกันความร้อน**	**ราคา**	**ลำดับความสำคัญ**
น้ำหนักความสำคัญ	0.16	0.21	0.43	0.20	
กระจกฉนวนความร้อน	0.84	0.43	0.87	0.74	0.75
กระจกใส	0.16	0.57	0.13	0.26	0.25
ประเภทฝ้า					
เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ	**การสะท้อนแสง**	**ฉนวนความร้อน**	**รูปลักษณ์**	**ราคา**	**ลำดับความสำคัญ**
น้ำหนักความสำคัญ	0.17	0.46	0.16	0.21	
ฝ้าฉาบเรียบแบบฉนวนความร้อน	0.31	0.67	0.60	0.71	0.61
ฝ้าแบบโครงรูปตัวที	0.69	0.33	0.40	0.29	0.39

ตารางที่ 2 ผลการหาลำดับความสำคัญของอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน และระบบประกอบอาคาร

ประเภทหลอดไฟฟ้า						
เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ	**หลักการทำงาน**	**ความส่องสว่าง**	**กำลังไฟฟ้า**	**ราคา**	**อายุการใช้งาน**	**ลำดับความสำคัญ**
น้ำหนักความสำคัญ	0.09	0.19	0.19	0.23	0.30	
หลอด Light Emitting Diode	0.87	0.40	0.85	0.64	0.86	0.72
หลอดฟลูออเรสเซนต์	0.13	0.60	0.15	0.36	0.14	0.28
ประเภทเครื่องปรับอากาศ						
เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ	**ประสิทธิ-ภาพการทำความเย็น**	**ระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ**	**ลักษณะการติดตั้ง**	**ราคา**	**อายุการใช้งาน**	**ลำดับความสำคัญ**
น้ำหนักความสำคัญ	0.27	0.18	0.14	0.17	0.23	
เครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์	0.74	0.84	0.79	0.74	0.87	0.79
เครื่องปรับอากาศระบบธรรมดา	0.26	0.16	0.21	0.26	0.13	0.21

ประเภทตู้แช่แบบเปิดหน้า						
เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ	**ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า**	**พื้นที่ในการติดตั้ง**	**ระบบคอมเพรสเซอร์**	**ราคา**	**อายุการใช้งาน**	**ลำดับความสำคัญ**
น้ำหนักความสำคัญ	0.24	0.10	0.23	0.16	0.27	
ตู้แช่แบบเปิดหน้าระบบคอยล์ร้อนแบบรวมศูนย์	0.69	0.82	0.83	0.74	0.87	0.79
ตู้แช่แบบเปิดหน้าระบบคอยล์ร้อนแบบธรรมดา	0.31	0.18	0.17	0.26	0.13	0.21

4.3 ส่วนที่ 3ผลการประหยัดพลังงานของร้านสะดวกซื้อกรณีศึกษา

จากการเปรียบเทียบข้อมูลประหยัดพลังงานของร้านสะดวกซื้อประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อ

สิ่งแวดล้อมกับร้านสะดวกซื้อทั่วไปในส่วนของอุปกรณ์ พบว่า หลอดไฟฟ้า Light Emitting Diode มีผลการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้ามากกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์1,322กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน หรือประหยัดกว่าร้อยละ 33 คิดเป็นจำนวนเงินประหยัดได้เท่ากับ 4,376 บาทต่อเดือน และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3ปี เครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์มีผลการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้ามากกว่าเครื่องปรับอากาศระบบธรรมดา 863 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน หรือประหยัดกว่าร้อยละ 25 คิดเป็นจำนวนเงินประหยัดได้เท่ากับ 2,855 บาทต่อเดือน และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 5 ปี และตู้แช่แบบเปิดหน้าระบบคอยล์ร้อนแบบรวมศูนย์ มีผลการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้ามากกว่าตู้แช่แบบเปิดหน้าระบบคอยล์ร้อนแบบธรรมดา 295 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน หรือประหยัดกว่าร้อยละ 8 คิดเป็นจำนวนเงินประหยัดได้เท่ากับ 977 บาทต่อเดือน และเนื่องจากมีเงินลงทุนที่ต่ำกว่าทำให้ระยะเวลาคืนทุนเป็นศูนย์

5. สรุปผลการเปรียบเทียบ

จากกลุ่มตัวอย่างทั้งที่มีอำนาจในการตัดสินใจทั้ง 5 ท่าน ดังนี้

1. PM โครงการประหยัดพลังงาน
2. เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัย และพัฒนาอุปกรณ์
3. นักวิชาการด้านพลังงาน
4. เจ้าหน้าที่โครงการประหยัดพลังงาน
5. นักวิจัยโครงการประหยัดพลังงาน

โดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการตัดสินใจด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process) ในการเปรียบเทียบข้อมูลของเปลือกอาคาร อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน และระบบประกอบอาคารของร้านสะดวกซื้อประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเปรียบเทียบกับร้านสะดวกซื้อทั่วไป พบว่า การเลือกใช้เปลือกอาคารประเภทกระจก มีผลการเลือกใช้กระจกฉนวนความร้อน ที่มีค่าลำดับความสำคัญความสำคัญเท่ากับ 0.75 ผลการเลือกใช้กระจกใส ที่มีค่าลำดับความสำคัญความสำคัญเท่ากับ 0.25 และประเภทฝ้า มีผลการเลือกใช้ฝ้าฉาบเรียบแบบฉนวนความร้อน ที่มีค่าลำดับความสำคัญเท่ากับ 0.61 มีผลการเลือกใช้ฝ้าแบบโครงรูปตัวที ที่มีค่าลำดับความสำคัญเท่ากับ 0.39 และการเลือกใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงานและระบบประกอบอาคารประเภทหลอดไฟฟ้า มีผลการเลือกใช้หลอด Light Emitting Diode ที่มีค่าลำดับความสำคัญความสำคัญเท่ากับ 0.72 มีผลการเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่มีค่าลำดับความสำคัญความสำคัญเท่ากับ 0.28 ประเภทเครื่องปรับอากาศมีผลการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์ ที่มีค่าลำดับความสำคัญความสำคัญเท่ากับ 0.79 มีผลการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศระบบธรรมดา ที่มีค่าลำดับความสำคัญความสำคัญเท่ากับ 0.21 และประเภทตู้แช่แบบเปิดหน้า มีผลการเลือกใช้ตู้แช่แบบเปิดหน้าระบบคอยล์ร้อนแบบรวมศูนย์ ที่มีค่าลำดับความสำคัญความสำคัญเท่ากับ 0.79 มีผลการเลือกใช้ตู้แช่แบบเปิดหน้าระบบคอยล์ร้อนแบบธรรมดา ที่มีค่าลำดับความสำคัญความสำคัญเท่ากับ 0.21

จากการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการตัดสินใจด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process) ในการเลือกใช้เปลือกอาคาร อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน และระบบประกอบอาคารของร้านสะดวกซื้อนั้น ได้รับการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ และผู้ที่เกี่ยวข้อง ที่มีอำนาจในการตัดสินใจ ทั้งในมุมมองของการประหยัดพลังงาน ประสิทธิภาพการทำงาน ราคา และความคุ้มทุน จึงทำให้มีผลการประเมินที่แตกต่างกัน แต่ผลที่ได้ผ่านการตรวจสอบค่าความสอดคล้องของข้อมูล มีการวิเคราะห์ข้อมูลประหยัดพลังงาน เพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจมากขึ้น จึงทำให้ผลที่ได้สามารถเป็นแนวทางหรือต้นแบบในการตัดสินใจเลือกใช้เปลือกอาคาร อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน และระบบประกอบอาคารได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันอาคารเขียวไทย. คู่มือสำหรับเกณฑ์**การ**ประเมิณความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย, สถาบันอาคารเขียวไทย สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน). (2555).

[2] วิฑูรย์ ตันศิริคงคล.AHP กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก, กรุงเทพฯ:กราฟฟิค

แอนด์ ปริ้นติ้ง เซ็นเตอร์,
[3] พรวิสาข์ ธุระณรงค์.การตัดสินใจสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติไม่เป็นไปตาม มาตรฐาน กรณีศึกษาบริษัทผลิตกระดาษถ่ายเอกสาร. วิทยานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2553
[4] พรศิริ คาหล้า และชญานี พรพิรุโรจน์. การสร้างเครื่องมือชี้วัดโดยวิธี AHP เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกภาควิชาของนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ชั้นปีที่1. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ข้อมูลจาก
http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc_upload/IE20070222154108.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2557).

การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันกากหมู

Utilization of factorial design of experiments to biodiesel production from waste lard oil

อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล[1*], จิรพัฒน์พงษ์ เสนาบุตร[2], สุรชัย อำนวยพรเลิศ[1], ปาริชาติ อำนวยพรเลิศ[3]
คณะวิศวกรรมศาสตร์[1], คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร[2], คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์[3]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ต.ทรายขาว อ.พาน จ.เชียงราย 57120
โทรศัพท์: +6686-728-4185
E-mail: jirapatpong119@hotmail.com, nu_nan_ie@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันกากหมูด้วยสภาวะการทดลองที่เหมาะสมโดยการนำน้ำมันกากหมูมาผ่านขั้นตอนการเปลี่ยนให้เป็นน้ำมันไบโอดีเซลและทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (2^4) ได้แก่ อัตราส่วนเมทานอล อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลา สำหรับปริมาณผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ทำการผลิตได้จะถูกนำไปทดสอบคุณลักษณะเฉพาะทั้งทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ จุดวาบไฟ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าความหนืด ค่าความถ่วงจำเพาะ และจุดขุ่น จากผลการทดลองปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (α = 0.05) พบว่า ในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย สภาวะที่เหมาะสมของน้ำมันไบโอดีเซลที่ทำการผลิตจะถูกนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำด้วยการควบคุมระดับปัจจัย คือ ค่าจุดวาบไฟ โดยการเลือกใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่น คือ อัตราส่วนเมทานอล 7.8 %โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรด 3.5 %โดยน้ำหนัก และเวลา 1.1 ชั่วโมง สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น คือ อัตราส่วนเมทานอล 5 %โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบส 1 %โดยน้ำหนัก และเวลา 0.6 ชั่วโมง ตามลำดับ

คำหลัก ไบโอดีเซล, ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น, การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k

Abstract

This research has experimentally developed a procedure for waste lard oil synthesis by using suitable conditions of biodiesel production. Pretreated waste lard oil was converted to biodiesel by reaction of catalyzed transesterification. Designs of experiment (2^4) were used to study the effects of the process variables on the biodiesel production such as reaction methanol ratio, temperature, catalyst concentration and reaction time. The biodiesel production was characterized by chemical and physical properties such as flash point, fatty acid, viscosity, specific gravity and cloud point. Results obtained the factor of produce biodiesel was significant (α = 0.05), which allowed that the biodiesel production depended

on 4 factors. Optimizations of biodiesel production were carried out with diesel engine. Optimum condition was flash point. The experiments were collected in the following condition: 7.8 %wt methanol, 70 °C, 3.5%wt (acid) and reaction time 1.1 h for esterification reaction and 5.8%wt methanol, 70 °C, 1%wt (base) and reaction time 0.6 h, for transesterification.

Keywords: Biodiesel, transesterification, factorial design of experiment 2^k

1. บทนำ

อาหารพื้นเมืองที่คนภาคเหนือหรือชาวล้านนานิยมบริโภคและเป็นนวัตกรรมการถนอมอาหารที่เกิดจากภูมิปัญญาชาวบ้านที่สืบทอดกันมาเป็นเวลาช้านานตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่แพร่หลายและเป็นที่รู้จัก มีจำหน่ายทั่วไปนิยมซื้อ-ขายเป็นของฝาก และนิยมนำไปรับประทานเป็นเครื่องเคียงกับอาหาร อีกทั้งยังเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) คือ แคบหมู ซึ่งในเขตบริเวณพื้นที่ทางภาคเหนือนิยมทำผลิตภัณฑ์แคบหมูในระดับวิสาหกิจชุมชนจนถึงระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กเพื่อส่งออกทั้งในประเทศและต่างประเทศ แต่เนื่องจากกระบวนการในการทำผลิตภัณฑ์แคบหมูของผู้ผลิตบางรายยังไม่ได้มาตรฐานอันสืบเนื่องมาจากหลายสาเหตุที่สำคัญในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะของเสียที่เกิดหลังจากกระบวนการผลิต ได้แก่ น้ำมันที่เหลือจากการทอด กากมันหมูที่เหลือจากการทำผลิตภัณฑ์แคบหมู ซึ่งเป็นผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำน้ำมันที่เหลือใช้จากกระบวนการทอดมาใช้ผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเป็นพลังงานทางเลือกและพลังงานหมุนเวียนด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น(transesterification) ของน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (alcohol) และมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดหรือเบส จะได้ผลผลิตเป็นเอสเทอร์ (ester) [1] โดยไบโอดีเซลมีปริมาณออกซิเจนมากกว่าน้ำมันดีเซลและผลจากการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่าสามารถลดปริมาณการปล่อย อนุภาค คาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ โพลิอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน ควัน และเสียงได้ [2]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์จากน้ำมันกากหมูที่เหลือจากกระบวนการในการผลิตแคบหมูด้วยการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (2^k)

2. วิธีวิจัย

2.1 ตรวจสอบเอกสาร

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและเมทานอลด้วยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่นโดยอาศัยการให้ความร้อนจากไมโครเวฟในการทำปฏิกิริยา และใช้โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามุ่งเน้นการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไบโอดีเซลสูงสุด (FAMEs) ปัจจัยที่สนใจคือ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนระหว่างเมทานอลกับน้ำมันและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้การออกแบบการทดลองทางสถิติด้วยวิธีของทากูชิด้วยการทดลอง 3 ระดับ 4 ปัจจัย รวมทั้งสิ้น 9 การทดลอง ($L_9.3^4$) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาค่าแต่ละปัจจัย ได้ค่าที่เหมาะสมของความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 1.25 %โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 4 นาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนเมทานอลกับน้ำมันเป็น 9:1 ตามลำดับ [3]

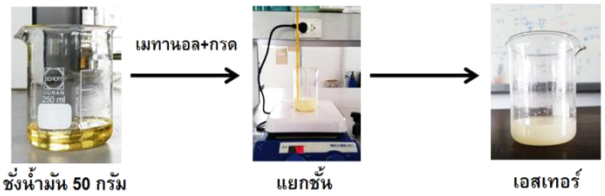
การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ริฟิเคชั่นในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง ได้แก่ อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เมทานอลกับโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ในทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์-ริฟิเคชั่น ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ที่อัตราการกวน 250 รอบต่อนาที การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลด้วยการทดลอง 2 ระดับ ของอัตราส่วน

เมทานอลต่อน้ำมัน (1:1-6:1) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (0.5-1.0 %โดยน้ำหนัก) และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (35-50 องศาเซลเซียส) เป็นตัวแปรอิสระ และผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองเป็นตัวแปรตาม (การตอบสนอง) ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลสูงสุดจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น คือ 97 เปอร์เซ็นต์ มีค่าปัจจัยที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0 %โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ [4]

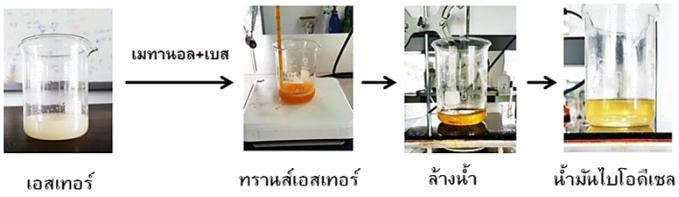
การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ริฟิเคชั่นน้ำมันปาล์มและน้ำมันปาล์มดิบในสภาวะเหนือวิกฤตในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหลโดยการสภาวะที่เหมาะสมสำหรับร้อยละเอสเทอร์ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบ 2^4 แฟคทอเรียล และ เซนทรัลคอมโพสิต โดยใช้สภาวะการทดลอง คือ อุณหภูมิ 280-350 องศาเซลเซียส ความดัน 20-35 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช 24-42 ใส่ไอโซโพรพานอลปริมาณ 25 และ 50 %โดยน้ำหนัก พบว่า อุณหภูมิ ความดัน และอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละเอสเทอร์ แต่ปริมาณไอโซโพรพานอลกลับไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละเอสเทอร์ ที่สภาวะที่เหมาะสมมีผลร้อยละเอสเทอร์เท่ากับ 81 ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 350 องศาเซลเซียส ความดัน 35 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช 24 [5]

2.2 กระบวนการในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

1. การตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันจากกากหมู
2. การกำหนดปัจจัยที่ผลต่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (2^4) ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิ เวลา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการกำหนดค่าปัจจัย แสดงดังตารางที่ 1
3. ทำการลดปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น สารตั้งต้นที่ใช้ทำปฏิกิริยาเป็นน้ำมันกากหมู ปริมาณ 50 กรัมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น แสดงดังรูปที่ 1 และ 2
4. ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน (American Standard Test Method: ASTM) ได้แก่ จุดวาบไฟ กรดไขมันอิสระ ความหนืด ความถ่วงจำเพาะ และจุดขุ่น



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่น



รูปที่ 2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น

ตารางที่ 1 การกำหนดปัจจัยสำหรับการทดลอง

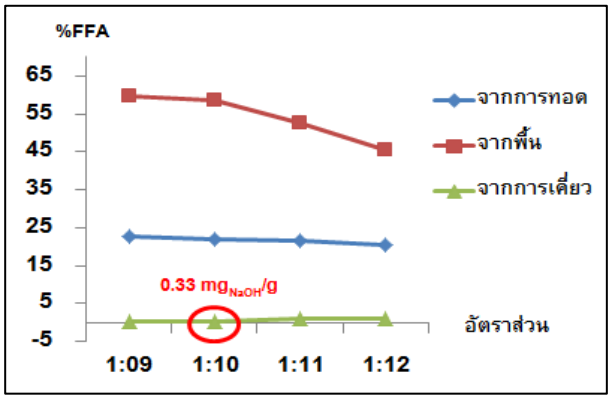
ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่น		
ปัจจัย	**ระดับต่ำ**	**ระดับสูง**
(1)อัตราส่วนเมทานอล (%wt)	6	8
(2)อุณหภูมิ (°C)	50	70
(3)ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรด (%wt)	3.5	5.5
(4)เวลา (ชั่วโมง)	1.0	1.5
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น		
ปัจจัย	**ระดับต่ำ**	**ระดับสูง**
(1*)อัตราส่วนเมทานอล (%wt)	4	6
(2*)อุณหภูมิ (°C)	50	70
(3*)ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบส (%wt)	1.0	2.0
(4*)เวลา (h)	0.5	1.0

หมายเหตุ หมายเลข (1), (2), (3), (4) และ (1*), (2*), (3*), (4*) แทนปัจจัยในแต่ละปฏิกิริยาแสดงดังตารางที่ 2

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Fatty acid value)

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระจากน้ำมันที่เหลือใช้ทั้ง 3 ประเภท พบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ได้จากการเคี่ยวจากกากหมูมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่ต่ำที่สุดที่อัตราส่วนโดยโมลของปริมาณน้ำมันต่อเมทานอลที่อัตราส่วน 1:10 มีค่าเท่ากับ 0.33 % โดยน้ำหนักของน้ำมันและมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วน เนื่องจากเมทานอลที่สูงเกินไปนั้นส่งผลต่อการแยกเฟสของน้ำและน้ำมันไบโอดีเซล ทำให้ปริมาณน้ำในเฟสของน้ำมันไบโอดีเซลมีสูงขึ้น เป็นผลทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเหลือจากปฏิกิริยามากขึ้น แสดงผลดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทั้ง 3 ประเภท

3.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยการออกแบบการทดลองทางสถิติ

การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (2^4) ด้วยการกำหนดฟังก์ชั่น คือ 2-Level factorial กำหนดค่า Number of factors เท่ากับ 4, Full factorial จำนวน 16 Runs, Number of replicates เท่ากับ 2, Run เท่ากับ 32 แสดงผลการทดลองการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่นและทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่นโดยวิธีการออกแบบการทดลอง แสดงดังตารางที่ 2

จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ระดับปัจจัยหลัก (Main effect) ที่มีผลต่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่นเพื่อให้ค่าคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลตรงตามค่าเป้าหมาย แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลการทดลองการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่นและทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่นโดยวิธี 2^k Factorial Design

การทดลอง	เอสเทอร์ริฟิเคชั่น				ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1*)	(2*)	(3*)	(4*)
1	8	70	3.5	1.0	6	70	1.0	0.5
2	6	50	5.5	1.5	4	50	2.0	1.0
3	8	50	3.5	1.0	6	50	1.0	0.5
4	6	70	5.5	1.5	4	70	2.0	1.0
5	6	70	3.5	1.5	4	70	1.0	1.0
6	6	70	5.5	1.0	4	70	2.0	0.5
7	8	70	5.5	1.5	6	70	2.0	1.0
8	6	50	5.5	1.0	4	50	2.0	0.5
9	8	50	3.5	1.5	6	50	1.0	1.0
10	8	70	3.5	1.5	6	70	1.0	1.0
11	6	70	5.5	1.0	4	70	2.0	0.5
12	6	50	3.5	1.0	4	50	1.0	0.5
13	8	70	3.5	1.0	6	70	1.0	0.5
14	8	50	3.5	1.0	6	50	1.0	0.4
15	6	50	5.5	1.5	4	50	2.0	1.0
16	8	50	5.5	1.0	6	50	2.0	0.5
17	8	50	5.5	1.0	6	50	2.0	0.5
18	8	70	5.5	1.0	6	70	2.0	0.5
19	6	70	3.5	1.0	4	70	1.0	0.5
20	6	70	3.5	1.0	4	70	1.0	0.5
21	6	50	5.5	1.0	4	50	2.0	0.5
22	8	70	3.5	1.5	6	70	1.0	1.0
23	6	70	5.5	1.5	4	70	2.0	1.0
24	8	50	5.5	1.5	6	50	2.0	1.0
25	6	50	3.5	1.0	4	50	1.0	0.5
26	8	50	3.5	1.5	6	50	1.0	1.0
27	6	70	3.5	1.5	4	70	1.0	1.0
28	8	70	5.5	1.0	6	70	2.0	0.5
29	8	70	5.5	1.5	6	70	2.0	1.0
30	6	50	3.5	1.5	4	50	1.0	1.0
31	6	50	3.5	1.5	4	50	1.0	1.0
32	8	50	5.5	1.5	6	50	2.0	1.0

ตารางที่ 3 ระดับปัจจัยหลัก (Main effect) ที่มีอิทธิพลต่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

ปัจจัยหลัก	คุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซล				
	จุดวาบไฟ	กรดไขมันอิสระ	ความหนืด	ความถ่วงจำเพาะ	จุดขุ่น
(1*)	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	สูง
(2*)	สูง	สูง	สูง	สูง	ต่ำ
(3*)	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
(4*)	สูง	ต่ำ	สูง	ต่ำ	สูง

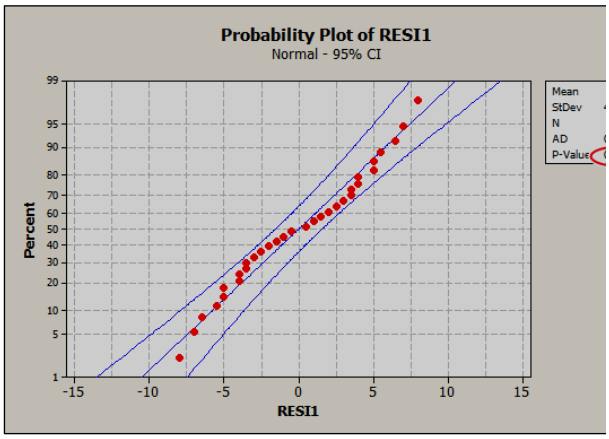
จากผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่า ค่าจุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลที่ทำการผลิตได้เป็นค่าเป้าหมายเนื่องจากจะนำไปใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำจึงต้องมีการควบคุมปัจจัยของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่นให้มีอัตราส่วนเมทานอล (1*) และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (2*) และเวลาในการทำปฏิกิริยา (4*) ที่สูง ส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบส (3*) ที่ต่ำจึงทำให้ค่าของจุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าใกล้เป้าหมายมากที่สุด เนื่องจากในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลไม่สามารถกำจัดเมทานอลออกไปได้ทั้งหมด จึงเป็นเหตุให้ไบโอดีเซลมีโอกาสติดไฟได้ ซึ่งจะเป็นอันตรายเพิ่มขึ้นหากจุดวาบไฟต่ำกว่า 130 $^{\circ}$C หากมีเมทานอลผสมในไบโอดีเซลมากเกินไปจะมีผลต่อชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ ดังนั้นในการควบคุมคุณภาพการผลิตไบโอดีเซลควรควบคุมปริมาณเมทานอลไม่ให้มีปริมาณมากเกินไป

จากรูปที่ 4 เป็นการตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลค่าจุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลที่ทำการผลิต โดยข้อมูลที่ได้เป็นเส้นตรงไม่มีแนวโน้มการกระจายตัวหรือแตกกลุ่มเกิดขึ้น พบว่า ค่า P-value เท่ากับ 0.348 ซึ่งมากกว่าค่า α เท่ากับ 0.05 ดังนั้นถือได้ว่าแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบเหมาะสมมีการกระจายตัวแบบแจกแจงปกติที่ความเชื่อมั่น 95%

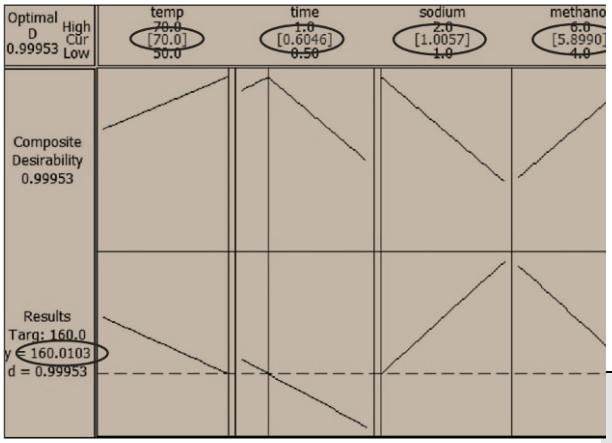
จากผลการตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าจุดวาบไฟในแต่ละปัจจัยที่อัตราส่วนเมทานอล 5.8 %โดยน้ำหนัก (%wt) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 70 องศาเซลเซียส ($^{\circ}$C) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบส 1.0 %โดยน้ำหนัก (%wt) และเวลาในการทำปฏิกิริยา 0.6 ชั่วโมง (h) ของปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ริฟิเคชั่น แสดงดังตารางที่ 4 โดยค่าจุดวาบไฟที่สอดคล้องกับน้ำมันไบโอดีเซลที่มีคุณภาพดีมีค่าเป้าหมายของจุดวาบไฟอยู่ที่ 160 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 5

ตารางที่ 4 การกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าจุดวาบไฟ

หลัก	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม	หน่วย
(1*)	Methanol	5.8	%wt
(2*)	Temp	70	$^{\circ}$C
(3*)	Sodium	1.0	%wt
(4*)	Time	0.6	h



รูปที่ 4 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างสำหรับค่าจุดวาบไฟ



รูปที่ 5 ผลการตอบสนองระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าจุดวาบไฟ

จากผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติสามารถเลือกใช้สภาวะที่ดีที่สุดที่มีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์-ริฟิเคชั่น (ตารางที่ 4) ส่วนปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่นสามารถเลือกจากระดับปัจจัยที่กำหนดไว้ในการทดลอง หรือสามารถนำช่วงของระดับปัจจัย ได้แก่ เวลา และอุณหภูมิ มาทำการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมได้ ผลแสดงดังตารางที่ 5 และทำการควบคุมระดับปัจจัยในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ให้เป็นไปตามค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ แล้วนำน้ำมันไปทดสอบคุณสมบัติ แสดงผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ค่าสภาวะการทดลองที่เหมาะสมของปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่นและทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น

คุณสมบัติ	ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่น ระดับปัจจัย			
	Methanol (%wt)	Temp (°C)	H_2SO_4 (%wt)	Time (h)
จุดวาบไฟ	7.8	70	3.5	1.10
กรดไขมันอิสระ	6.0	50	3.5	1.24
ความหนืด	8.0	70	5.5	1.50
ความถ่วงจำเพาะ	4.0	60	4.8	1.25
จุดขุ่น	8.0	50	3.5	1.50
คุณสมบัติ	**ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น ระดับปัจจัย**			
	Methanol (%wt)	Temp (°C)	Sodium (%wt)	Time (h)
จุดวาบไฟ	5.8	70	1.0	0.60
กรดไขมันอิสระ	4.0	50	1.0	0.74
ความหนืด	6.0	70	2.0	1.0
ความถ่วงจำเพาะ	4.0	60	1.8	0.75
จุดขุ่น	6.0	50	1.0	1.0

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการควบคุมระดับปัจจัย

คุณสมบัติ	ผลการทดลอง	ค่ามาตรฐาน	หน่วย
จุดวาบไฟ	177	160	°C
กรดไขมันอิสระ	0.51	0.50	mg_{NaOH}/g
ความหนืด	3.11	3.69	Cst
ความถ่วงจำเพาะ	0.86	0.88	g/m^3
จุดขุ่น	5	4	°C

5. สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลให้ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับระดับปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ประโยชน์ในแต่ละประเภท เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อนำไปใช้งานกับเครื่องปั่นกระแสไฟฟ้ารอบต่ำทำให้คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่เหมาะสมในการนำไปใช้ คือ จุดวาบไฟ ซึ่งมีผลต่อการจุดติดของเครื่องยนต์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยโครงการ

ยกระดับปริญญานิพนธ์ R2EL มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และขอขอบพระคุณ ห้างหุ้นส่วน เรวดีการค้า ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] จักรพงศ์ ไชยบุรี และ สรพงษ์ แสงสุวรรณ. 2556. การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KF/CaO ในตัวทำละลายร่วม. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 41(1) 176-182.

[2] Murayama, T. 1994. Evaluation vegetable as a diesel fuel. INFORM 5., 1138-1145.

[3] ดนุพงษ์ สรรพอุดม ชาญณรงค์ อัศวเทศานุภาพ. 2557. การหาค่าที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยการให้ความร้อนจากไมโครเวฟด้วยวิธีของทากูชิ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย. ครั้งที่ 24.

[4] Mbah, G.O., Onyiah M.I., Edeani, N.J., and Njoku, C.C. 2014. Effects of Process Parameters on Biodiesel Production from Refined Soy Oil. The Pacific Journal of Science and Technology, 15(1): 76-84.

[5] วิศนี สัตยานนท์. 2552. การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันพืชในเมทานอลและไอโซ-โพรพานอลสภาวะเหนือวิกฤต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] Sarantopoulos, I., Chatzisymeon, E., Foteinis, S. and Tsoutsos, T. 2014. Optimization of Biodiesel Production from Waste Lard by a Two-Step Transesterification Process under Mild Conditions. Energy for Sustainable Development. 23 (2014): 110-114.

[7] de Lima, A.P., de Lima, A.L., Santos, D.Q., Neto, W.B. 2013. Application of Factorial Design and Response Surface Methods to Optimize Ethyl Biodiesel Production from Corn Oil. Revista Virtual Quima. 5(5): 817-827.

การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์

An increasing efficiency solarcell by tracking sun

สันติ ขุนเภา* , ประจวบ กล่อมจิตร
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000 E-mail: santi.k@egat.co.th*, prachuab@su.ac.th

Santi Khunphao*, Prachuab Klomjit
Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Muang, Nakornpathom, 73000, E-mail: santi.k@egat.co.th*, prachuab@su.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา การเพิ่มประสิทธิภาพ ของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยวิธีทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ในระหว่างวัน การควบคุมแผงใช้มอเตอร์2ตัว ขับเคลื่อนผ่านแกนขับ 2แกน โดยแกนหลักคือทิศทางตะวันออกกับทิศตะวันตก และแกนรองคือทิศเหนือกับทิศใต้ มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่4แผงติดตั้งอยู่บนแกนขับร่วมกัน มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าของแต่ละแผงคือ 250วัตต์ ได้กำลังผลิตรวม 1,000 วัตต์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่1แผง ขนาดกำลังผลิต 250วัตต์โดยใช้โปรแกรม อัลกอริทึม ในการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของแผงโซล่าเซลล์ตลอดทั้งวัน และเมื่อสิ้นสุดวันให้หันแผงกลับมายังจุดตั้งต้นในวันใหม่ โดยที่มีการส่งข้อมูลต่างๆผ่านทาง ZIGBEE Wireless communication มายังอาคารที่ทำการ และกำลังไฟฟ้าที่ได้จะเชื่อมต่อกับ ระบบไฟฟ้าแบบ On Grid ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ผลการศึกษาพบว่า เซลล์แสงอาทิตย์แบบแผงเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์มีกำลังการผลิตไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า เซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 14%

คำหลัก เซลล์แสงอาทิตย์, เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์, ประสิทธิภาพ

Abstract

The purposes of this research were to explore how to increase the efficiency of solar cell by use method solar cell tracking sun, By use 2 DC motors drive the solar cell panel Through 2 axis. One is east –west and other is north-south position. The position of solar cell panel is assign by solar position algorithm that will guide the direction of the sun all of season. Each of four moveable panel solar cell have capacity 250W, all are installation in same axis drive ,total capacity is 1000W.And one panel fixed position solar cell is capacity 250W.The data of solar cell will send to control room via the ZIGBEE wireless communication and finally the output that solar cell produce is convert from DC to AC by micro inverter and on Grid connected to PEA(Provincial electricity Authority)

The results of this research revealed that the efficiency of solar cell tracking sun is higher than solar cell fix position about 14%.

Keywords: solar cell, tracking sun, efficiency

1. บทนำ

พลังงานไฟฟ้ามีความจำเป็นและต้องการเป็นอย่างยิ่งในการนำมาเพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์แก่กิจกรรมงานทั้งหลายในชีวิตประจำวันของคนเราแทบทั้งสิ้น แต่ก็มีข้อจำกัดในการได้มาซึ่งพลังงานไฟฟ้านี้หลายประการ เช่นการก่อสร้างโรงไฟฟ้าที่ทำได้ยาก และยังมีปัญหาใหญ่ที่สำคัญคือเชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่นน้ำมันและก๊าซธรรมชาติที่นับวันจะหมดลงไปเรื่อยๆ และยังหายากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงมีการเสาะแสวงหาแหล่งพลังงานที่มีความเหมาะสมที่จะใช้แทนเชื้อเพลิง ประเภทฟอสซิล โดยพลังงานแสงอาทิตย์ก็หนึ่งในตัวเลือกที่มีบทบาทสำคัญในการเข้ามาแทนที่เชื้อเพลิงฟอสซิลแบบเก่าด้วยเหตุผลที่ดีหลายประการ คือแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หาได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในภูมิภาคที่มีแสงแดดจ้าตลอดทั้งปีจึงมีความเหมาะสมทั้งปวงที่จะเลือกใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์นี้เพื่อนำมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า สอดคล้องกับกระแสการอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

แต่เพื่อให้การใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์เกิดประโยชน์สูงสุดจึงเกิดการพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ขึ้นมา เนื่องจากทางเดินของดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนเส้นทางเดินในแต่ละฤดูกาล การที่จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูง จึงต้องมีการออกแบบให้แผงรับแสงอาทิตย์ หันแผงไปหาดวงอาทิตย์ในตำแหน่งตั้งฉากกับทิศทางการส่องของแสง เพื่อทำให้เกิดความเข้มของแสงมากที่สุด

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

ทำการออกแบบและติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างแผงแบบอยู่กับที่และแผงแบบเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ โดยที่มีส่วนประกอบที่สำคัญ4ส่วนด้วยกัน1) ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ 2) ระบบแปลงพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็ก หรือไมโครอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า 3) ระบบส่งสัญญาณข้อมูลแบบไร้สาย และ 4) ระบบตรวจวัดและบันทึกข้อมูลการผลิตไฟฟ้า

2.1 ทำการออกแบบชุดเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่

สำหรับประเทศไทยตำแหน่งการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยของมุมเอียงที่ดีที่สุดคือ เอียงทำมุม 15องศากับแนวระนาบและหันไปทางด้านทิศใต้

รูปที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์

รูปที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์สถานที่จริง

2.2 ทำการออกแบบชุดเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์

โดยที่แกนหลักคือแนวตะวันออก-ตะวันตกสามารถหันแผงทำมุมกับแนวระนาบของแผงที่ขนานกับพื้นดินได้ข้างละ40 องศา ส่วนแกนรองคือแนวตำแหน่งทางด้านทิศเหนือ-ทิศใต้โดยส่วนของแกนรองนี้สามารถทำมุมเอียงได้ตั้งแต่ 75-105 องศาโดยวัดมุมจากทางด้านทิศเหนือ

รูปที่ 3 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์กับแผงแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์

รูปที่ 4 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์กับแผงแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์

ตำแหน่งของอุปกรณ์ต่าง ๆที่ติดตั้งอยู่กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบตามดวงอาทิตย์

หมายเลข 1 เซนเซอร์ตรวจวัดตำแหน่งมุมแกนรอง (ทิศเหนือ-ทิศใต้)

หมายเลข 2 ไมโครอินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อเข้าระบบไฟฟ้า

หมายเลข 3 เซนเซอร์ตรวจวัดตำแหน่งมุมแกนหลัก (ทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก)

หมายเลข 4 ตู้ควบคุม 1 เชื่อมต่อพลังงานไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า การตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าและ ส่งข้อมูลไร้สาย

หมายเลข 5 ตู้ควบคุม 2 ตรวจวัด คำนวณตำแหน่งมุม และ ควบคุมการทำงานมอเตอร์

หมายเลข 6 มอเตอร์แกนหลัก (ทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก) และกระปุกเกียร์

หมายเลข 7 มอเตอร์แกนรอง (ทิศเหนือ-ทิศใต้)

หมายเลข 8 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ 4x250 Wp

หมายเลข 9 Safety limit switch มอเตอร์แกนหลัก (ทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก)

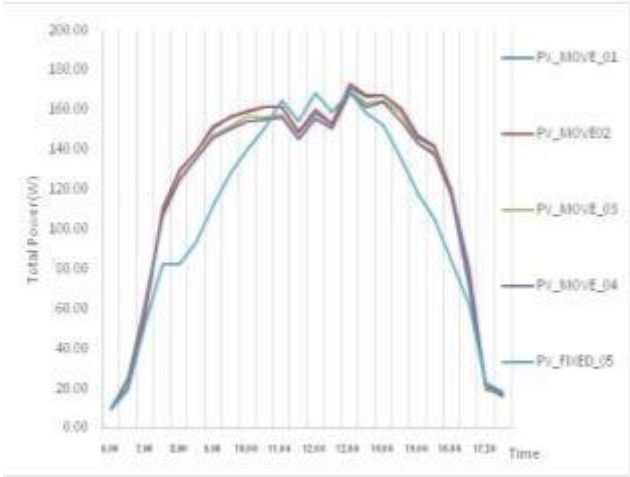
หมายเลข 10 Safety limit switch มอเตอร์แกนรอง (ทิศเหนือ-ทิศใต้)

3. ผลการดำเนินการ

ผลการดำเนินการโดยเก็บผลเฉลี่ยในเดือนมีนาคม พ.ศ.2558 โดยเก็บค่าเฉลี่ยทุก ๆครึ่งชั่วโมง เริ่มเก็บค่าตั้งแต่เวลา 06.00น. ไปจนถึงเวลา 18.00น.จากตารางที่ 1 จะแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าเป็น หน่วยวัตต์ (Watt) PV01-PV04 คือค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ PV05คือค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ และแสดงแต่ละช่วงเวลาที่แต่ละแผงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาได้

ตารางที่ 1 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละแผงในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558

Time	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05 (FIXED)
Hrs.	w	w	w	w	w
6.00	10.12	9.69	9.32	10.42	10.13
6.30	20.93	19.59	26.36	24.09	20.57
7.00	55.74	56.41	60.46	62.12	52.11
7.30	109.32	111.07	106.82	106.92	82.29
8.00	129.46	129.21	124.68	125.24	82.22
8.30	138.56	139.12	135.46	135.51	93.74
9.00	150.44	151.88	146.99	146.07	111.63
9.30	156.89	156.31	151.63	150.68	128.56
10.00	159.12	159.56	156.71	154.57	140.01
10.30	161.66	161.62	156.56	155.06	150.54
11.00	161.56	161.18	157.56	156.30	164.80
11.30	148.76	148.92	145.80	145.25	154.55
12.00	158.09	160.17	155.77	155.68	168.83
12.30	152.88	153.09	150.39	151.34	159.17
13.00	171.16	173.27	169.38	168.81	169.20
13.30	166.84	167.63	163.58	161.62	158.37
14.00	167.54	167.25	164.69	163.97	152.20
14.30	160.38	160.70	157.99	154.46	135.92
15.00	145.77	147.01	143.61	143.21	117.92
15.30	141.38	142.30	138.68	137.73	105.39
16.00	120.29	119.66	117.23	117.73	84.62
16.30	80.86	74.46	71.83	71.48	62.59
17.30	21.91	19.87	21.21	22.37	22.89
18.00	18.41	17.00	15.63	16.48	18.24
Average	121.17	121.12	118.68	118.21	106.10



รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และแบบอยู่กับที่

จากกราฟรูปที่ 4 จะพบว่าช่วงเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าแผงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ในช่วงเวลาก่อนเที่ยงและหลังเที่ยง

4. ข้อเสนอแนะ

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยกันคือ

1.ความเข้มของแสง กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะแปรผันตรงกับค่าความเข้มของแสงที่เพิ่มขึ้น นั่นจึงเป็นข้อดีที่ทำให้ประเทศไทยซึ่งมีความเข้มของแสงอาทิตย์ที่มากย่อมส่งผลให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าที่มากตามไปด้วย

2.อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นนั่นคือกำลังผลิตจะลดลงตามไปด้วย ข้อนี้จึงเป็นอุปสรรคที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในประเทศไทย

3.ในฤดูร้อนที่แสงอาทิตย์จ้าจะได้พลังงานมากกว่าฤดูฝนอันเนื่องมาจากการมีก้อนเมฆมาบดบังดวงอาทิตย์ส่งผลให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ลดน้อยลง

4.ในฤดูกาลที่แสงอาทิตย์อ้อมไปทางด้านทิศเหนือจะทำให้เห็นผลต่างของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแบบได้อย่างเด่นชัด เนื่องจากแผงแบบอยู่กับที่จะเอียงทำมุม15 องศาและหันไปทางด้านทิศใต้อยู่ตลอดเวลา จึงส่งผลให้ได้รับความเข้มของแสงอาทิตย์น้อยกว่าแผงแบบที่เคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์อย่างมี

นัยสำคัญ

5.ค่าพลังงานที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับแบบเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ประมาณ10%ของกำลังที่แผงผลิตออกมาได้ที่65% ของค่าออกแบบจากโรงงาน(คือ650Wh) ค่าพลังงานขับในส่วนนี้จะลดลงเมื่อเราออกแบบแผงให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและพัฒนาในส่วนทางกลเพื่อลดความเสียดทานในแต่ละจุดหมุนขับแกนหลักและแกนรองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

6. สำหรับพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แบ่งเป็น 2 Mode

6.1 Mode Solar panel tracking sun ในส่วนนี้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ทุกๆ5นาที ใช้เวลาขับเคลื่อนครั้งละ 30วินาที ดังนั้นใน1ชั่วโมงจะขยับ 12 ครั้ง

6.2 Mode Solar panel standstill ในส่วนนี้คือช่วงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้เคลื่อนที่

สามารถจำแนกพลังที่ใช้ขับเคลื่อนได้ดังตารางที่ 2ดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงการใช้พลังงานของระบบ

Mode	Power (W)	**ระยะเวลาทำงานใน 1ชั่วโมง**	**พลังงานที่ใช้** (Wh)
Solar panel tracking	100	6 นาที (10%)	10
Solar panel standstill	60	54 นาที (90%)	54
รวม		60 นาที (100%)	64

5. สรุป

จากการทดสอบพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2558 เซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่คงที่ประมาณ 14%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก โรงไฟฟ้าราชบุรีเพาเวอร์และความร่วมมือจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ประจวบคีรีขันธ์

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Heat and electricity from Solar Energy), กรุงเทพฯ, 2544

[2] วรนุช แจ้งสว่าง, พลังงานทดแทน, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551

[3] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์,http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm(วันที่สืบค้นข้อมูล 13 มกราคม 2558)

กลุ่มที่ 5

Manufacturing Processes

การพัฒนาและสร้างเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์

Development and Construction the Split and Slice Versatile Machine

จักนรินทร์ ฉัตรทอง[1*] วรพงค์ บุญช่วยแทน[1] รอมฎอน บูระพา[1] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์[1] สดุดี ชูสวัสดิ์[1]
[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย,
อ.เมือง จ.สงขลา 90000 E-mail: Jaknarin.c@hotmail.com*

Jaknarin Chatthong [1*] Worapong Boonchoutan [1] Romadorn Burapa [1] Surasit Rawangwong [1]
Sadudee Chusawat [1]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla, 90000
E-mail: Jaknarin.c@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและสร้างเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ เพื่อลดการใช้ปริมาณแรงงานคนในขั้นตอนการสไลด์ (หั่น) และการซอยให้เป็นเส้น โดยคำนึงถึงความสะอาดและความปลอดภัยทั้งผู้ปฏิบัติงานและผู้บริโภค โดยมีหลักการทำงานคือ ใช้มอเตอร์อินเวอร์เตอร์ขนาด 1 แรงม้า ความเร็ว 1450 รอบต่อนาที เป็นต้นกำลัง สามารถปรับความเร็วรอบได้ ชุดจานสไลด์และจานซอย มีใบมีด จำนวน 3 ใบ ส่วนของฝาปิดจะมีช่องใส่วัตถุดิบจำนวน 3 ช่อง ตามขนาดความหนาของการสไลด์และการซอย โดยจะใส่ครั้งละ 1 ชิ้น ผลการทดลองพบว่าเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์สามารถสไลด์แผ่นได้ 163.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็น 12.4 เท่าของแรงงานคน และการซอยเป็นเส้นได้ 44.75 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็น 6.3 เท่าของแรงงานคน ที่มีความสามารถในการสไลด์ 13.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และตัดซอย 7.1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ทั้งนี้สามารถสไลด์พืชผล เช่น มันฝรั่ง แครอท กล้วย ขิง ข่า เป็นต้น

คำสำคัญ : การหั่น การซอย เอนกประสงค์

Abstract

This thesis aims to development and construction of the split and slice versatile machine. For reducing the amount of labor in the process of slides and split with regard to clean and safety of workers and consumers. The principle of the machine uses power from the 1 horsepower motor speed 1450 RPM power transmission, and it can adjust the rotation speed. A set of split and slice blade has three blades. In addition, the cover has 3 channel input raw materials as follow the thickness of the split and slice by loading one piece per time. The result of this research shows that the split and slice versatile machine can slide 163.6 kilograms/hour equivalent to 12.4 times of the workers. And split cutting to stripe is 44.75 kilograms/hour equivalent to 6.3 times of the workers. Moreover, the slide cutting is 13.2 kilograms/hour and cutting is 7.1 kilograms per hour. In addition, this machine can slide various kinds of materials such as Potatoes, carrots, bananas, ginger etc.

Keyword : split, slice, versatile

1. บทนำ

การศึกษาถึงกระบวนการผลิตขิงซอยของพ่อค้าแม่ค้าในชุมชนหลังตลาดคอมแพล็กซ์ที่ตลาดสดอำเภอหาดใหญ่ พบว่ามีความต้องการเป็นจำนวนมาก แต่สภาพการผลิตปัจจุบันผู้ผลิตสามารถผลิตได้ประมาณ 9000 กิโลกรัมต่อเดือน คิดเป็นเงินมูลค่า 675,000 บาท ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค จากกระบวนการผลิตที่อาศัยแรงคนงานเป็นหลัก และมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก คือ ขิงที่สไลด์แล้วได้ 1 ตะกร้า น้ำหนักประมาณ 14 ถึง 15 กิโลกรัม แล้วนำมาซอยเป็นเส้น โดยขิง 1 กิโลกรัม ใช้เวลาสไลด์ประมาณ 6 นาที และใช้เวลาซอยประมาณ 12 นาที ดังนั้นเวลาผลิตขิงซอยต้องใช้ของมีคม เช่น มีดตัดซอย มีดตัดสไลด์ เป็นต้น ทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย และใช้เวลาในการผลิตที่นาน เมื่อต้องการเพิ่มผลผลิตก็ต้องเพิ่มจำนวนคน และต้องใช้เวลามากในการซอยขิงแต่ละครั้ง ขิงซอยที่ลูกค้าต้องการขนาดความกว้างของหน้าตัดเฉลี่ยประมาณ 2 มิลลิเมตรและความยาวเฉลี่ยประมาณ 60 มิลลิเมตร แต่ส่วนใหญ่ความยาวจะไม่ค่อยคำนึงถึง ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า ซึ่งต้องสั่งทำเป็นพิเศษ เช่น ในกรณีที่โรงงานทำขิงดองกระป๋องส่งไปประเทศญี่ปุ่นมีทั้งเส้นสั้น และยาวผสมกัน แต่บางครั้งอาจจะมีขนาดมาเกี่ยวของ เช่น ขนาดความกว้างของหน้าตัดเฉลี่ยประมาณ 2 มิลลิเมตร และความยาวประมาณ 20 มิลลิเมตร ในกรณีที่ลูกค้าสั่งทำเป็นพิเศษราคาจะแตกต่างกันประมาณกิโลกรัมละ 5 บาท เมื่อซอยเสร็จแล้วก็นำมาแช่น้ำสารฟอกขาว 1 น้ำ แล้วนำมาล้างน้ำสะอาดอีก 2 น้ำ เพื่อให้น้ำยาของสารฟอกขาวออกจากเนื้อขิงและแป้งที่อยู่ในเนื้อของขิงออกด้วย และนำมาแช่น้ำสารส้มอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้เส้นของขิงนั้นแข็งตัวและขาวขึ้น แล้วนำไปล้างน้ำสะอาดอีก 2 น้ำ ในการแช่น้ำแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 5 นาที เมื่อล้างน้ำเสร็จแล้วก็บรรจุใส่ถุงหรือภาชนะนำไปส่งออกขายตลาด ขั้นตอนในการผลิตเริ่มจากการนำวัตถุดิบที่ได้ คือ ขิงอ่อนและขิงแก่นำมาผ่านกระบวนการ โดยการนำขิงมาขูดเปลือกออก จากนั้นนำขิงที่ผ่านการขูดเปลือกมาสไลด์ให้เป็นแผ่นบาง ๆ และประกบแผ่นขิงที่สไลด์ให้เป็นชั้นเพื่อให้ง่ายต่อการซอย จากนั้นสามารถซอยขิงให้เป็นเส้นเล็กๆ ออกมา

ขั้นตอนแบบเดิมในการสไลด์เป็นแผ่น การประกบแผ่น และซอยให้เป็นเส้นนั้นจะต้องใช้เวลานาน และยุ่งยาก ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคจึงควรมีการปรังปรุงใหม่ โดยขั้นตอนการประกบแผ่นเปลี่ยนเป็นการใช้สายพานลำเลียงแทน แล้วซอยเป็นเส้นเพื่อลดความยุ่งยากในการทำงาน และลดเวลาในการผลิตดังวิธีการทำงานแบบใหม่จึงต้องอาศัยเครื่องจักรเข้ามาช่วยในการทำงาน

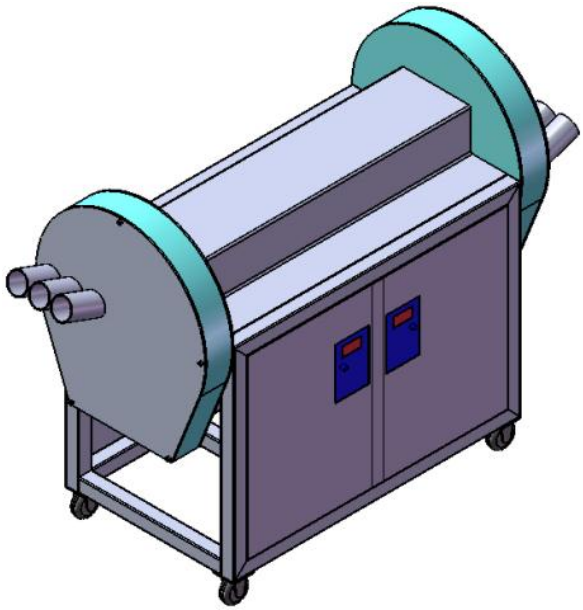
ด้วยเหตุผลนี้ทางผู้จัดทำโครงการจึงได้นำมาเป็นแนวทางในการศึกษาและสร้างเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ เพื่อหวังว่าเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์จะเป็นสิ่งที่มีส่วนในการช่วยให้เกิดการเพิ่มการผลิตและลดปัญหาการเมื่อยล้าของการทำงานจากการหั่นและซอย

2. รูปแบบ

ขั้นตอนของการออกแบบ พัฒนา และสร้างเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 การออกแบบและคำนวณชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ

หลักการทำงานของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการหั่นและซอย จากหลักการดังกล่าวจึงนำไปสู่กระบวนการออกแบบและคำนวณชิ้นส่วนต่าง ๆ [1], [2], [3], [4], [5] โดยการออกแบบแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบ Isometric ของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์

2.2 ส่วนประกอบของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์

1) ชุดโครงเครื่อง ได้ออกแบบมีขนาด 480 × 910 × 965 มิลลิเมตร ทำจากสแตนเลสทั้งหมด ประกอบด้วย ชุดซอย ชุดสไลด์ ถาดรองรับ ชุดควบคุมความเร็ว ชุดป้อน และลูกล้อ เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2

(ก) ลักษณะด้านหน้าของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์

(ข) ลักษณะด้านข้างของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์

รูปที่ 2 ลักษณะรูปร่างของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์

2) ชุดซอย และชุดสไลด์ ได้ออกแบบให้มีลักษณะโค้งมน เพื่อรองรับการหมุนตัดที่เหมาะสม แสดงดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 ลักษณะชุดซอย และชุดสไลด์ ของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์

ภายในของชุดซอย และชุดสไลด์ มีจานซอย และจานสไลด์ ซึ่งติดใบมีดไว้ที่หน้าจาน และมีช่องสำหรับให้ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนซอยและสไลด์ ออกมาได้อย่างสะดวก แสดงดังรูปที่ 4

(ก) จานซอย

(ข) จานสไลด์

รูปที่ 4 จานซอยและจานสไลด์ของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์

3) ชุดป้อนชิ้นงาน มีลักษณะเป็นท่อสแตนเลสภายในมีพลาสติก ทำหน้าที่ดันชิ้นงานให้เข้าสู่การซอยและสไลด์ โดยใช้สปริงเป็นตัวช่วยในการดัน แสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 ชุดป้อนชิ้นงานของเครื่องซอยขิงอัตโนมัติ

4) ชุดควบคุมความเร็ว เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วหมุนของมอเตอร์ (Inverter) ของทั้งสองมอเตอร์ที่ควบคุมการสไลด์และซอยของเครื่องทั้งระบบ แสดงดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 ชุดควบคุมความเร็วของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์

2.3 วิธีการทดสอบและปรับปรุงแก้ไข

ในการทดสอบและปรับปรุงแก้ไขเครื่องได้มีการดำเนินการปรับปรุงซึ่งจะมีสาเหตุที่ต้องปรับปรุงและผลการทดสอบดังนี้

1) การทดลองครั้งที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อหาค่าความเร็วหมุนที่เหมาะสมของการสไลด์ และซอยที่ดีที่สุด โดยการทดลองจะให้ความเร็วรอบตั้งแต่ 500-100 รอบต่อนาที ขิงที่ใช้ทดลองมีน้ำหนักไม่เกิน 100 กรัม (g) ต่อหนึ่งหัว

2) การทดลองครั้งที่ 2 การทดลองหาขนาดการสไลด์และซอยที่แท้จริง โดยเอาผลการทดลองที่ดีที่สุดของการทดลองครั้งที่ 1 มาทดลอง เพื่อหาขนาดที่แท้จริงของแต่ละช่องการซอยและสไลด์

3) การทดลองครั้งที่ 3 เป็นการทดลองโดยเอาผลการทดลองที่ดีที่สุดของการทดลองครั้งที่ 1 มาทดลอง เพื่อหาเวลา และเปรียบเทียบเวลาระหว่างการใช้แรงงานคนกับเครื่องจักร

3. ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล

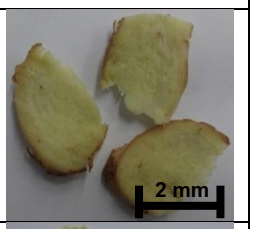
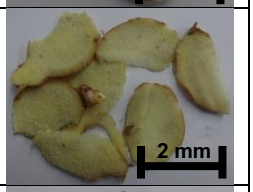
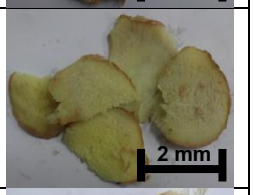
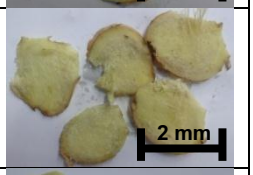
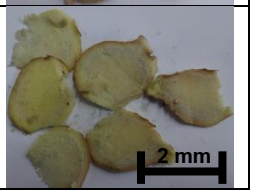
จากการออกแบบ พัฒนา และสร้างเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ ในขั้นตอนของผลการทดลองจะดำเนินการทดลองโดยใช้ขิงเป็นวัสดุทดลอง และทดลองครบทั้งหมดของกระบวนการ ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดลองดังนี้

3.1 ผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่ 1 การทดลองเพื่อหาค่าความเร็ว

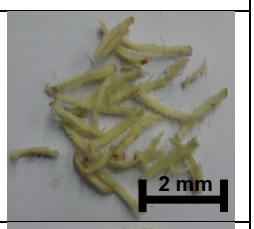
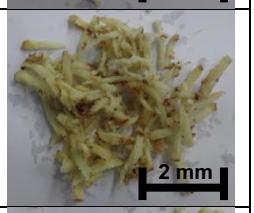
หมุนที่เหมาะสมของการสไลด์ และซอยที่ดีที่สุด โดยการทดลองจะให้ความเร็วรอบตั้งแต่ 15-75 รอบต่อนาที แสดงดังตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการหมุนสไลด์ของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์

ครั้งที่	รอบการหมุน (rpm)	ผลการทดลอง (การสไลด์)
1	15	
2	30	
3	45	
4	60	
5	75	

จากตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการหมุนสไลด์ของเครื่องซอยขิงแบบอัตโนมัติ เห็นได้ว่า ความเร็วรอบต่ำ (15 และ 30 รอบต่อนาที) ทำให้แผ่นขิงมีลักษณะความหนาที่ไม่สม่ำเสมอ ทั้งสองด้าน เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเป็น 45 รอบนาที ทำให้แผ่นขิงมีความสมบูรณ์ มีความเท่ากันทั้งสองด้าน แผ่นเรียบสม่ำเสมอ และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบสูง (60 และ 75 รอบต่อนาที) ทำให้แผ่นขิงเกิดเส้นใยขึ้นบริเวณผิวขิง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมที่สุดของการสไลด์ขิงแผ่น

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบการหมุนซอยของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์

ครั้งที่	รอบการหมุน (rpm)	ผลการทดลอง (การซอย)
1	15	
2	30	
3	45	
4	60	
5	75	

จากตารางที่ 2 การเปรียบเทียบการหมุนซอยของเครื่องซอยขิงแบบอัตโนมัติ เห็นได้ว่า ความเร็วรอบต่ำ (15 และ 30 รอบต่อนาที) ทำให้เส้นขิงมีลักษณะความหนาที่ไม่สม่ำเสมอ ทั้งสองด้าน ทำให้เส้นขิงเกิดเส้นใยขึ้นบริเวณผิวขิง เมื่อเพิ่มความเร็วรอบ เป็น 45 รอบนาที ทำให้เส้นขิงมีความสมบูรณ์ มีความเท่ากันทั้งสองด้าน เส้นเรียบสม่ำเสมอ และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบสูง (60 และ 75 รอบต่อนาที) ทำให้เส้นขิงไม่เป็นเส้น ขิงละเอียดไม่มีรูปทรงของความเป็นเส้น เกิดเป็นของเสียจากการซอย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมที่สุดของการซอยขิงเส้น

2) การทดลองครั้งที่ 2 การทดลองหาขนาดการสไลด์และซอยที่แท้จริง โดยเอาผลการทดลองที่ดีที่สุดของการทดลองครั้งที่ 1 มาทดลอง แสดงดังตารางที่ 3-4

การทดลองหาขนาดแผ่นสไลด์ โดยสไลด์ที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมที่สุดของการสไลด์ขิงแผ่น ซึ่งขนาดของการสไลด์สามารถทำได้ 2 ขนาด คือ 2.5 และ 4 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดลองหาขนาดแผ่นสไลด์ของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ (มิลลิเมตร)

ครั้งที่	ขนาดของการสไลด์	ขนาดที่วัดได้	ผลต่าง	เปอร์เซ็นต์
1	2.50	2.51	-0.01	0.40
2	2.50	2.52	-0.02	0.80
3	2.50	2.49	0.01	0.40
4	2.50	2.50	0.00	0.00
5	2.50	2.51	-0.01	0.40
			เฉลี่ย	0.40
1	4.00	4.01	-0.01	0.25
2	4.00	3.99	0.01	0.25
3	4.00	4.02	-0.02	0.50
4	4.00	4.03	-0.03	0.75
5	4.00	3.97	0.03	0.75
			เฉลี่ย	0.50

จากผลการทดลองหาขนาดแผ่นสไลด์ ทั้ง 2 ขนาด คือ 2.5 และ 4 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 3 มีขนาดคลาดเคลื่อนเล็กน้อย โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่ถึง 1 % ดังนั้นสามารถเชื่อได้ว่าขนาดของการสไลด์ขิงแผ่นเป็นจริง

การทดลองหาขนาดซอยขิงเส้น โดยซอยที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมที่สุดของการซอยขิงเส้น ซึ่งขนาดของการซอยสามารถทำได้ 2 ขนาด คือ 2.5 และ 6 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การทดลองหาขนาดแผ่นสไลด์ของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ (มิลลิเมตร)

ครั้งที่	ขนาดของการสไลด์	ขนาดที่วัดได้	ผลต่าง	เปอร์เซ็นต์
1	2.50	2.47	0.03	1.20
2	2.50	2.48	0.02	0.80
3	2.50	2.51	-0.01	0.40
4	2.50	2.52	-0.02	0.80
5	2.50	2.50	0.00	0.00
			เฉลี่ย	0.64
1	6.00	6.01	-0.01	0.17
2	6.00	5.89	0.11	1.83
3	6.00	5.98	0.02	0.33
4	6.00	6.05	-0.05	0.83
5	6.00	6.03	-0.03	0.50
			เฉลี่ย	0.73

จากผลการทดลองหาขนาดซอยขิงเส้น ทั้ง 2 ขนาด คือ 2.5 และ 6 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 4 มีขนาดคลาดเคลื่อนเล็กน้อย โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่ถึง 1 % ดังนั้นสามารถเชื่อได้ว่าขนาดของการซอยเป็นจริง

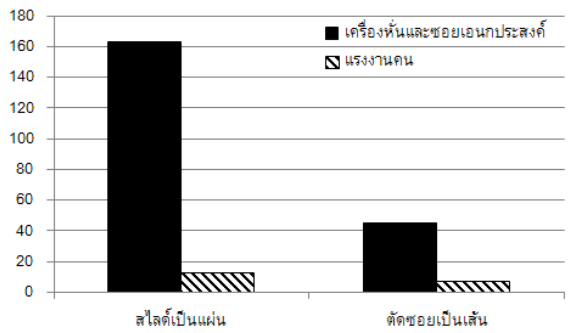
การทดลองครั้งที่ 3 เป็นการทดลองโดยเอาผลการทดลองที่ดีที่สุดของการทดลองครั้งที่ 1 มาทดลอง เพื่อหาเวลา และเปรียบเทียบเวลาระหว่างการใช้แรงงานคนกับเครื่องจักร แสดงดังตารางที่ 5

จากการทดลองสไลด์เป็นแผ่นและตัดซอยเป็นเส้นเปรียบเทียบระหว่างแรงงานคนกับเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ สรุปได้ว่าเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์สามารถสไลด์และตัดซอยได้เร็วกว่าการใช้แรงงานคน โดยผลการทดลองเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์จะมีความสามารถในการสไลด์ประมาณ 163.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และตัดซอยเป็นเส้นได้ประมาณ 44.75 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ในขณะที่การทดลองของแรงงานคนที่มีความสามารถในการสไลด์ได้เพียง ประมาณ 13.2 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และตัดซอยได้เพียง ประมาณ 7.1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 7

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบความสามารถระหว่างเครื่องกับแรงงานคน

รูปแบบการผลิต	สไลด์เป็นแผ่น	ตัดซอยเป็นเส้น
	กิโลกรัมต่อชั่วโมง	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
เครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์	163.6	44.75
แรงงานคน	13.2	7.1

ดังนั้นการสไลด์แผ่น คิดเป็น 12.4 เท่า และตัดซอยเป็นเส้น คิดเป็น 6.3 เท่า นอกจากนี้เมื่อแรงงานคนปฏิบัติงานเป็นระยะเวลาหนึ่งผู้ปฏิบัติงานจะมีความเมื่อยล้าเกิดขึ้น ในขณะที่เครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบระหว่างแรงงานคนกับเครื่อง

3.2 ข้อได้เปรียบเสียเปรียบ

จากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ สามารถหั่นและซอยได้ในช่องใส่ที่กำหนดให้เท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปข้อได้เปรียบเสียเปรียบในการใช้งานเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์

ข้อได้เปรียบ

1) มีความเร็วตัดและความเร็วป้อนชิ้นงานที่สม่ำเสมอ

2) ขนาดของการหั่นและซอยมีความเท่ากันตลอด

3) ลดความเมื่อยล้าของคนจากการหั่นและซอย

4) ชิ้นงานมีความสมบูรณ์

5) สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

ข้อเสียเปรียบ

1) ชิ้นงานที่จะนำมาหั่นและซอยต้องมีขนาดเท่ากับช่องที่ป้อนชิ้นงาน

2) ต้องใช้คนในการป้อนชิ้นงานชิ้นต่อไป ในกรณีที่ชิ้นงานชิ้นแรกใกล้หมด

3) หั่นและซอยได้ระยะสั้นๆ เนื่องจากข้อจำกัดของความยาวของช่องป้อนชิ้นงาน

3.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ผลการดำเนินงานข้างต้นจึงสรุปได้ว่าแรงงานคน 1 คน ทำงานได้วันละ 8 ชั่วโมงต่อวัน ค่าจ้างในการทำงานกิโลกรัมละ 6 บาท สามารถสไลด์และตัดซอยเป็นเส้นได้ 20.3 กิโลกรัมต่อวัน คิดเป็นจำนวนเงินทั้งหมด 121.8 บาทต่อวัน และเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ใช้แรงงานคน 1 คน ทำงานได้วันละ 8 ชั่วโมงต่อวัน ในการควบคุมเครื่องได้ 208.35 กิโลกรัมต่อวัน คิดเป็นจำนวนเงิน 1,250.1 บาทต่อวัน หักค่าไฟฟ้า ค่าโสหุ้ย ค่าจ้างแรงงานคน และค่าเสื่อมราคาของเครื่องเรียบร้อยแล้ว ซึ่งมีระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ 54 วัน และเมื่อเปรียบเทียบรายได้ในการสไลด์และตัดซอยเป็นเส้นระหว่างคนกับเครื่องคิดเป็น 12 เท่า ของการทำงานด้วยคนหรือการทำงานด้วยแรงงานคน 12 คน นั่นเอง

นอกจากนี้เครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ ยังสามารถลดค่าใช้จ่าย ลดแรงงานคน ลดปัญหาความเมื่อยล้า และการเจ็บป่วยจากการทำงานโดยวิธีการทำงานด้วยแรงงานคนอีกด้วย

4. สรุป

การทดลองสไลด์ขิงและตัดซอยเป็นเส้นด้วยเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ จะนำขิงที่มีอายุประมาณ 4 ถึง 6 เดือน เริ่มจากการนำขิงเป็นแง่งมาตัดให้เป็นหัวแล้วทำการขูดเปลือกขิงออก โดยขิงที่นำมาทดลองจะมีขนาดความยาวประมาณ 70 ถึง 110 มิลลิเมตร โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) จากการทดลองเครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ จะมีความสามารถในการสไลด์ประมาณ 163.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และตัดซอยได้ประมาณ 44.75 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

2) เครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ สามารถสไลด์และตัดซอยเป็นเส้นพืชผลชนิดอื่นที่มีรูปร่างใกล้เคียงกับขิง เช่น มันฝรั่ง แครอท กล้วย เป็นต้น ได้อีกด้วย
3) ลดความเมื่อยล้าและความเครียดจากการปฏิบัติงานที่ต้องใช้ทักษะความชำนาญสูง
4) เครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ ที่สร้างขึ้นมีวิธีการทำงานที่สะดวกและง่ายต่อการใช้งานและการบำรุงรักษา
5) เครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ สามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 54 วัน

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนา ออกแบบ และสร้าง เครื่องหั่นและซอยเอนกประสงค์ เพื่อให้เครื่องมีประสิทธิภาพสูงสุดที่จะนำไปสู่การทำงานจริง พบว่าควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1) ชุดใบมีดที่ใช้ในการสไลด์มีความหนาอยู่ จึงควรมีการออกแบบชุดใบมีดในการสไลด์ให้บางและคม แต่ยังคงความแข็งแรงอยู่เหมือนเดิม และสามารถปรับใบมีดได้เพื่อให้สามารถปรับระดับความหนาบางของชิ้นงานได้ เพื่อสะดวกต่อความต้องการของตลาด
2) ชุดใบมีดตัดซอยควรมีการร่องฟันให้มีหลายขนาดด้วยกัน และสามารถตัดซอยได้เร็วขึ้น
3) ช่องใส่ชิ้นงานมีขนาดเล็กจึงควรปรับขนาดของช่องใส่ชิ้นงานให้ใหญ่กว่าเดิม และควรปรับรูปทรงของช่องใส่ชิ้นงานให้เหมาะกับวัตถุดิบชนิดอื่นด้วย
4) รูปทรงของเครื่องควรปรังปรุงให้ดูทันสมัยและลดเวลาในการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพให้มากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ประจำปีงบประมาณ 2556

เอกสารอ้างอิง

[1] อนันต์ วงศ์กระจ่าง. ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โอ เอส พริ้นติ้งเฮ้าส์. 2533.

[2] มนูกิจ พานิชกุล. แนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องจักรกล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ดวงกมลสมัย. 2548.

[3] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2549.

[4] ชนะ กสิภาร์. ความแข็งแรงของวัสดุ. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์. 2536.

[5] บรรเลง ศรนิล และ ปรเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์. ตารางโลหะ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2524.

ผลกระทบของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 6061-T5

Effects of Friction Stir Welding Parameters on Microstructures and Mechanical Properties of Aluminum Semi-Solid Casting 6061-T5

วรพงค์ บุญช่วยแทน [1*] จักรนรินทร์ ฉัตรทอง [1] ประภาศ เมืองจันทร์บุรี [2]
[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
[1] หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อ.เมือง จ.สงขลา 90000 E-mail: worapong.b@rmutsv.ac.th*
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90100

Worapong Boonchoutan [1]* Jaknarin Chatthong [1] Prapas Muangjunburee [2]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Srivijaya
[1] Materials Processing Technology Research Unit, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla, 90000
E-mail: worapong.b@rmutsv.ac.th*
[2] Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering,
Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla, 90100

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการทางความร้อน T5 หลังการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ที่ส่งผลต่อสมบัติทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกล ของรอยเชื่อมอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 6061 หนา 4 มิลลิเมตร ความเร็วหมุนเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกล โดยเมื่อปรับค่าความเร็วหมุนเชื่อมเพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อเพิ่มความเร็วหมุนเชื่อมขึ้นไปอีกกลับทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง รวมถึงกระบวนการทางความร้อน T5 ที่ทำให้เกิดรอยแตกร้าวเล็ก ๆ ทั่วบริเวณแนวเชื่อมซึ่งส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลเช่นเดียวกัน จากงานวิจัยครั้งนี้พบว่าที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1000 รอบต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 160 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าความแข็งแรงเฉลี่ยสูงสุด 176.75 MPa พื้นผิวการแตกหักจากการทดสอบความแข็งแรงขาดในบริเวณระหว่าง TMAZ และ HAZ ส่วนค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุด 82.60 Hv ที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1400 rpm อยู่ในบริเวณ SZ ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นไปพร้อมกับค่าความเร็วหมุนเชื่อมที่เพิ่มขึ้น ที่ส่งผลมาจากการเสียรูปร่างของเกรน และการกระจายตัวของเกรนที่มีขนาดเล็ก

คำหลัก การเชื่อมเสียดทานแบบกวน อะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 6061 การบ่มเทียม

Abstract

This research was to investigate the influence of heat treatment T5 in semi-solid cast aluminum 6061 after friction stir welding on the metallurgical and mechanical properties. Rotation speed and welding

speed were the factors affecting mechanical properties. When the rotation speed increased, strength was enhanced as well. Nevertheless, the dramatically increasing rotation speed resulted a decrease of material strength, which the heat treatment T5 causing to micro cracks around the weld, which the welding affects the mechanical properties as well. The results of research showed that the optimal parameter is rotational speed 1000 rpm and welding speed 160 mm/min with the average maximum of tensile strength 176.57 MPa. The fracture surface from tensile test was lacking in the area between TMAZ and HAZ. In addition, the hardness was highest average 82.60 Hv at rotation speed 1400 rpm in the SZ. Hardness increased with increasing rotation speed, which affecting the shape of the grain and distribution of the small grain.

Keywords: Friction Stir Welding, Aluminum Cast Semi Solid Metal 6061 (SSM 6061), Artificial Aging Heat Treatment

1. บทนำ

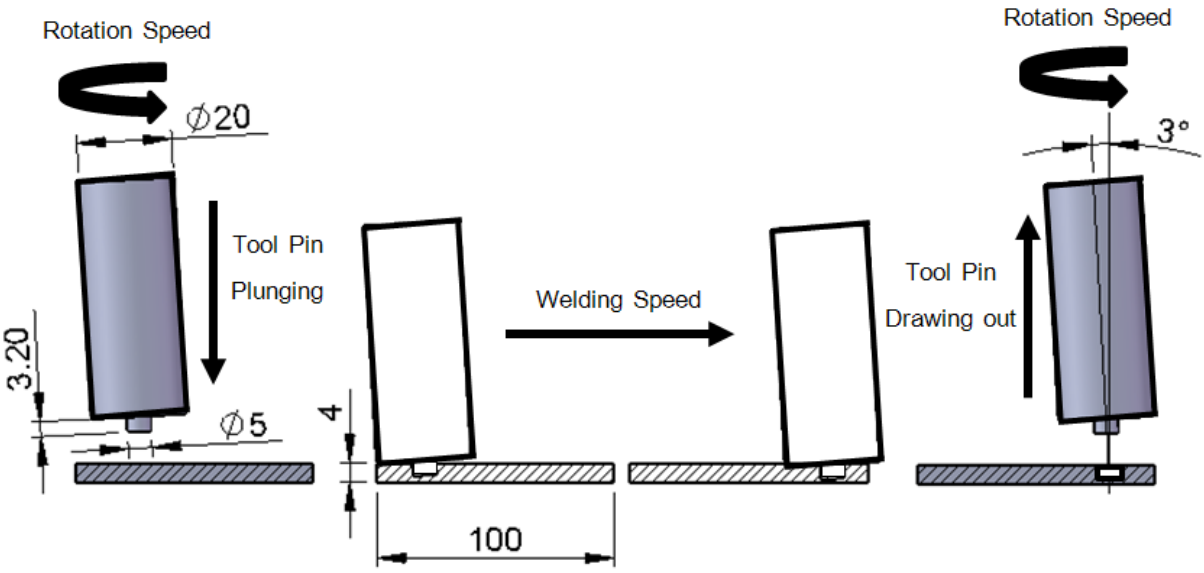
อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีสมบัติที่น่าสนใจ เช่น สมบัติทางกล ความต้านทานการกัดกร่อนที่ดี หรือการนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดี อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีการนำไปใช้มากในภาคอุตสาหกรรม ภาคการขนส่งทั้งทางบกและทางทะเล เช่น ยานยนต์ รถไฟ การบินและอวกาศ แต่น่าเสียดายที่การใช้อะลูมิเนียมบางอย่างไม่สามารถกระทำได้ เพราะมีความสามารถในการเชื่อมต่ำ ในขณะที่เทคนิคการเชื่อมทั่ว ๆ ไปส่งผลต่อค่าความแข็งแรงเชิงกล หรือส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องในแนวเชื่อมได้ ดังนั้นวิธีการแก้ปัญหา คือกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่เชื่อมในสภาวะของแข็ง กระบวนการเชื่อมนี้ช่วยให้การประสานกันของแนวเชื่อมให้เป็นไปตามธรรมชาติ ปัญหาด้านข้อบกพร่องในแนวเชื่อมลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการเชื่อมแบบเดิม [1]

การเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding; FSW) ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นกรรมวิธีการเชื่อมที่มีคุณภาพสูง เหมาะสำหรับโลหะผสม มีความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับการเชื่อมแบบหลอมละลาย การเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่รู้จักกันโดยทั่วไปมี 4 บริเวณ คือ บริเวณแนวเชื่อม (Stir Zone; SZ) บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนทางกล (Thermo-Mechanically Affected Zone; TMAZ) บริเวณกระทบร้อน (Heat Affected Zone; HAZ) และบริเวณเนื้อโลหะเดิม (Base Metal; BM) [2]

อะลูมิเนียม 6061 ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยานยนต์ เพราะมีสมบัติทางกลที่ดี เช่น มีความแข็งแรง มีความสามารถในการขึ้นรูปดี มีความต้านทานการกัดกร่อน และมีราคาถูก เป็นต้น [3] ในขณะที่งานวิจัยการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียม 6061 ก็มีอย่างต่อเนื่อง เช่น ความเร็วหมุนเชื่อม และความเร็วเดินเชื่อมมีผลโดยตรงต่อโครงสร้างทางมหภาค จุลภาค และสมบัติทางกลของแนวเชื่อม [4] โครงสร้างทางโลหะวิทยาบริเวณแนวเชื่อมมีความละเอียดกว่าเนื้อโลหะเดิม ทั้งด้านแอดวานซ์ซิงไซด์ และด้านรีทรีทติ้งไซด์ ซึ่งเกิดการบิดเบี้ยวของเกรนไม่เป็นรูปร่าง เนื่องจากการหมุนของหัวกวน และเกิดรอยแตกบริเวณแนวเชื่อมเนื่องจากกระบวนการทางความร้อนหลังการเชื่อม [5] ปัจจัยของความเร็วหมุนเชื่อม และความเร็วเดินเชื่อมส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อม [6] บริเวณแนวเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน T4 การตกตะกอนของเกรน Mg_2Si มีน้อยกว่าบริเวณแนวเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 ซึ่งสามารถละลายเกรน Mg_2Si ในอะลูมิเนียมเมทริกซ์ได้ดีกว่า [7]

จากงานวิจัยหลาย ๆ เรื่องดังกล่าว ได้มีการพัฒนาสมบัติทางกลของแนวเชื่อมเสียดทานแบบกวน 6061 แต่ก็ยังขาดการศึกษากระบวนการทางความร้อน T5 ที่สามารถลดขั้นตอนการทำกระบวนการทางความร้อนลงได้ ทำให้ประหยัดเวลา เพิ่มผลผลิต ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ จะศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ใช้ในการดำเนินงานของ FSW คือ ความเร็วของเครื่องมือที่ใช้ในการหมุนเชื่อม ความเร็วเดินเชื่อมของเครื่องมือกวน และเพิ่มการทำกระบวนการทางความร้อน T5 หลังการเชื่อม โดยมีผลวิจัยเกี่ยวกับ สมบัติทางโลหะวิทยา และสมบัติ

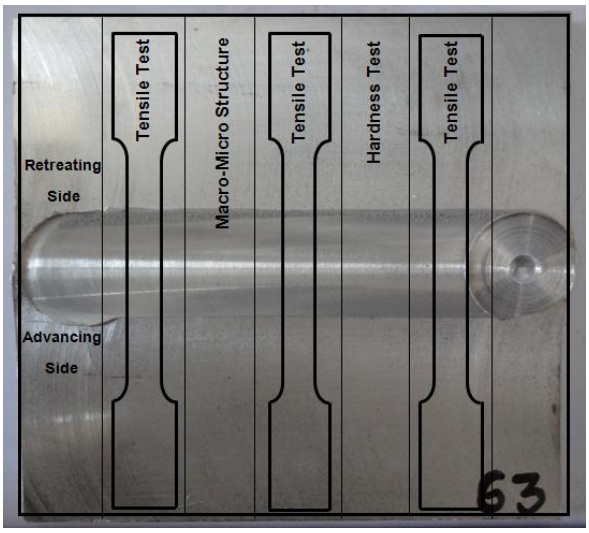
ทางกล เพื่อที่จะสามารถใช้ในการตอบสนองต่อภาคอุตสาหกรรมการเชื่อมที่เกี่ยวข้องได้ดีที่สุด



รูปที่ 1 เครื่องมือและกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทดลองการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่ส่งผลกระทบมาจากความเร็วหมุนเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อม ที่มีอิทธิพลต่อแรงเสียดทานของวัสดุอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 6061 ที่หล่อด้วยกระบวนการหล่อแบบ GISS [8] เพื่อผลในการเชื่อมที่ดีที่สุด ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทดลองมีดังนี้ Si-0.8, Fe-0.7, Cu-0.4, Mn-0.15, Mg-1.2, Zn-0.25, Ti-0.15, Cr-0.35 และ Al โดยเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก ในการทดลองครั้งนี้จะเชื่อมโดยใช้ความเร็วหมุนเชื่อม 3 ระดับ คือ 710 1000 และ 1400 รอบต่อนาที (rpm) และความเร็วเดินเชื่อม 3 ระดับ คือ 80 112 และ 160 มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min) นำวัสดุไปแปรรูปให้มีขนาดกวามกว้าง 50 มิลลิเมตร (mm) ความยาว 100 mm และความหนา 4 mm มาเชื่อมต่อชนในท่าราบ ใช้เครื่องมือเชื่อมที่มีขนาดความโตของบ่ากวน (Shoulder) 20 mm ขนาดความโตของหัวพิน 5 mm และยาว 3.2 mm แสดงดังรูปที่ 1 เอียงมุมของเครื่องมือเชื่อม 3 องศา จากนั้นก็เริ่มทำการเชื่อมบนเครื่องกัดแนวตั้ง เริ่มตั้งแต่การเปิดความเร็วหมุนเชื่อมของเครื่องมือที่ทดลอง กดลงไปในเนื้อวัสดุแช่ทิ้งไว้ 30 วินาที (s) เดินแนวเชื่อมตามความเร็วเดินเชื่อมที่ทดลอง และสุดปลายแนวเชื่อมแช่ทิ้งไว้ 20 s แล้วให้ยกเครื่องมือเชื่อมขึ้น ขั้นตอนการเชื่อมแสดงดังรูปที่ 1 เมื่อเชื่อมเสร็จแล้วก็นำชิ้นงานเชื่อมไปทำกระบวนการทางความร้อน T5 หลังการเชื่อม คือ การทำบ่มเทียม (Artificially Aged) ที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียน (°C) เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง (hr) [9]



รูปที่ 2 การตัดแบ่งชิ้นงานเชื่อมเพื่อทดสอบสมบัติต่างๆ

เมื่อชิ้นงานเชื่อมผ่านกระบวนการทางความร้อน T5 แล้ว ก็นำมาตัดแบ่งชิ้นงานเชื่อม แสดงดังรูปที่ 2 เพื่อนำไปทดสอบสมบัติ 2 อย่าง คือ สมบัติทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกล โดยการทดสอบสมบัติทางโลหะวิทยา

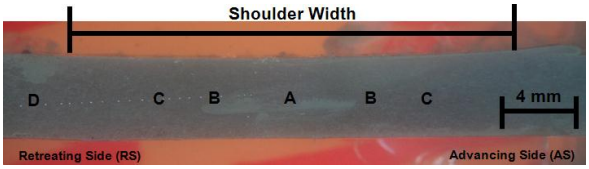
นั้น นำชิ้นงานมาหล่อเรซิน แล้วนำมาขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบไปหาละเอียดสุดที่ เบอร์ 1200 แล้วขัดต่อด้วยผ้าขัดสักหลาดใช้ผงอะลูมิน่าเป็นตัวขัดที่ 0.3 ไมโครเมตร (μm) เมื่อขัดเสร็จนำไปกัดกรดด้วยสารละลายเจือจาง Keller's Reagent ส่วนการทดสอบสมบัติทางกลนั้น จะแบ่งออกเป็น 2 การทดสอบ คือ การทดสอบค่าความแข็งแรง และการทดสอบค่าความแข็ง โดยการทดสอบค่าความแข็งจะใช้ชิ้นงานที่ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาเสร็จ นำมาทดสอบความแข็งโดยใช้เครื่องทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ หัวกดรูปกรวยกดน้ำหนัก 100 กรัม (g) เป็นเวลา 10 s โดยกดบริเวณหน้าตัดของแนวเชื่อม วัดจากจุดศูนย์กลางแนวเชื่อมออกไปข้างละ 12.5 mm แต่ละจุดห่างกัน 0.5 mm มีหน่วยวัดเป็น วิกเกอร์ฮาร์ดเนส (Vickers Hardness; Hv) ส่วนการทดสอบค่าความแข็งแรงจะแปรรูปชิ้นงานเชื่อมให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM-E8M โดยให้บริเวณแนวเชื่อม (Stir Zone; SZ) อยู่บริเวณตรงกลางของการทดสอบ และทดสอบอัตราเร็วในการดึงที่ 1.67 x 10^{-2} มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s) มีหน่วยวัดเป็น เมกะปาสกาล (Meka Pascal; MPa) สรุปว่าในแนวเชื่อมจะมีการทดสอบสมบัติต่างๆ ถือว่าเสร็จกระบวนการในการทดลอง 1 สภาวะการทดลอง ดังนั้นการทดลองนี้ มี 9 สภาวะการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ เพื่อความแน่นอนและความน่าเชื่อมถือของงานวิจัย

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองของงานวิจัย สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมการบิน ซึ่งจะประกอบไปด้วยการทดสอบสมบัติ 2 อย่าง คือ สมบัติทางโลหะวิทยา และสมบัติทางกล ซึ่งสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

3.1 สมบัติทางโลหะวิทยา

รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมในแต่ละโซน แยกเป็น โซน A คือ บริเวณแนวเชื่อม (Stir Zone; SZ) โซน B คือ บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนทางกล (Thermo-Mechanically Affected Zone; TMAZ) โซน C คือ บริเวณกระทบร้อน (Heat Affected Zone; HAZ) และโซน D คือ บริเวณเนื้อโลหะเดิม (Base Metal; BM)

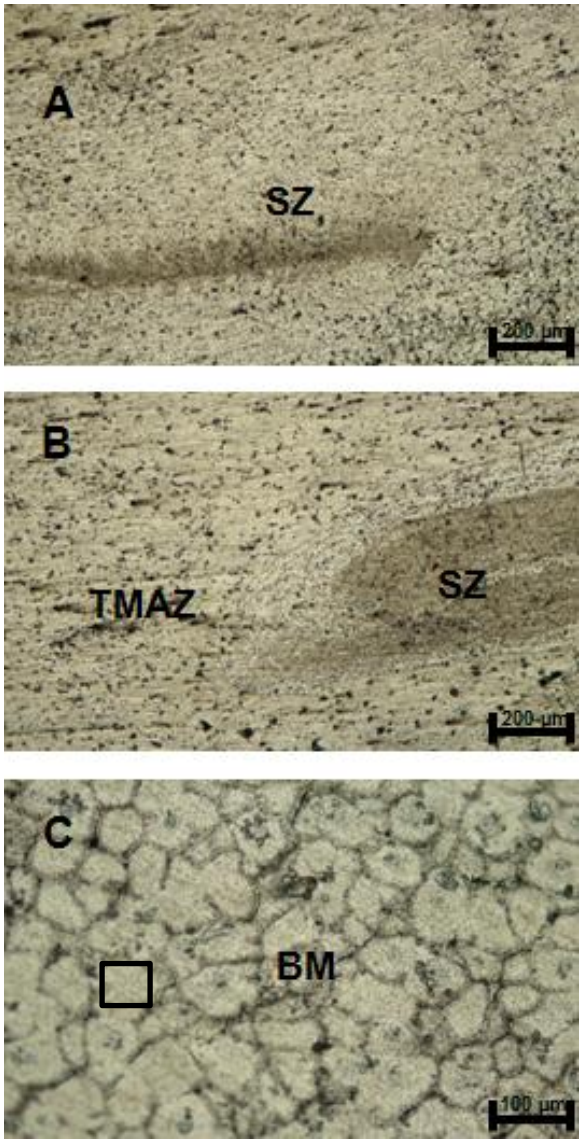


รูปที่ 3 โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมแต่ละโซน

โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม แสดงให้เห็นถึงการประสานเข้ากันได้ดีของแนวเชื่อม การผสมผสานของวัสดุทั้งสองชิ้นในรูปแบบไดนามิก [7] กล่าวคือ เกิดจากการหมุนวนของหัวพินซึ่งได้รับความร้อนจากการสะสมของบ่ากวนทำให้อะลูมิเนียมอยู่ในสภาวะพลาสติกทำให้เกิดการเข้ากันได้ดี มีการผสมของเกรนระหว่าง SZ กับ TMAZ และมีรูปลักษณ์เป็นชั้น ๆ คล้ายขนมเค้ก [7] ในส่วนของบริเวณ SZ จะมีเกรนที่ละเอียดเมื่อดูโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงในรูปที่ 4A ส่วนบริเวณ TMAZ เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของเกรนจากเนื้อโลหะเดิมอย่างเห็นได้ชัด ความร้อนที่ผลิตจากการหมุนวนของบ่ากวนส่งผลให้เกิดการทำลายของเกรนเนื้อโลหะเดิมที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมให้มีความละเอียดมายิ่งขึ้น แสดงดังรูปที่ 4B ส่วนบริเวณเนื้อโละเดิม แสดงดังรูปที่ 4C มีลักษณะเป็นก้อนกลมที่เกิดจากกระบวนการหล่อแบบ GISS รวมถึงมีการผ่านกระบวนการทางความร้อน T5 หลังการเชื่อมอีกครั้งหนึ่งด้วย เกิดการเกาะกลุ่มกันของอนุภาค Mg_2Si รอบ ๆ อะลูมิเนียมเมตริกซ์ และมีอนุภาค Al_2Cu กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งบริเวณของวัสดุ [10] ซึ่งสามารถยืนยันผลได้จากบริเวณที่ล้อมกรอบสี่เหลี่ยมในรูปที่ 4C เป็นการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ (EDX) แสดงดังรูปที่ 5 เพื่อแสดงถึงอนุภาค Mg_2Si อยู่ในบริเวณแนวเชื่อม

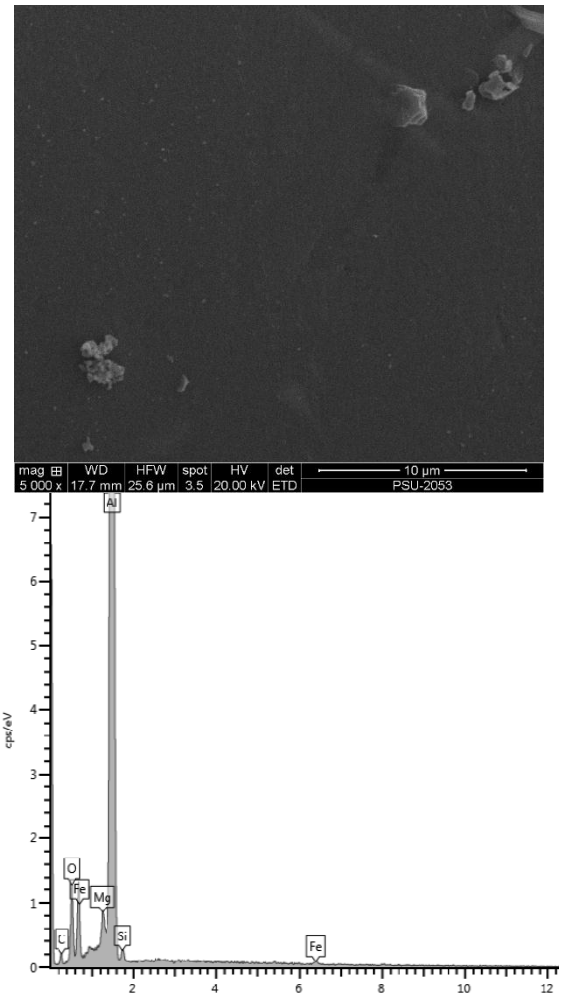
โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม ณ จุดต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 6 A-F เห็นได้ชัดว่าเกิดร่องรอยของแนวเชื่อม 2 บริเวณ คือ บริเวณ TMAZ กับบริเวณ SZ ซึ่งเกิดจากการหมุนวนของหัวพินและบ่ากวน ทำให้เนื้อโลหะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น ณ จุด A แสดงให้เห็นถึงรอยแตกร้าวเล็ก ๆ (Micro Crack) กระจัดกระจายทั่วบริเวณ TMAZ (RS) ที่จุด C และ D เกิดรอยแตกร้าวขนาดใหญ่ทั่วบริเวณ SZ ซึ่งรอยแตกร้าวดังกล่าวจะพบในความเร็วหมุนเชื่อมที่ 710 และ 1400 rpm เท่านั้น เนื่องจากอิทธิพลทางความร้อนหลังการ

เชื่อม [11] ทำให้เกิดความเครียดสะสมบริเวณแนวเชื่อม ส่งผลกระทบต่อการขยายตัวของรอยแตก ส่วนรอยพุพองบริเวณผิวแนวเชื่อมด้านบนของจุด B อันเนื่องมาจากการอบชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงและเป็นเวลานาน ทำให้รูพรุนที่มีอากาศอยู่ใต้ผิวงานเกิดการดันตัวออกมานอกผิวงานในที่สุดแต่สามารถหลีกเลี่ยงการพุพองของผิวงานได้ด้วยวิธีกระบวนการทางความร้อนที่ใช้เวลาสั้นอุณหภูมิต่ำ [12] รอยเชื่อมที่มีความสมบูรณ์ที่สุด คือ ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm แสดงดังรูปที่ 6 A-F เพราะไม่เกิดข้อบกพร่องใด ๆ



รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม A คือ SZ B คือ TMAZ และ C คือ BM

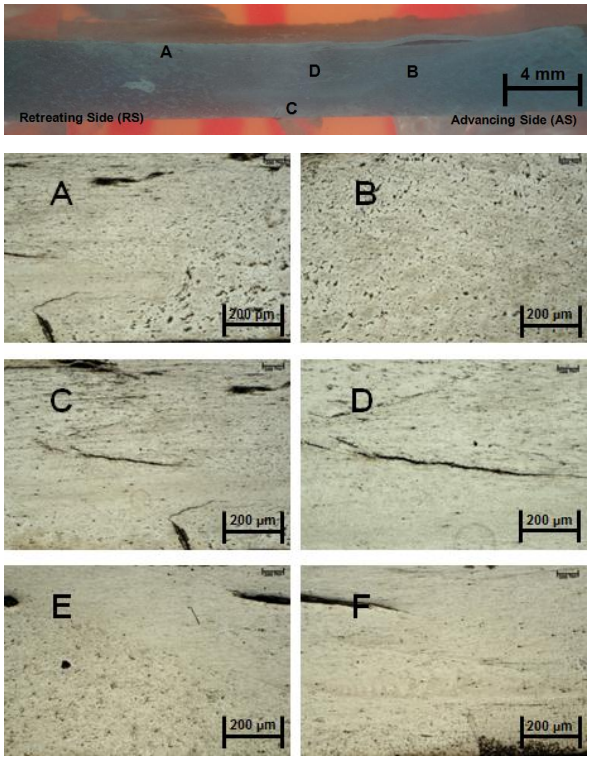
ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ (EDX) แสดงดังรูปที่ 5 เพื่อระบุถึงเฟส Mg_2Si ที่แพร่กระจายผสมในอะลูมิเนียมเมตริกซ์ทั่วทั้งบริเวณที่ถูกกวนของแนวเชื่อม



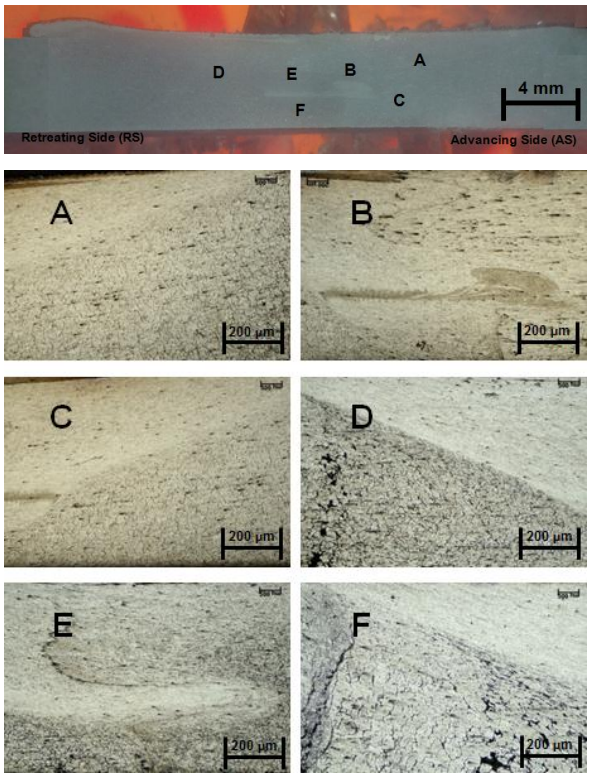
รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ (EDX)

โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1000 rpm แสดงดังรูปที่ 7 มีอุณหภูมิสูงและเกิดการเสียรูปจากสภาวะพลาสติกในลักษณะแบบไดนามิก [13] ณ จุด A C D และ F คือบริเวณ TMAZ บริเวณรูปทรงของเกรนจะเห็นความแตกต่างระหว่าง 2 โซน คือ โซนแนวเชื่อมกับโซนเนื้อโลหะเดิม ที่ยังคงลักษณะความเป็นก้อนกลมของเกรนไว้ได้เนื่องจากไม่ได้รับอิทธิของการหมุนวนของเครื่องมือเชื่อม นอกจากนี้ ณ จุด B และ F คือบริเวณ SZ เมื่อยิ่งเพิ่มค่าความเร็วหมุนเชื่อมสูงขึ้นก็ส่งผลให้เกรนมีความละเอียดมากขึ้นตามไปด้วย [14] เนื่องมาจากแรงเหวี่ยงของเครื่องมือเชื่อมเพิ่มขึ้น ทำให้เกรนเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากความร้อนทางกล

มากขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเร็วหมุนเชื่อม



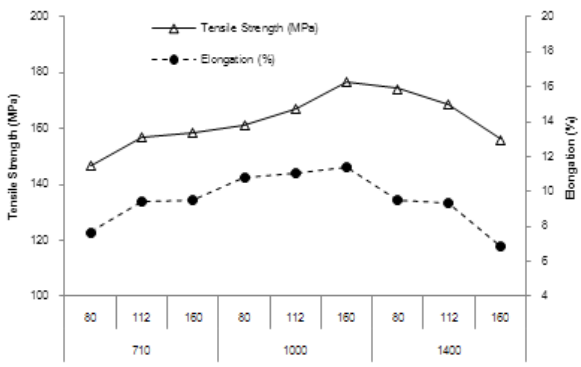
รูปที่ 6 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่จุดต่าง ๆ กัน



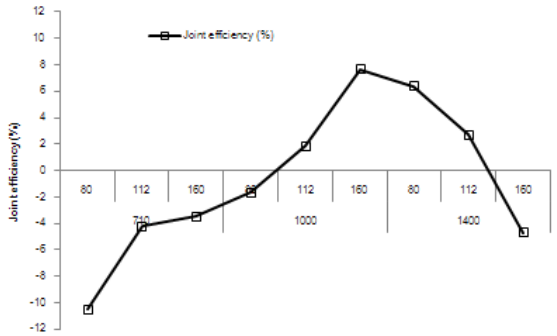
รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1000 rpm

3.2 สมบัติทางกล

รูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมในแต่ละการทดลองที่แตกต่างกัน พบว่าความเร็วหมุนเชื่อมมีผลต่อค่าความแข็งแรง สังเกตได้จากเมื่อเพิ่มความเร็วหมุนเชื่อมมากขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด คือที่ ความเร็วหมุนเชื่อม 1000 rpm ความเร็วเดินเชื่อม 160 mm/min มีค่าเท่ากับ 176.57 MPa และเมื่อยิ่งเพิ่มความเร็วหมุนเชื่อมเป็น 1400 rpm กลับทำให้ค่าความแข็งแรงลดลงตามลำดับ อนึ่งผลของค่าความแข็งแรงในช่วงความเร็วหมุนเชื่อมที่ 710 และ 1400 rpm น้อยกว่าในช่วงความเร็วหมุนเชื่อม 1000 rpm ซึ่งเป็นผลพวงมาจากโครงสร้างที่แสดงให้เห็นถึงรอยแตกร้าวในแนวเชื่อมด้วย ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าความเร็วหมุนเชื่อม ความเร็วเดินเชื่อม และกระบวนการทางความร้อนหลังการเชื่อมมีอิทธิผลต่อค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อม [11] ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแนวเชื่อม โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมกับค่าความแข็งแรงของเนื้อวัสดุเดิม มีหน่วยการเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) แสดงดังรูปที่ 9 โดยค่าความแข็งแรงของเนื้อวัสดุเดิม มีค่าเท่ากับ 164 MPa พบว่า แนวเชื่อมส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพแนวเชื่อมน้อยกว่าค่าความแข็งแรงของเนื้อวัสดุเดิม แต่มีอยู่ 4 สภาวะที่มีประสิทธิภาพแนวเชื่อมมากกว่าค่าความแข็งแรงของเนื้อวัสดุเดิม คือ ที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1000 rpm ความเร็วเดินเชื่อม 112 กับ 160 mm/min และความเร็วหมุนเชื่อม 1400 rpm ความเร็วเดินเชื่อม 80 กับ 112 mm/min ซึ่งมีประสิทธิภาพแนวเชื่อม เท่ากับ 1.89, 7.66 6.38 และ 2.70% ตามลำดับ

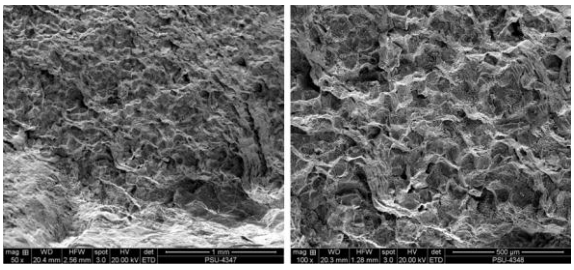


รูปที่ 8 ค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมที่สภาวะต่าง ๆ กัน



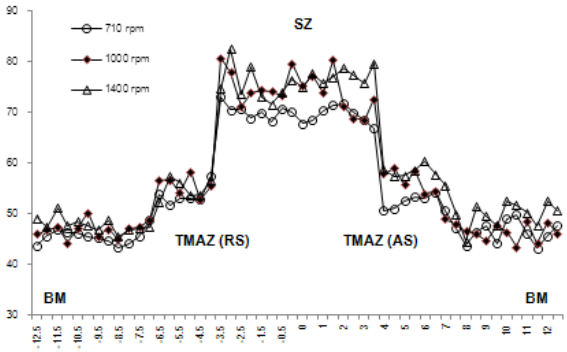
รูปที่ 9 ค่าประสิทธิภาพของแนวเชื่อมที่สภาวะต่าง ๆ กัน

พื้นผิวการแตกหักของการทดสอบค่าความแข็งแรงส่วนใหญ่จะขาดในบริเวณระหว่าง TMAZ และ HAZ เมื่อใช้กล้อง SEM จะพบว่ารูปแบบการแตกหัก แสดงดังรูปที่ 10 ชิ้นงานเชื่อมอะลูมิเนียมที่ความเร็วหมุนเชื่อมต่าง ๆ กันมีลักษณะเป็นรอยบุ๋ม พบว่าที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1000 rpm จะพบรอยที่มีขนาดเล็กกว่าความเร็วหมุนเชื่อมอื่น ๆ ส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงสูงตามไปด้วย [13]



รูปที่ 10 ลักษณะการแตกหักของแนวเชื่อม

ค่าความแข็งของแนวเชื่อมมีการกระจายค่าทั่ว ๆ ไปในบริเวณของเนื้อโลหะเดิม แสดงดังรูปที่ 11 การเชื่อมด้วยพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันให้ผลที่แตกต่างกันแต่มีแนวโน้มไปด้วยกัน ในบริเวณ 3 บริเวณ คือ BM TMAZ และ SZ ค่าความแข็งแนวเชื่อมมีค่าเกาะกลุ่มกันในบริเวณ BM เมื่อเริ่มเข้าสู่บริเวณ TMAZ ค่าความแข็งเริ่มปรับตัวสูงขึ้นจากเนื้อโลหะเดิม และเมื่อเริ่มเข้าสู่บริเวณ SZ ค่าความแข็งคงที่แต่มีค่ามากกว่าบริเวณ BM และ TMAZ สาเหตุเนื่องมาจากเนื้อวัสดุอยู่ในสภาวะพลาสติกโดยเฉพาะในบริเวณ TMAZ และ SZ ที่เกิดการหมุนวนของวัสดุ ทำให้เกรนที่มีขนาดใหญ่มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น เกิดการบิดเบี้ยวของเกรน และเกิดความเครียดในเนื้อวัสดุ [13]



รูปที่ 11 การกระจายค่าความแข็งของแนวเชื่อม

ค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุด 82.60 Hv ที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1400 rpm อยู่ในบริเวณ SZ และค่าความแข็งเฉลี่ยต่ำสุด 43.20 ที่ความเร็วหมุนเชื่อม 710 rpm อยู่ในบริเวณ BM นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งมีผลไปพร้อมกับเพิ่มขึ้นของค่าความเร็วหมุนเชื่อม เป็นเพราะ ความเร็วในการหมุนสูงกว่าปริมาณการกวนมีปริมาณมาก และความร้อนจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีระดับสูง ส่งผลต่อการเสียรูปร่างของเกรน และการกระจายตัวของเกรนที่มีขนาดเล็ก [2]

4. สรุปผลงานวิจัย

การศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ ประกอบไปด้วย สมบัติทางโลหะวิทยา สมบัติทางกลของแนวเชื่อมที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน T5 หลังการเชื่อม สามารถสรุปได้ดังนี้

1. โครงสร้างจุลภาคในบริเวณ TMAZ เกิดการเสียรูปร่างแบบไดนามิกที่เกิดจากแรงทางกลของหัวพิน ทำให้มีความแตกต่างกันของโครงสร้างในบริเวณ BM TMAZ และ SZ โดยเฉพาะบริเวณ SZ มีความละเอียดมากที่สุดเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น ๆ
2. ในบริเวณแนวเชื่อมปรากฏรอยแตกร้าวเล็ก ๆ (Micro Crack) ซึ่งมีอิทธิพลมาจากกระบวนการทางความร้อน T5 หลังการเชื่อม
3. การปรับเพิ่มค่าความเร็วหมุนเชื่อม จาก 710 เป็น 1000 rpm ส่งผลต่อค่าความแข็งแรง โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อปรับเพิ่มค่าความเร็วหมุนเชื่อม จาก 1000 เป็น 1400 rpm ส่งผลให้

ค่าความแข็งแรงมีแนวโน้มลดต่ำลง ค่าความแข็งแรงเฉลี่ยสูงสุด 176.57 MPa ที่ความเร็วหมุนเชื่อม 1000 rpm ความเร็วเดินเชื่อม 160 mm/min และมีประสิทธิภาพแนวเชื่อมดีที่สุด คือ 7.66%

4. พื้นผิวการแตกหัก ส่วนใหญ่จะขาดในบริเวณระหว่าง TMAZ และ HAZ มีลักษณะเป็นรอยบุ๋มขนาดเล็ก
5. ค่าความแข็งบริเวณ TMAZ และ SZ จะมีค่าสูงขึ้นกว่าบริเวณ BM อีกทั้งค่าความแข็งทั้ง 2 บริเวณปรับเพิ่มขึ้นไปพร้อมกับค่าความเร็วหมุนเชื่อมที่เพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัย จากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2556 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เอกสารอ้างอิง

[1] M. Merzoug, M. Mazari, L. Berrahal and A. Imad, Parametric studies of the process of friction spot stir welding of aluminium 6060-T5 alloys, Materials and Design, 31: pp. 3023-3028, 2010

[2] S. A. Khodir, T. Shibayanagi and M. Naka, Control of Hardness Distribution in Friction Stir Welded AA2024-T3 Aluminum Alloy, Materials Transactions, 47(6): pp. 1560-1567, 2006

[3] S. Venukumar, S. Yalagi and S. Muthukumaran, Comparison of microstructure and mechanical properties of conventional and refilled friction stir spot welds in AA 6061-T6 using filler plate, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 23: pp. 2833-2842, 2013

[4] วรพงค์ บุญช่วยแทน และจักรนรินทร์ ฉัตรทอง, การเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 6061, วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 31 ฉบับที่ 3 กันยายน, หน้า 1-6, 2557

[5] วรพงค์ บุญช่วยแทน จักรนรินทร์ ฉัตรทอง และชาตรี หอมเขียว, กระบวนการทางความร้อน T6 หลังการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง 6061, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน, หน้า 23-37, 2557

[6] A. Heidarzadeh, H. Khodaverdizadeh, A. Mahmoudi and E. Nazari, Tensile behavior of friction stir welded AA 6061-T4 aluminum alloy joints, Materials and Design, 37: pp. 166-173, 2012

[7] C.A.W. Olea, L. Roldo, J.F. dos Santos and T.R. Strohaecker, A sub-structural analysis of friction stir welded joints in an AA6056 Al-alloy in T4 and T6 temper conditions, Materials Science and Engineering A, 454–455: pp. 52-62, 2007

[8] รอมฎอน บูระพา, รังสินี แคนยุกต์ และ เจษฎา วรรณสินธ์, การพัฒนากระบวนการผลิตโลหะกึ่งของแข็งโดยการพ่นฟองแก๊สขณะแข็งตัวสำหรับอะลูมิเนียมผสมเกรด A356, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7 21-22 พฤษภาคม, หน้า 549-554, 2552

[9] N. Pajaroen, T. Plookphol, J. Wannasin and S. Wisutmethangoon, Influence of Solution Heat Treatment Temperature and Time on the Microstructure and Mechanical Properties of Gas Induced Semi-Solid (GISS) 6061 Aluminum Alloy, Applied Mechanics and Materials, 67-71: pp. 313-314, 2013

[10] Z. Shen, X. Yang, Z. Zhang, L. Cui and Y. Yin, Mechanical properties and failure mechanisms of friction stir spot welds of AA 6061-T4 sheets, Materials and Design, 49: pp. 181-191, 2013

[11] Y. Chen, H. Liu and J. Feng, Friction stir welding characteristics of different heat-treated-state 2219 aluminum alloy plates, Materials Science and Engineering A, 420: pp. 21-25, 2006

[12] R.N. Lumley, R.G. Odonnell, D.R. Gunasegaram and M. Givord, Heat Treatment of High-Pressure Die Castings, The Minerals Metals & Materials Society and ASM International, 38A:

pp. 2564-2574, 2007

[13] W. Xu, J. Liu, G. Luan and C. Dong, Microstructure and mechanical properties of friction stir welded joints in 2219-T6 aluminum alloy, Materials and Design, 30: pp. 3460-3467, 2009

[14] G. M. Xie, Z.Y. Ma and L. Geng, Effects of Friction Stir Welding Parameters on Microstructures and Mechanical Properties of Brass Joints, Materials Transactions, 49(7): pp. 1698-1701, 2008

การศึกษาความเครียดของแผ่นอะลูมิเนียมในกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด

A Study on the Strain of Aluminium Sheet in Single Point Incremental Forming Process

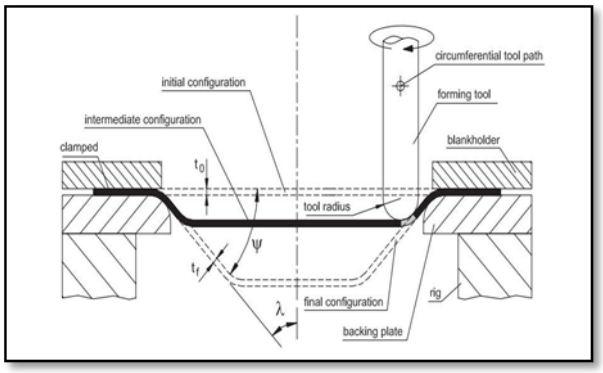
จงกล สุภารัตน์[1] พันธ์พงษ์ คงพันธุ์[2] ศิริชัย ต่อสกุล[3*]
[1,2,3]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี
E-mail: sirichai.to@en.rmutt.ac.th[*]
Chongkol Supharattana[1] Phanphong Kongphan Sirichai Torsakul[2*]
[1,2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi Phatumtani
E-mail: sirichai.to@en.rmutt.ac.th[*]

บทคัดย่อ
งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปโลหะแผ่นผสมด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด โดยจะทำการศึกษาการขึ้นรูปโดยใช้วัสดุแผ่นอลูมิเนียม โดยกำหนดค่าคงที่ต่างๆที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ขนาดของหัวกดขึ้นรูป ความเร็วในหมุนหัวกด และมุมในการขึ้นรูป จากการทดลองพบว่าการขึ้นรูปที่มุม 50 องศา ความเร็วในหมุนหัวกด 600 รอบต่อนาที และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวกด 10 มิลลิเมตร จะมีค่าความเครียดหลัก สูงสุดที่วัดได้คือ 107% และความเครียดหลักที่เกิดขึ้นในการทดลองต่ำสุดที่มุม 30 องศาเท่ากับ 29.00% ในขณะเดียวกันความเครียดรอง มีค่าผกผันกับความเครียดหลัก กล่าวคือถ้ามุมที่ใช้ในการขึ้นรูปมีค่ามากความเครียดหลักก็จะมีค่ามากแต่ตรงกันข้ามความเครียดรองจะมีค่าลดลงโดยที่มุมที่ส่งผลให้ความเครียดรองมีค่าลดลงมากที่สุดคือมุม 50 องศามีค่าเท่ากับ 4.93% และมุมที่ส่งผลให้ความเครียดรองมีค่าลดลงน้อยที่สุดคือมุม 30 องศา
คำหลัก กระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุด ความเครียดหลัก ความเครียดรอง

Abstract
The aim of this research is to study about influential parameters of single incremental forming process based on alloy materials. Aluminium alloy sheets were used as raw materials in this study. In order to investigate the process, 3 main parameters, tool diameter, tool rotational speed and press angle, were varied to detect changes in raw materials in terms of major and minor strain. The results showed that major strain hit the peak point at 107% with the combination of the parameters of 10 mm., 600 rpm and 50 degree respectively. In contrast, the lowest point of major strain reached with the press angle of 30 degree at 29%. However, major strain is an inverse variation of minor strain. Major strain increased with the increasing of press angle whereas minor strain declined. The press angle of 50 and 30 degree led to the highest and lowest points of minor strain in materials respectively.
Keywords: Single incremetal forming process, Major strain, Minor strain

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะแผ่นยังเป็นกระบวนการที่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการผลิต ซึ่งในการที่จะผลิตให้ได้ซึ่งการแปรรูปโลหะแผ่นให้มีขนาดรูปร่างให้เป็นไปตามที่ต้องการนั้น กระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูป จะประกอบไปด้วยขั้นตอนในการทำงานในหลายๆส่วน เช่น ขั้นตอนการออกแบบ ขั้นตอนการผลิตการแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป ซึ่ง แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปโลหะแผ่นนั้นมีความซับซ้อนในการผลิต และมีราคาสูง ดังนั้นจึงมีการนำเสนอแนวคิดใหม่ ในกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยไม่มีการใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูป [1] โดยในการขึ้นรูปด้วยกระบวนขึ้นรูปแบบใหม่นั้น จะมีการใช้กำลังในการขึ้นรูปแผ่นโลหะน้อยกว่ากระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นแบบเดิมเป็นอย่างมาก และอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป ก็มีขั้นตอนการผลิตที่มีซับซ้อนน้อยลง นั้นก็คือกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุดกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุดเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแบบใหม่ที่มีมีความสามารถในการขึ้นรูปโลหะแผ่นได้อย่างรวดเร็ว และ มีความซับซ้อนในกระบวนการผลิตน้อยกว่าแบบเดิมมาก โดยองค์ประกอบหลักของกระบวน กระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุด จะประกอบไปด้วย แผ่นโลหะที่ใช้ในการขึ้นรูป, อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป, อุปกรณ์จับยึดแผ่นโลหะ และมีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้คือ มีการใช้ อุปกรณ์ขึ้นรูปรูปทรงกระบอกที่มีปลายเป็นรัศมีโค้งและหมุนด้วยความเร็วรอบที่กำหนดและทำการเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางการทำงานที่ถูกกำหนดด้วย ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) แล้วทำการกดขึ้นรูปลง บนพื้นผิวแผ่นชิ้นงานโลหะที่ถูกจับยึด ทำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวรเฉพาะจุดบนแผ่นโลหะ [2], [3], [4], [5] ดังรูปที่ 1



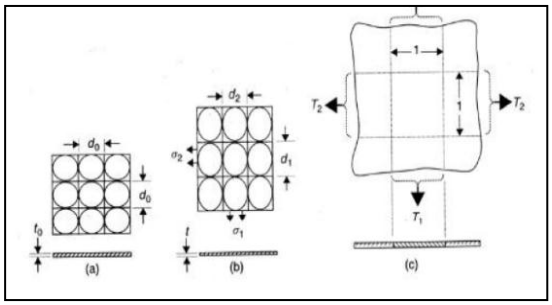
รูปที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด [6]

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการขึ้นรูปโดยใช้วัสดุทองเหลืองแผ่น ซึ่งเป็นโลหะแผ่นที่มีความสามารถในการขึ้นรูปในลักษณะต่างๆ ได้สูงและนิยมใช้งานในอุตสาหกรรมหลายๆ ประเภทในปัจจุบันโดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการขึ้นรูปของโลหะแผ่นและทำการวิเคราะห์ เช่นมุมที่ใช้ในการขึ้นรูป, ความเร็วในการเดินของอุปกรณ์, ความเร็วในการหมุนของอุปกรณ์ รวมไปถึงโครงสร้างจุลภาคที่มีผลจากการขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบลักษณะการขึ้นรูปที่เกิดขึ้น พร้อมวิเคราะห์ลักษณะการทำงาน ในแต่ละปัจจัยในการขึ้นรูป การศึกษานี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อให้ช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปโลหะแผ่นและยังเป็นทางเลือกสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตในการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุดต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

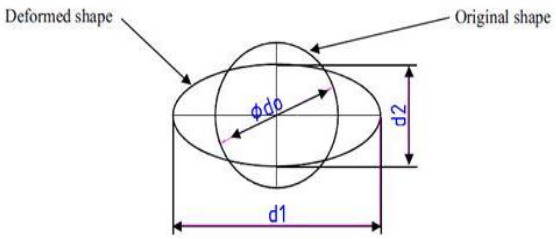
2.1 การวิเคราะห์กริดวงกลม (Analysis of circle grid)การเปลี่ยนรูปของโลหะแผ่นในระนาบความเค้น (Deformation of sheet in plane stress) ในขณะที่มีการเปลี่ยนรูปบนระนาบความเค้น (Plane stress) พิจารณา (Work hardening) ของวัสดุ ซึ่งเขากำลังประยุกต์ใช้ทฤษฎีสัดส่วนการเปลี่ยนรูป ดังแสดงในรูปที่ 2 ลักษณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนรูปที่ความหนา t_0 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d_0 หรือตารางขนาด d_0 ดังแสดงในรูปที่ 2 (a) ดังนั้นในระหว่างการเปลี่ยนรูปวงกลมจะเปลี่ยนไปเป็นวงรี แกนหลัก (Major) คือ d_1 แนวแกนรอง (Minor) คือ d_2 ถ้าปรับตารางสี่เหลี่ยมให้เข้ากับทิศทางของกริดวง

กลม จะกลายเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังแสดงในรูปที่ 2 (b) ส่วนความหนา คือ t ตามที่กรณีดังแสดงในรูปที่ 2 (c) ความเค้นที่ทำให้เปลี่ยนรูปคือ σ_1 และ σ_2 [7]



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริด

ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ความเครียดหลักและความเครียดรองที่เกิดขึ้นจุดสุดท้ายของกระบวนการเพื่อใช้ในการตรวจสอบกรณีของการเกิดแบบต่างๆ วิเคราะห์ในพื้นที่วิกฤติของชิ้นงานหลักจากทำการขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 3 และดังแสดงในสมการที่ 1 ถึง 4



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของกริดวงกลม

ค่าความเครียดหลัก (Major strain)

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{d_1}{d_0} \quad (1)$$

ค่าความเครียดรอง (Minor strain)

$$\varepsilon_2 = \ln \frac{d_2}{d_0} \quad (2)$$

ค่าความเครียดที่ความหนา (Thickness strain)

$$\varepsilon_3 = \ln \frac{t_2}{t_0} \quad (3)$$

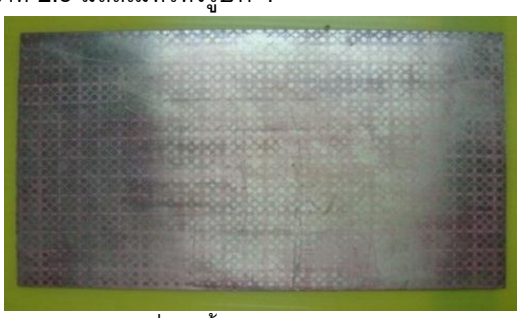
ค่าความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain)

$$\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{2}{3}(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2)} \quad (4)$$

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การเตรียมชิ้นงานทดลอง

เตรียมชิ้นงานทดสอบแผ่นโลหะทองเหลือง โดยทำการตัดให้มีขนาดความกว้าง 90 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร หนา 0.6 มิลลิเมตร โดยการสร้างกริดวงกลมขนาด 2.5 มิลลิเมตรดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ชิ้นงานแผ่นทองเหลือง

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

Tool ที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานทำมาจากเหล็กตามมาตรฐาน JIS เกรด SKD11 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร โดยที่ปลายมีรูปร่างครึ่งวงกลม รัศมี 10 มิลลิเมตร [2] ดังรูปที่ 5

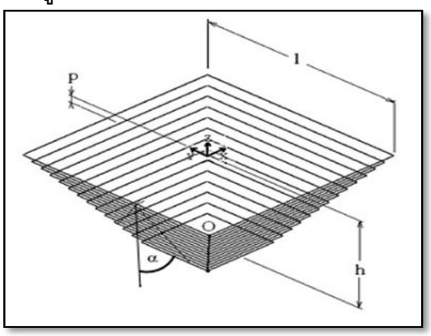
รูปที่ 5 Tool สำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน

การทดลองจะดำเนินการทดสอบโดยใช้เครื่องกัด CNC แนวตั้งแบบ 3แกน โดยจะทำการติดตั้งอุปกรณ์จับยึดแผ่นโลหะ โดยระบบจับยึดแผ่นโลหะจะมีการกำหนดพื้นที่ช่องว่างเพื่อให้แผ่นโลหะเปลี่ยนไปตามรูปแบบที่กำหนด หลังจากทำการทดลองเสร็จแล้วจะต้องบันทึกข้อมูลดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 เครื่องกัด CNC แนวตั้งแบบ 3แกน รุ่น ARROW 500

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

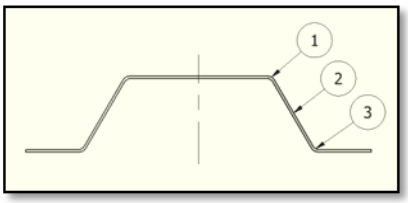
ในการทดสอบนี้ จะใช้การขึ้นรูปทรง ที่ง่ายต่อการขึ้นรูป โดยในการทดสอบจะทำการขึ้นรูปโดยมีรูปทรงแบบ ปีรามิดหัวตัด โดยฐาน ของปีรามิดเป็น สีเหลี่ยมด้านเท่าขนาด 58 x 58 มม. โดยในการทดลองจะมีกำหนดเส้นทางการเดินขึ้นรูป โดยใช้โปรแกรมช่วยในการผลิต(CAM) ทำการกำหนดเส้นทางการทำงานที่เกิดขึ้น และมีการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้แก่ มุมที่ใช้ในการขึ้นรูป (Angle forming),ความเร็วในการหมุนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป (Speed), ความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป (Feed) ดังรูปที่ 7 [2]



รูปที่ 7 แสดงมุม , เส้นทางการเดิน และ ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการขึ้นรูป

ตารางที่ 1 ตัวแปรในการทดลอง

Process parameter	
l (mm) (Width)	58 mm
p(mm) (Depth)	0.5 mm
h(mm) (Height)	20 mm
α (°)	30 , 40 , 50
Feed (mm/min)	100,200,400
Speed (rpm/min)	200,400,600

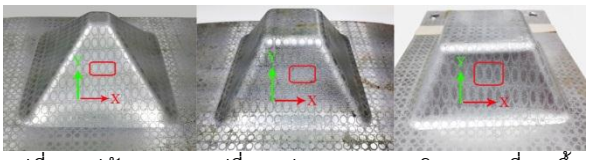


รูปที่ 8 บริเวณทำการวัดความเครียดชิ้นงานทั้งหมด

4. ผลการทดลอง

4.1 วิเคราะห์ผลของตัวแปรความเครียดที่มีอิทธิพลต่อผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูป

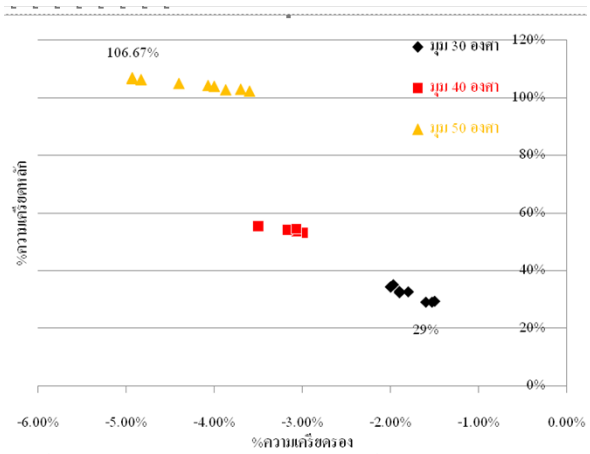
ในการขึ้นรูปที่มุม 30, 40 และ 50 องศา ลักษณะของวงกลมกริดที่เปลี่ยนไปจากการขึ้นรูปจะมีลักษณะ ดังรูปที่ 9 คือ วงกลมกริดที่ถูกขึ้นรูปในแนวแกน X, Y จะมีลักษณะยืดออกไปตามลักษณะมุม 30 องศา จะมีอัตราการยืดตัวเล็กน้อย มุม 40 องศา อัตราการยืดตัวปานกลางและมุม 50 องศา อัตราการยืดตัวจะมากที่สุด ซึ่งตัวแปรทั้งสามจะมีความแตกต่างกัน



รูปที่ 9 รูปลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดของกริดวงกลมที่การขึ้นรูปที่มุม 30, 40 และ 50 องศา

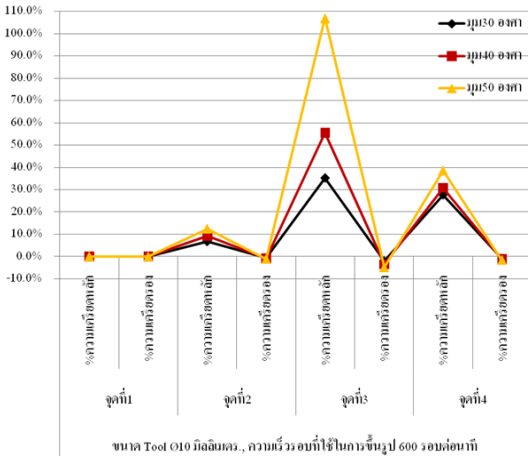
จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปมากที่สุดคือ ปัจจัยมุมที่ใช้ในการขึ้นรูปและความเร็วในการเดินขึ้นรูปซึ่งในการทดลองพบว่า อัตราความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปในแต่ละมุม คือการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา ด้วยตัวแปรความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 600 รอบต่อนาที และขนาดของ Tool Ø10 มิลลิเมตร ความเครียดหลักสูงสุดเท่ากับ 35.17% ความเครียดรองสูงสุดเท่ากับ -1.97% การขึ้นรูปที่มุม 40 องศาด้วยตัวแปร ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่ 600 รอบต่อนาที และขนาดของ Tool Ø10 มิลลิเมตร ความเครียดหลักสูงสุดเท่ากับ 55.50% ความเครียดรองสูงสุดเท่ากับ 3.50% และการขึ้นรูปที่มุม 50 องศาด้วยตัวแปร ความเร็วรอบในการหมุนขึ้นรูปที่

600 รอบต่อนาที และขนาดของ Tool Ø10 มิลลิเมตร ความเครียดหลักสูงสุดเท่ากับ 107.00% ความเครียดรองสูงสุดเท่ากับ -4.93% จากผลการทดลองทำเห็นได้ว่า เมื่อมุมที่ทำการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นตามลำดับอัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนขนาดของ Tool ที่เกิดความเครียดมากที่สุดคือขนาด Ø10 มิลลิเมตร ของทุกๆมุม ที่ใช้ในการขึ้นรูปแต่ก็มีผลต่อความเครียดที่เกิดขึ้นแต่ไม่มากนักโดยที่ถ้าเพิ่มขนาดของ Tool ขึ้นมากเท่าไร ค่าความเครียดก็จะมีผลเพิ่มมากขึ้นตามลำดับเช่นกัน และความเร็วรอบในการขึ้นรูปที่แตกต่างกันนั้นก็มีผลต่อความเครียดที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานแต่ก็ถือได้ว่าน้อยมาก โดยที่ความเร็วรอบในการขึ้นรูปที่เกิดความเครียดมากที่สุดคือ 600 รอบต่อนาที ดังรูปที่ 10



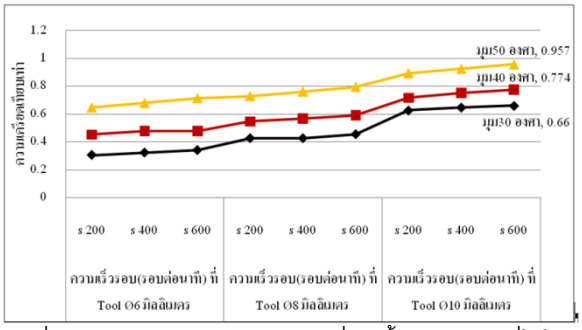
รูปที่ 10 ตัวแปร Tool และความเร็วรอบที่มีผลต่อ %ความเครียดในกระบวนการขึ้นรูปที่มุม 30, 40 และ 50 องศา

จากผลการทดลอง ความเครียดที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดจากกระบวนขึ้นรูปที่มุม 30, 40 และ 50 องศา โดยตัวแปรที่ใช้ในการทดลองตามที่กำหนดในตารางที่ 4.16 คือความเร็ว รอบที่ใช้ในการขึ้นรูป 600 รอบต่อนาที ขนาดของ Tool Ø10 มิลลิเมตร พบว่าจุดที่เกิดความเครียดสูงที่สุดคือจุดที่สามโดยตัวแปรที่ส่งผลให้จุดนี้เกิดความเครียดสูงสุดคือมุม 50 องศา และจะลดลงมาตามลำดับของมุมซึ่งผลจากการทดลองจะเห็นได้ว่าจุดที่เริ่มเกิดความเครียดจากการขึ้นรูปคือจุดที่ 2 ถึงจุดที่ 4 สาเหตุที่เกิดลักษณะนี้เนื่องจากจุดที่ 2 คือจุดเริ่มต้นที่เกิดการกดของ Tool ลงบนชิ้นงานจากระยะ 0 มิลลิเมตร จนถึงจุดที่ 4 จนได้ความลึก 20 มิลลิเมตร เป็นจุดสุดท้าย ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรมุม 30, 40 และ 50 องศา ที่เกิดขึ้นในแต่ละจุด

เมื่อนำผลการทดลองทั้งหมดมาคำนวณเป็นความเครียดเทียบเท่าที่เกิดขึ้นจากกระบวน การขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุดโดยนำผลของตัวแปรความเครียดหลักสูงสุด ความเครียดรองสูงสุดและความเครียดที่ความหนาสูงสุดของชิ้นงานหลังจากการขึ้นรูปมาวิเคราะห์ผลปรากฏว่าแนวโน้มของความเครียดที่เกิดขึ้นจากการขึ้นรูปก็สอดคล้องกับผลการทดลองทั้งหมดโดยที่มุม 30 องศา มีความเครียดเทียบเท่าต่ำสุดเท่ากับ 0.306 สูงสุดเท่ากับ 0.660 มุม 40 องศา เกิดความเครียดเทียบเท่าต่ำสุดเท่ากับ 0.453 สูงสุดเท่ากับ 0.774 และมุม 50 องศา เกิดความเครียดเทียบเท่าต่ำสุดเท่ากับ 0.646 สูงสุดเท่ากับ 0.957 ซึ่งจากการทดลองก็จะเห็นได้ว่ามุมที่เกิดความเครียดเทียบเท่าต่ำสุดคือมุม 30 องศา และเมื่อเพิ่มองศาในการขึ้นรูปเท่าไรก็จะเกิดความเครียดสูงขึ้นตามลำดับ ดังนั้นปัจจัยมุมที่เหมาะกับการขึ้นรูปโดยก่อให้อัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานต่ำสุด คือการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา ขนาดของ Tool ที่ใช้ในการขึ้นรูปน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปต่ำกว่า 600 รอบต่อนาที ดังรูปที่ 12

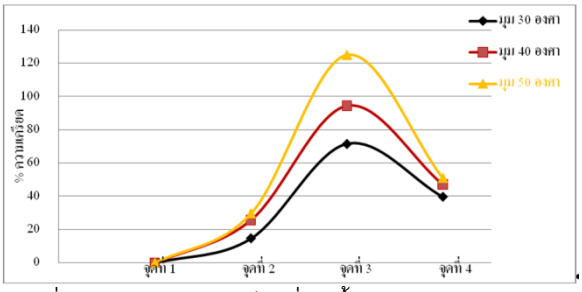


รูปที่ 12 แสดงความเครียดเทียบเท่าที่เกิดขึ้นจากตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองความยาวและความเครียดจากการยืดตัวของโครงสร้างจุลภาคอลูมิเนียมภายหลังการกดขึ้นรูป

1) ความเครียดจากการยืดตัวของโครงสร้างจุลภาคอลูมิเนียมภายหลังการกดขึ้นรูป

จากการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมดปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อชิ้นงานมากที่สุดคือปัจจัยมุมในการขึ้นรูป ในการทดลองนี้จึงนำปัจจัยดังกล่าวมาวิเคราะห์อย่างละเอียดโดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์จากโครงสร้างจุลภาคภายในเนื้อวัสดุของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปมาโดยวิธีการตัดส่วนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของความหนามากสุดจากการทดลองความหนามาขัดส่องโครงสร้างแล้วนำไปวัดขนาดความยาวของเกรนที่ยืดตัวออกภายหลังจากการขึ้นรูปโดยใช้กล้อง Microscope ที่มีกำลังขยาย 200 เท่าควบคู่กับโปรแกรมวัดขนาดเกรนแล้วนำมาคำนวณหาความเครียดที่เกิดขึ้นผลปรากฏว่า มุมที่เกิดความเครียดจากการขึ้นรูปน้อยสุดคือมุม 30 องศา จุดที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเริ่มจากจุดที่ 2 เกิดความเครียดเท่ากับ 14.67% จุดที่ 3 เกิดความเครียดเท่ากับ 75.86% จุดที่ 4 เกิดความเครียดเท่ากับ 39.7% มุม 40 องศา จุดที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเริ่มจากจุดที่ 2 เกิดความเครียดเท่ากับ 25.74% จุดที่ 3 เกิดความเครียดเท่ากับ 92.24% จุดที่ 4 เกิดความเครียดเท่ากับ 47.09% และมุมที่เกิดที่เกิดความเครียดจากการขึ้นรูปมากที่สุดคือมุม 50 องศา จุดที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเริ่มจากจุดที่ 2 เกิดความเครียดเท่ากับ 29.65% จุดที่ 3 เกิดความเครียดเท่ากับ 120.69% จุดที่ 4 เกิดความเครียดเท่ากับ 51.02% จากการทดลองจะเห็นได้ว่ายิ่งเพิ่มมุมให้มีค่ามากเท่าไรความเครียดที่เกิดขึ้นภายหลังจากการขึ้นรูปก็จะมากขึ้นตามและจุดที่เกิดความเครียดมากที่สุดก็คือจุดที่อยู่ตรงกลางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของการกดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป ดังรูปที่ 13

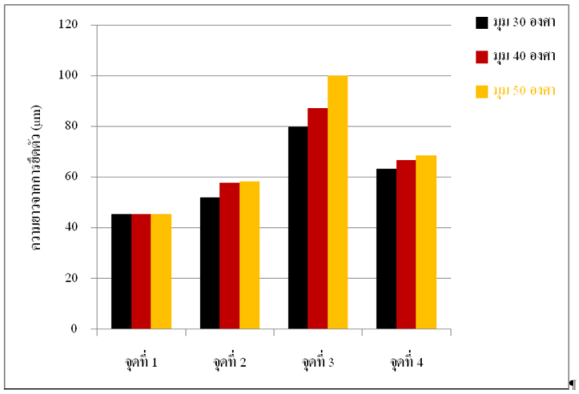


รูปที่ 13 แสดง %ความเครียดที่เกิดขึ้นกับมุม 30, 40 และ 50 องศา จากการยืดตัวของเกรน ในแต่ละจุด

2) ความยาวจากการยืดตัวของโครงสร้างจุลภาคอลูมิเนียมภายหลังการกดขึ้นรูป

จากการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมดปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อชิ้นงานมากที่สุดคือปัจจัยมุมในการขึ้นรูป ในการทดลองนี้จึงนำปัจจัยดังกล่าวมาวิเคราะห์อย่างละเอียดโดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์จากโครงสร้างจุลภาคภายในเนื้อวัสดุของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปมาโดยวิธีการตัดส่วนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของความหนามากสุดจากการทดลองความหนามาขัดส่องโครงสร้างแล้วนำไปวัดขนาดความยาวของเกรนที่ยืดตัวออกภายหลังจากการขึ้นรูปโดยใช้กล้อง Microscope ที่มีกำลังขยาย 200 เท่าควบคู่กับโปรแกรมวัดขนาดเกรนผลปรากฏว่า มุมที่เกิดความยาวจากการยืดตัวของเกรนหลังการขึ้นรูปน้อยสุดคือมุม 30 องศา จุดที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเริ่มจากจุดที่ 2 มีความยาวของเกรนเฉลี่ยเท่ากับ 54.94 μm จุดที่ 3 มีความยาวของเกรนเฉลี่ยเท่ากับ 79.66 μm จุดที่ 4 มีความยาวของเกรนเฉลี่ยเท่ากับ 63.28 μm มุม 40 องศา จุดที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเริ่มจากจุดที่ 2 มีความยาวของเกรนเฉลี่ยเท่ากับ 57.65 μm จุดที่ 3 มีความยาวของเกรนเฉลี่ยเท่ากับ 87.08 μm จุดที่ 4 มีความยาวของเกรนเฉลี่ยเท่ากับ 66.63 μm และมุมที่เกิดที่เกิดความเครียดจากการขึ้นรูปมากที่สุดคือมุม 50 องศา มีความยาวของเกรนเฉลี่ยเท่ากับ 58.08 μm จุดที่ 3 มีความยาวของเกรนเฉลี่ยเท่ากับ 99.97 μm จุดที่ 4 มี

ความยาวของเกรนเฉลี่ยเท่ากับ 68.41 μm จากการทดลองจะเห็นได้ว่ายิ่งเพิ่มมุมให้มีค่ามากเท่าไรความความยาวที่ยืดอกของเกรนภายหลังจากการขึ้นรูปก็จะมากขึ้นตามและจุดที่มีความยาวจากการยืดตัวของเกรนมากที่สุดก็คือจุดที่อยู่ตรงกลางของการกดระหว่างจุดเริ่มต้นคือจุดที่ 2 และจุดสุดท้ายของการกดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปคือจุดที่ 4 ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงความยาวที่เกิดขึ้นกับมุม 30, 40 และ 50 องศา จากการยืดตัวของเกรนในแต่ละจุด

5. สรุป

การทดลองปัจจัยมุมที่ใช้ในการขึ้นรูป โดยทำการขึ้นรูปที่มุม 30, 40 และ 50 องศาพบว่า ค่าความเครียดผิวหลักที่เกิดจากการขึ้นรูปด้วยมุมที่กำหนด แสดงให้เห็นได้ว่าจะมีค่าที่สูงขึ้นตามมุมที่ใช้ในการขึ้นรูป กล่าวคือมุมทีใช้ในการขึ้นรูปน้อย ความเครียดหลักที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวก็จะน้อยถ้ามุมที่ใช้ในการขึ้นรูปมาก ความเครียดหลักที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวก็จะมีค่ามากขึ้นเช่นกัน สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยมุมที่เหมาะกับการขึ้นรูปโดยก่อให้อัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานต่ำสุด คือการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา ขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของอุปกรณ์ส่งผลกระทบต่อความเครียดของชิ้นงานมากนัก ซึ่งกระบวนการขึ้นรูปนี้เหมาะสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบและที่ชิ้นงานมีความบางๆ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มทร.ธัญบุรี งบประมาณประจำปี 2558 และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] Fratini, L., Ambrogio, G., Lorenso, R. and Filice, L. 2004. Infruence of mechanical properties of the sheet material in single point incremental forming ,CRIP Ann.53 (1) :207-210.

[2] ธงชัย เพ็งจันทร์ดี. 2554. อิทธิพลของการขึ้นรูปโลหะทองเหลืองด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยสัมผัสเป็นจุดโดยทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมเชิงตัวเลข. ; วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[3] Jackson, K. and Allwood, J. 2009. The mechanic of incremental sheet forming, Journal of Materials Processing Technology 209: II58-II74.

[4] Duflou, J., Tunckol, Y. and Szekeres, A. 2007. Experimental study on force measurement for single point incremental forming. Journal of Materials Processing Technology 189: 65-72.

[5] Micari, F., Ambrogio, G. and .Filice, L. 2007. Shape and Dimention accurency in Single Point Incremental Forming: State of art and Future trends, Journal of Materials Processing Technology 191: 390-395.

[6] Jeswiet. J. 2000. Rapid proto-typing with incremental single point forming. CAD/CAM Comput.Grapics 15: 177-183.

[7] บุญส่ง จงกลนี. 2552. “การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตรต่อสมบัติการขึ้นรูปของเหล็ก SPCC.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

การปรับปรุงกระบวนการบดน้ำยาเคลือบเซรามิกส์สำหรับกระเบื้องปูพื้นและบุผนังตามกระบวนการแก้ไขปัญหา

Improving Ceramic Glaze-Slip Production Process for Floor and Wall Tiles by Problem Solving Methodology

ธีรพันธ์ นกยูงทอง [1*], ทศพล เกียรติเจริญผล[2], ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาธรรมศาสตร์
E-mail: Terapan999@hotmail.com*
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
Teerapan Nokyongtong[1*], Tossapol Kiatcharoenpol[2], Tritos Laosirihongthong[1]
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University[1].
E-mail: Terapan999@hotmail.com*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang[2]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการบดน้ำยาเคลือบเซรามิกส์สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบเคลือบผิวกระเบื้องปูพื้นและบุผนังโดยใช้กระบวนการแก้ไขปัญหาแบบเชิงระบบ (Systematic Problem Solving Process) ซึ่งในอุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องปูพื้นและบุผนังนั้นต้นทุนด้านพลังงานจะเป็นส่วนหลักเมื่อเทียบกับส่วนอื่นๆ และในปัจจุบันต้นทุนส่วนนี้คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบดแต่ละครั้งโดยเฉลี่ย 67.49 กิโลวัตต่อตัน ขั้นตอนการศึกษาจะเริ่มจากการกำหนดปัจจัยที่สามารถนำมาอธิบายผลของการบด ซึ่งวัดค่าเป็นเปอร์เซ็นกาก (% Residue) ของน้ำยาเคลือบ โดยพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการบดประกอบด้วย ก) ปริมาณลูกบดในหม้อบด ข) ส่วนผสมของลูกบดที่ขนาดต่างๆ และ ค) ปริมาณวัตถุดิบที่ทำการบด จากนั้นจึงใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบแฟคเทอเรียล (2^k Factorial Design) เพื่อนำไปสู่การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้างต้น ผลการศึกษาพบว่า พลังงานที่ใช้ในการบดจะสามารถลดลงได้ร้อยละ 25 ภายใต้เงื่อนไขการผลิต คือ ใช้ปริมาณลูกบดร้อยละ 50 ของปริมาตรหม้อบด โดยมีส่วนผสมของลูกบดที่ขนาดต่างๆ คือ ลูกบดขนาด 20 มม. 25 มม. 30 มม. 40 มม. และ 50 มม. ในอัตราส่วน 11:26:26:26:11 และ ปริมาณวัตถุดิบในการบดร้อยละ 25 ของปริมาตรหม้อบด โดยใช้เวลาในการบดเพียง 9 ชั่วโมง ซึ่งจากเดิมที่ใช้เวลาในการบด 12 ชั่วโมง

คำสำคัญ กระบวนการบดน้ำยาเคลือบ, การแก้ไขปัญหาแบบเชิงระบบ, การออกแบบการทดลอง

Abstract

This independent study has objectives for reducing of grinding time for the ceramic glaze slip. Moreover, we apply utilizing a systematic problem solving concept of Problem solving. Ceramic tile industrials have energy that is determining factor of overhead cost 67.49 kwH average per ton. The scope of study included ball milling process for the glaze and it aimed to find input the factors that can explain result of milling and the % residue. The factor that is to study is ball volume, ball ratio and material load. Then we apply 2^K factorial experiment and multi-factors linear regression for analysis to obtain optimal process. The study was able to recommend setting of ball volume at 50%, ball size ratio for 20mm : 25mm :

30mm : 40mm : 50mm are 11 : 26 : 26 : 26 : 11, and material volume 25%. This condition can reduce of grinding time from 12 hours to 9 hours. Finally the result of the energy consumption can reduce 25% and it can keep a quality of glaze slip. For the conclusion a ball volume, a ball ratio and a material load was a factor for the grinding time.

Keywords: Glaze grinding, Systematic Problem Solving, Design of Experiment

1. บทนำ

การดำเนินธุรกิจในสภาวะ ที่ตลาดมีการแข่งขันกันอย่างรุนแรงในปัจจุบัน จำเป็นอย่างยิ่งที่องค์กรจะต้องให้ความสำคัญกับการเพิ่มประสิทธิภาพและการลดต้นทุน เพราะจะสามารถอยู่รอดและเจริญเติบโตต่อไปได้ **[1]** จากการสำรวจสภาพปัจจุบันในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการผลิต ส่วนมากยังไม่ได้รับการแก้ไขได้อย่างถาวร เนื่องจากผู้ที่รับผิดชอบจะอาศัยประสบการณ์การทำงานเป็นหลัก ทำให้ไม่สามารถนำมาเชื่อมโยงปัญหาให้เข้าถึงปัญหาที่แท้จริงได้ **[2]** สำหรับการศึกษานี้ จะเสนอตัวอย่างของกระบวนการแก้ไขแบบเป็นระบบที่ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ การตั้งนิยามของปัญหา, การวิเคราะห์ปัญหาและรายละเอียด, การพิจารณาทางเลือกในการแก้ไขปัญหา, ประเมินทางเลือกที่ดีที่สุด, และการให้คำแนะนำและติดตามผล [3, 5] โดยใช้เครื่องมือทางสถิติ คือ การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุดในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการบด ซึ่งเป็นต้นทุนหลักของกระบวนการนี้

2. แนวคิดพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1กระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ

กระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบมีพื้นฐานมาจากกระบวนการแก้ปัญหาโดยทั่วไปซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับทุกๆประเภทของปัญหาวิธีการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบประกอบด้วยห้าขั้นตอนดังต่อไปนี้ [3,5,6]

ขั้นตอน 1: การตั้งนิยามของปัญหา การตั้งนิยามของปัญหาเป็นการค้นหาปัญหาที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาและเมื่อพบปัญหาที่เหมาะสมแล้วก็อธิบายปัญหานั้นอย่างชัดเจนเช่นต้นทุนการผลิตสูง อัตราการผลิตต่ำ หรืออัตราการผลิตของเสียสูง เป็นต้นขั้นตอนนี้ต้องกำหนดเกณฑ์วัดผลความสำเร็จด้วยเช่นต้นทุนการผลิตต้องลดลง5% เป็นต้น

ขั้นตอน 2 : การวิเคราะห์ปัญหาและรายละเอียด ขั้นตอนนี้ประกอบด้วยการเก็บข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับปัญหารวมถึงข้อจำกัดที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบ

ขั้นตอน 3 : การพิจารณาทางเลือกในการแก้ไขปัญหา ขั้นตอนนี้คือการนำเสนอทางเลือกทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหาภายใต้ข้อจำกัดที่มีอยู่ เพื่อระบุทางเลือกที่เป็นไปได้

ขั้นตอน 4 : ประเมินทางเลือกและเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด ขั้นตอนนี้ประกอบด้วยการประเมินทางเลือกอย่างมีระบบและการเลือกคำตอบที่ดีที่สุดโดยได้นำเสนอวิธีการเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด

ขั้นตอน5 : การให้คำแนะนำและติดตามผลเมื่อได้นำวิธีการทำงานที่ดีที่สุด มาใช้ในการทำงานจริงแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการติดตามผลว่าวิธีการทำงานใหม่นี้มีประสิทธิผลตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการตั้งนิยามของปัญหาหรือไม่อีกเป้าหมายหนึ่งของขั้นตอนนี้คือเพื่อติดตามระวังปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงาน

2.2 เครื่องมือที่ใช้กับข้อมูลเชิงปริมาณเพื่อการวิเคราะห์ทางสถิติ

การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางสถิติจะต้องได้รับการฝึกอบรมเพื่อให้สามารถนำมาใช้แยกแยะสาเหตุของความผันแปรที่เป็นไปได้ แล้วทำการลดความผันแปรหรือข้อบกพร่องนั้น การวิเคราะห์กระบวนการและการเจาะลึกในแผนภูมิและกราฟต่าง ๆ จะสามารถช่วยหารากเหง้าของปัญหา ในหลายกรณีที่ข้อมูลไม่ชัดเจนมากนัก หรือหากเราต้องการระดับการพิสูจน์ที่สูงขึ้นจากเครื่องมือต่าง ๆ ที่แค่แสดงให้เห็นภาพ เราสามารถนำเครื่องมือในการวิเคราะห์ทางสถิติที่ซับซ้อนมากขึ้นมาใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องมือหลายอย่าง โดยเครื่องมือทางสถิติที่สำคัญในการปรับปรุงกระบวนการได้แก่ ก) การทดสอบการมีนัยสำคัญในเชิงสถิติ ข) การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ และ ค) การออกแบบการทดลอง [4]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการนี้ เป็นขั้นตอนการประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนชั่วโมงในการบดสำหรับการบดน้ำยาเคลือบเซรามิกส์ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกหัวข้อปัญหาจากกระบวนการบดน้ำยาเคลือบเซรามิกส์ โดยเริ่มต้นจากแนวนโยบายหลัก ที่มีเป้าหมายในการลดต้นทุนการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่ความพยายามในการเพิ่มประสิทธิภาพการบดของหม้อบด โดยทำความเข้าใจกับกระบวนการ ได้ดังนี้

3.1 ศึกษากระบวนการผลิตและตั้งนิยามของปัญหา

งานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้วิธีการคัดเลือกหัวข้อปัญหาจากกระบวนการผลิตน้ำยาเคลือบที่มีอยู่ในโรงงานกระเบื้องเซรามิกส์ โดยเริ่มต้นจากแนวนโยบายหลักของบริษัทที่มีเป้าหมายการลดต้นทุนการผลิต หลังจากนั้นทำการศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตน้ำยาเคลือบและกำหนดปัญหาโดยใช้เครื่องมือทางสถิติในการกำหนดปัญหา จากการวิเคราะห์ได้คัดเลือกหัวข้อการเพิ่มประสิทธิภาพการบดด้วยหม้อบดซึ่งเป็นกระบวนการหลักในขั้นตอนการเตรียมน้ำยาเคลือบ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นไปที่ความพยายามในการลดค่าพลังงาน ซึ่งจะมีตัววัดในกระบวนการที่เกี่ยวข้องและเป็นตัวชี้นำค่าพลังงาน นั่นคือรอบเวลาในการทำงานแต่ละครั้ง

3.2 การวิเคราะห์ปัญหาและรายละเอียด

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อศึกษาทำความเข้าใจถึงผลของตัวแปรแต่ละตัวที่ได้คัดเลือกมาเพื่อคัดกรองตัวแปรหรือพิสูจน์หาตัวแปรที่สำคัญที่สุดในกระบวนการที่เป็นสาเหตุต้นตอของปัญหาที่นิยามไว้ โดยเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการวัดผลซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมมาเพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุง แล้วทำการศึกษาอาการของปัญหา เพื่อหาความเชื่อมโยงกลับไปถึงสาเหตุในกระบวนการที่เป็นต้นเหตุแห่งความผันแปร เครื่องมือทางสถิติที่ใช้คือ การทดสอบสมมติฐาน โดยเบื้องต้นใช้การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ครั้งละหนึ่งตัวแปร โดยเริ่มจากศึกษาผลของระดับปริมาณของลูกบดในหม้อบด จากนั้นจึงศึกษาสัดส่วนของลูกบดและปริมาณของวัตถุดิบที่ทำการบด

3.3 การพิจารณาทางเลือกในการแก้ไขปัญหา

ขั้นตอนนี้ คือ การนำเสนอทางเลือกที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหาภายใต้ข้อจำกัดที่มีอยู่โดยในขั้นตอนนี้จะมีการตั้งกลุ่มทำงานที่ประกอบด้วยตัวแทนจากฝ่ายผลิต, ฝ่ายส่งเสริมการผลิต,ฝ่ายวิจัยและพัฒนาและฝ่ายควบคุมคุณภาพ ในการระดมความคิดเพื่อระบุแนวทางเลือกที่เป็นไปได้เพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหา

3.4 การออกแบบปรับปรุงกระบวนการ

การออกแบบวิธีการทดลองนั้นใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลในขอบข่ายการศึกษานี้ ตั้งเป้าหมายไว้ที่การให้ได้ผลลัพธ์ของการบดที่ดีที่สุดและมีการใช้รอบเวลาและพลังงานในการบดต่ำที่สุด โดยมีเป้าหมายคือ ขนาดอนุภาคของน้ำยาเคลือบเซรามิกส์มีขนาดน้อยกว่า 45 ไมคอน หรือมีจำนวนกาก(%Residue)ค้างตะแกรงขนาด 325 mesh น้อยกว่าร้อยละ 0.3 ของปริมาณน้ำยาเคลือบ ใช้เวลาในการบดลดลง 10% และใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงร้อยละ 10 ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าสำหรับกระบวนการบดของหน่วยงานเตรียมน้ำยาเคลือบ โดยมีตัวแปรเอ้าท์พุทของกระบวนการเป็นจำนวนกาก(%Residue)และใช้ปัจจัยวิกฤติในการผลิตเป็น ก) ส่วนผสมของลูกบดที่ขนาดต่าง ๆ ข) สัดส่วนของลูกบดต่อปริมาตรหม้อบด ค) สัดส่วนวัตถุดิบต่อปริมาตรหม้อบด และ ง) รอบเวลาในการบด

3.5 การควบคุมและติดตามผล

เป็นขั้นตอนการวางแผนและออกแบบระบบการควบคุมกระบวนการ เพื่อรักษาระดับการปรับปรุงให้เป็นผลระยะยาว โดยการเฝ้าติดตามถึงปัจจัยการผลิตที่ได้รับการออกแบบมาว่ามีผลต่อผลิตภัณฑ์อย่างไร เพื่อคอยควบคุมตัวแปรสำคัญ ๆ ให้อยู่ในช่วงมาตรฐานใหม่ที่เป็นระดับการทำงานที่ค้นพบในขั้นตอนการปรับปรุง จนมั่นใจว่าความสำเร็จที่ได้เป็นผลมาจากการปรับปรุงที่กระบวนการนั้นจริง ๆ

4. ผลการศึกษา

ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบดที่ตรวจพบทั้ง 4 ปัจจัย จำเป็นจะต้องทำการปรับปรุงและแก้ไขกระบวนการโดยมีขั้นตอนต่อไปนี้

4.1.การวิเคราะห์ปัญหาและรายละเอียด

จากการศึกษาหน่วยงานเตรียมน้ำยาเคลือบพบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาจากกระบวนการบดน้ำยา

เคลือบ ซึ่งเกิดจากใช้เวลาในการบดนานเพื่อให้น้ำยาเคลือบมีคุณภาพตามข้อกำหนด แต่ถ้าน้ำยาเคลือบไม่ได้ตามข้อกำหนดก็จะพบปัญหาด้านคุณภาพ คือ เคลือบสากโดย defect นี้เกิดจากกระบวนการบดที่ไม่มีประสิทธิภาพของหม้อบด (Milling process) ที่เป็นการบดด้วยหม้อบด(Ball mill) ในแนวนอน โดยมีผนังของหม้อบดเป็นอลูมินา(Alumina liners) และ ลูกบด อลูมินา (Alumina ball) และหมุนตามแนวนอน โดยค่าที่ใช้วัดความสากของน้ำยาเคลือบก็คือ ค่าเปอร์เซ็นของกากค้างตะแกรงขนาด 45ไมคอน ในที่นี้จะเรียกว่าค่า %residue

4.2 การพิจารณาทางเลือกในการแก้ไขปัญหา (Search for possible solutions)

ปัจจัยที่นำมาศึกษาซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการบดได้แก่ ก).ปริมาณของลูกบดในหม้อบด ข). ขนาดของลูกบดและสัดส่วนแต่ละขนาดที่เติมลงในหม้อบด ค)ปริมาณของวัตถุดิบที่บด และ ง) เวลาในการบด จากปัจจัยเหล่านี้พบว่ามีตัวแปรเป็นจำนวนมากเกินกว่าที่จะสามารถนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองแบบ Factorial Experiment ได้ในคราวเดียวได้ และเพื่อเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญมาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาจุดที่ดีที่สุดของกระบวนการบด(Optimization) ผู้ศึกษาจึงเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวแปรเดี่ยวด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐาน (One factor at a time) เพื่อทำการคัดกรองตัวแปร โดยเริ่มจากการทดสอบตัวแปรอินพุทต่างๆ ก่อนที่จะออกแบบการทดลองแบบ Factorial Experiment เพื่อหา Process optimization

4.3 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกับปัญหา (Analyze)

ปัจจัยที่ทำการศึกษาที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการบดโดยใช้ค่า %residue ของน้ำยาเคลือบเป็นตัวชี้วัดได้แก่ ก)ปริมาณของลูกบดในหม้อบด ข).ปริมาณของวัตถุดิบที่บด และ ค) ขนาดของลูกบดและสัดส่วนแต่ละขนาดที่เติมลงในหม้อบด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวแปรเดี่ยว ด้วยการทดสอบสมมุติฐานเพื่อคัดกรองตัวแปร โดยใช้การวิเคราะห์แบบ One Way ANOVA โดยเริ่มจากการศึกษาผลของปริมาณของลูกบดในหม้อบด โดยเลือกระดับปัจจัยเป็น 3 ระดับ คือ ระดับ 1) ปริมาณลูกบดที่ 45% ของปริมาตรหม้อบด ระดับ 2) ปริมาณลูกบดที่ 50% ของปริมาตรหม้อบด และ ระดับ 3) ปริมาณลูกบดที่ 55% ของปริมาตรหม้อบด จากนั้นศึกษาปริมาณวัตถุดิบที่ทำการบด โดยเลือกระดับปัจจัยเป็น 3 ระดับ คือ ระดับ 1) ปริมาณวัตถุดิบที่ 20% ของปริมาตรหม้อบด ระดับที่ 2) ปริมาณวัตถุดิบที่ 25 % ของปริมาตรหม้อบด และ ระดับที่ 3 ปริมาณวัตถุดิบที่ 30% ของปริมาตรหม้อบด จากนั้นศึกษาขนาดของลูกบดและสัดส่วนแต่ละขนาดที่เติมลงในหม้อบด โดยเลือกระดับปัจจัยเป็น 3 ระดับ คือ ระดับ 1) ขนาดลูกบด 20:30:40:50 มม. เท่ากับ 25:25:25:25 ระดับ 2) ขนาดลูกบด 30:40:50 มม. เท่ากับ 25:50:25 และระดับ 3) ขนาดลูกบด 20:25:30:40:50 มม.เท่ากับ11:26:26:26:11 แล้วนำผลมาวิเคราะห์โดย One Way ANOVA พบว่าแต่ละปัจจัย ซึ่งได้แก่ ก) ปริมาณลูกบด ข) ปริมาณวัตถุดิบที่ทำการบด และ ค) ขนาดของลูกบดและสัดส่วนแต่ละขนาด เป็นปัจจัยที่มีผลต่อ % Residue ของน้ำยาเคลือบ อย่างมีนัยสำคัญ (P-value < 0.05) โดยควรที่จะเลือกระดับของปริมาณลูกบดที่ 50 % , ระดับวัตถุดิบที่ 20% และ ส่วนผสมของลูกบดขนาด 20 :25 : 30: 40: 50 มม. เท่ากับ 11:26:26:26:11ซึ่งจะสามารถคาดหวัง % residue ของน้ำยาเคลือบน้อยกว่า0.3 % จากวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อต้องการหาสภาวะของการบดที่เหมาะสมที่สุดเพื่อหาเวลาในการบดที่น้อยที่สุดและยังคงรักษาคุณภาพของน้ำยาเคลือบให้คงเดิม ดังนั้นทางผู้ศึกษาได้ทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Experiment

4.4 การปรับปรุงกระบวนการ (Improvement)

หลังจากศึกษาปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อผลตอบสนองได้แล้วนั้น จึงได้นำแต่ละปัจจัยมาออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุด ตามระดับของปัจจัยโดยวิธีการ 2^k Factorial Experiment ด้วยโปรแกรม Minitab โดยเลือกปัจจัยที่จะทำการศึกษาทั้งหมด 3 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

ก) ปริมาณวัตถุดิบที่ทำการบด เลือก ที่ระดับ 25% และ 30% ของปริมาตรหม้อบด

ข) สัดส่วนลูกบดใน Ball mill เลือกที่ระดับ 2 และระดับ 3

ค) เวลาในการบดเลือกที่ 8 ชั่วโมง และ 10 ชั่วโมง

และผลตอบสนองคือ ค่า%Residue ของน้ำยาเคลือบ และเลือกระดับลูกบดที่ 50% ของปริมาตรหม้อบด โดยวิเคราะห์ครบทุกตัวแปรเพื่อพิจารณานัยสำคัญของแต่ละตัวแบบ ได้แก่ตัวแบบเดี่ยวประกอบด้วย Grinding time , Ball ratio และ %Material load เทอม two-way interaction ประกอบด้วย Grinding time * Ball ratio ,Grinding time*%material load และ Ball ratio*%material load เทอม three-way interaction มีเพียง 1 เทอม คือ Grinding time*Ball ration *%Material load โดยผลลัพธ์ของค่า Sum Square และ P-valueได้ค่าดังตารางที่ 4.1

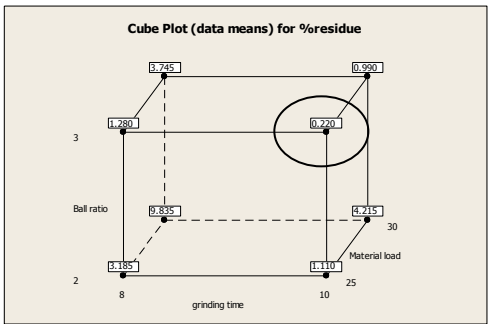
ตารางที่4.1 แสดง Analysis of Variance for %residue

Source	DF	SeqSS	AdjSS	AdjMS	F	P
MainEffec	3	111.97	111.97	37.32	60.90	0.00
2-Way	3	21.26	21.26	7.09	11.56	0.00
3-Way	1	0.86	0.86	0.86	1.40	0.27
Res.Error	8	4.90	4.90	0.61		
PureError	8	4.90	4.90	0.61		
Total	15	138.98				

จากตาราง ANOVA เมื่อพิจารณาจากค่า P-value พบว่า ตัวแบบที่ส่งผลต่อค่า %Residue ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 คือ Main Effect ทั้งสามตัวแบบ(P-Value <0.05) และ 2-way interaction ทั้งสามเทอม (P-value <0.05) ส่วน 3-way interaction นั้นไม่ส่งผลต่อค่า % Residue อย่างมีนัยสำคัญ จากผลของการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาสภาวะของแต่ละปัจจัย ประกอบด้วย เวลาในการบด (Grinding time) , อัตราส่วนลูกบดแต่ละขนาด(Ball ratio) และ ปริมาณวัตถุดิบที่ทำการบด(%Material load) สรุปได้ว่า ปัจจัยทั้ง 3 และปฏิกิริยาร่วมแต่ละปัจจัย ส่งผลต่อค่า %residue ของน้ำยาเคลือบ อย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติที่ระดับ α = 0.05 ทำให้ทราบสภาวะของปัจจัยเหล่านี้ที่เหมาะสม ซึ่งจะนำมาใช้หาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการบดในลำดับต่อไป

4.5 เสนอแนะแนวทางในการปรับตั้งกระบวนการบดน้ำยาเคลือบ

จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่จะทำการลดเวลาในการบดน้ำยาเคลือบให้ใช้เวลาน้อยที่สุด โดยยังคงรักษาคุณภาพของน้ำยาเคลือบคงเดิม การวิเคราะห์ Main Effect plot และ Interaction plot เป็นการวิเคราะห์เพียงความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสามที่ส่งผลต่อค่า %residue และสามารถแนะนำเพื่อหาจุดที่ดีที่สุดได้เพียงแค่พยายามเลือก % Material load ที่ต่ำๆ ประมาณไม่เกิน 25 % และ Ball ratio ที่ระดับ3ที่ทำให้มีช่องว่างระหว่าง ball น้อย ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบดและเพื่อให้การหาสภาวะ การทำงานของการบดให้ดีที่สุด ก็จะทำการวิเคราะห์ด้วยกราฟ Cube Plot และหาความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการเชิงเส้นของแต่ละปัจจัยได้ผลดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1แสดง Cube Plot ของ grinding time ,Ball ratio และ Material load ต่อ %residue

จากรูปที่4.1 แสดงกราฟ Cube plot สรุปได้ว่า ค่า %residue ที่ดีที่สุด (ค่าน้อยที่สุด) คือ 0.22% โดยจะต้องตั้งค่าเวลาบด (grinding time) ไว้ที่ 10 ชั่วโมง ball ratio ที่ใช้คือ ระดับ 3 และวัตถุดิบที่จะทำการบด (Material load) คือ 25% ของปริมาตรหม้อบดและได้ตัวแบบคณิตศาสตร์ของทุกปัจจัยสรุปได้ดังนี้

%residue =-82.1162 +3.34125(grinding time) +6.17250(Ball ratio) + 4.6375(Material load)

+0.97(grinding time*Ball ratio) - 0.262(grinding time*Material load) - 0.652 (Ball ratio*Material load) และจากการหาจุดที่ดีที่สุดด้วย Response Optimizer จะได้ว่า เวลาที่น้อยที่สุด (Grinding time) ที่ทำให้ได้ค่า %residue =0.2 คือ 9 ชั่วโมง โดยจะต้องเติมปริมาณวัตถุดิบที่ 25% ของปริมาตรหม้อบด และ Ball ratio ระดับ 3 คือ อัตราส่วนลูกบดแต่ขนาด ดังนี้

Size : 20mm : 25mm : 30mm : 40mm : 50mm

Ratio: 11 % : 26 % : 26 % : 26 % : 11%

ซึ่งถ้าบดด้วย condition นี้ จะทำให้ลดเวลาบดลงจาก 12 ชั่วโมง ได้ประมาณ 25 %

4.6 การควบคุมกระบวนการ (Control)

จากคำตอบที่ได้จากการทดลอง และตัวแบบคณิตศาสตร์ ทำการผลิตตามเงื่อนไขที่ได้เลือกเอาไว้อีกจำนวน 5 แบทช์ เพื่อยืนยันผลการทดลอง โดยผลการทำงานแบบใหม่เป็นที่น่าพอใจ จากนั้นจึงทำแผนการควบคุม และทำการฝึกอบรมให้กับพนักงานที่ปฏิบัติงานในหน่วยงาน ในลำดับต่อไป

5. สรุปผลการศึกษา

การปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางการแก้ปัญหา (Problem solving) สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ โดยนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการบดน้ำยาเคลือบของอุตสาหกรรมกระเบื้องปูพื้นและบุผนัง โดยมีวัตถุประสงค์คือ การลดต้นทุนในการผลิตด้านพลังงานไฟฟ้า ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของผลผลิตของกะบวนการบดน้ำยาเคลือบนี้ คือ ค่าเปอร์เซ็นกาก(%residue)ของตัวน้ำยาเคลือบ ในขั้นตอนกำหนดปัญหา ทำให้ทราบสภาพปัจจุบันของกระบวนการบดได้ชัดเจน และยังพบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกินความจำเป็น อันเนื่องมาจากการบดวัตถุดิบซ้ำ เนื่องมาจากคุณภาพที่ยังไม่ได้ตามข้อกำหนด หรือใช้เวลาในการบดนานเพราะไม่ทราบสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการบด ดังนั้นจึงใช้เทคนิคต่างๆทางสถิติในการแก้ปัญหา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการบด เพื่อให้ได้กระบวนการบดที่มีประสิทธิภาพ โดยจะสามารถลดเวลาในการบดในแต่ละแบทช์ของการผลิต และยังคงรักษาคุณภาพของผลผลิตตามมาตรฐาน และ จากการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่สำคัญ 3 ปัจจัยคือ เวลาในการบด อัตราส่วนของลูกบดแต่ละขนาด และปริมาณของวัตถุดิบที่ทำการบด ทำให้ทราบสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยเหล่านี้ที่ทำให้ได้ผลผลิต คือ ค่าเปอร์เซ็นกาก(%residue) ของน้ำยาเคลือบ ดังนี้ อัตราส่วนของลูกบดแต่ละขนาดที่เหมาะสมคือ 20 มม. : 25 มม. : 30 มม. : 40 มม. : 50 มม. เท่ากับ 11% : 26% : 26% : 26% : 11% โดยใช้ชั่วโมงบด 9 ชั่วโมง และวัตถุดิบที่จะทำการบดต้องอยู่ที่ 25 % ของปริมาตรหม้อบด และปริมาณของลูกบดต้องอยู่ที่ 50% ของปริมาตรหม้อบดด้วย ซึ่งเมื่อคิดเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าแล้ว ทำให้สามารถประหยัดไฟฟ้าได้ถึง 25% ผลการปรับปรุงกระบวนการบดน้ำยาเคลือบในครั้งนี้ จึงเป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหา(Problem Solving) และยังแสดงให้เห็นถึงวิธีการ ขั้นตอนของการนำไปประยุกต์ใช้ ในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ รวมทั้งยังนำเครื่องมือทางสถิติต่างๆ มาประยุกต์ใช้ตามกระบวนการแก้ไขปัญหา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ภาควิชาวิศวอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

[1]ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง,กลยุทธ์การผลิต/การปฏิบัติเพื่อสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพมหานคร,.2553.

[2]อัมพวรรณ จิรอาภาวงศ์, ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง, และทศพล เกีรติเจริญผล,การประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC สำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิตสุขภัณฑ์เซรามิกส์, วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 19 ฉบับที่ 4, 2551

[3]พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์. 2556. ประโยชน์ และการประยุกต์ใช้วิศวกรรมวิธี ,วิศวกรรมสาร มก.ฉบับที่ 83 ปีที่ 26 ม.ค. – มี.ค.,2556

[4]DouglasC. Mongomery.2008.Design and Analysis of Experiment , John wiley & Sons

[5] Durward K. Sobek II, Vikas K. Jain..
The Engineering Problem-Solving Process .Montana State University,2004

[6] Jennifer Docktor and Kenneth Heller. Assessment of Student Problem Solving Processes. School of Physics and Astronomy, University of Minnesota, Minneapolis,2010.

การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อกำหนดวิธีปฏิบัติในการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

Factor Analysis for Determining Tempering Procedure of Alloy Steels by Using Response Surface Methodology

สมศักดิ์ แก้วพลอย[1]* ชำนาญ พูลสวัสดิ์[1] สุรชัย นุ่มสารพัดนึก[2]
[1]โปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อ.เมือง จ.สงขลา 90000
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 E-mail: somsakkp@hotmail.com*

Somsak Kaewploy[1]*, Chamnan Poonsawat[1], Surachai Numsarapatnuk[2]
[1]Department of Engineering, Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University, Mueang, Songkhla 90000
[2]Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Pathumwan, Bangkok 10330
E-mail: somsakkp@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพลังงานแรงกระแทกของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 เพื่อหารูปแบบและข้อกำหนดวิธีปฏิบัติในกระบวนการอบคืนตัว โดยนำเทคนิคการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองชนิดการออกแบบส่วนประสมกลาง เพื่อศึกษาผลของปัจจัย 2 ปัจจัย คืออุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัว จากการทดลองพบว่าปัจจัยทั้งสองปัจจัยมีผลต่อพลังงานแรงกระแทกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ข้อมูลจากการทดลองที่ได้มีความเหมาะสมกับสมการควอราติก เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจสูง (R^2 = 99.08%) เมื่อนำสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนองสามมิติและกราฟโครงร่างเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการอบคืนตัว พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการอบคืนตัวคืออุณหภูมิในการอบคืนตัว 591 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัว 94 นาที ซึ่งทำให้พลังงานแรงกระแทกเท่ากับ 75.6 จูล

คำหลัก การอบคืนตัว เหล็กกล้าผสม วิธีพื้นผิวตอบสนอง

Abstract

This research work is to study the factors influencing on the impact energy of AISI 4140 alloy steel for finding a form and determining procedure in tempering process using the Design of Experimental technique by using Response Surface Methodology in a central composite design to study the impact of the two factors being temperature and time of the tempering. From the experiment, it is found that both factors affect on the impact energy significantly at 0.05 significant level. The data from experiment are suitable for the quadratic equation due to providing a high coefficient of determination (R^2 = 99.08%). When this mathematic equation is taken to construct a three-dimensional response surface graph and

contour graph to determine the appropriate parameters in the tempering process. It is found that the optimal temperature is 591 degrees celsius and the optimal baking time is 94 minutes, which serves the impact energy as 75.6 J.

Keywords: Tempering, Alloy Steel, Response Surface Methodology

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเกี่ยวกับเหล็กกล้ามีการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย และได้มีการพัฒนาและคิดค้นเหล็กกล้าชนิดต่าง ๆขึ้นมาใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานและกระบวนการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเหล็กที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตโดยทั่วไปแล้ว ส่วนผสมหลักในเหล็กกล้านั้นก็คือธาตุคาร์บอน (Carbon) เหล็กกล้าที่นำมาใช้งานนั้น ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาสมบัติทางกลของเหล็กกล้าด้วยวิธีการเติมธาตุผสมอื่น ๆซึ่งจะได้เหล็กกล้าที่เรียกว่าเหล็กกล้าผสม [1] ปัจจุบันเหล็กกล้าผสมถูกนำมาใช้งานกันอย่างมากในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆเช่น ใช้ทำเฟืองขนาดเล็ก สลักเกลียว ชิ้นส่วนเครื่องจักร และน็อตต่าง ๆ ซึ่งในการที่จะได้เหล็กกล้าผสมที่ใช้งานแล้วเกิดประโยชน์สูงสุด จำเป็นต้องทราบกระบวนการที่ผลิตเหล็กกล้าผสมและต้องทำให้มีคุณสมบัติที่ดีและเหมาะสมกับการใช้งาน [2] เนื่องจากเหล็กกล้าผสมที่ใช้ในอุตสาหกรรมต้องการความแข็ง ความแข็งแรง ความเหนียว ความต้านทานต่อการสึกหรอ และความต้านทานต่อการกระแทกในการใช้งาน เป็นต้น ดังนั้นก่อนนำไปใช้งานต้องมีการปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมกับสภาพที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งการอบชุบเหล็กกล้าผสมด้วยความร้อนจึงเป็นกรรมวิธีที่มีความสำคัญกรรมวิธีหนึ่งและใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับเหล็กกล้า [3], [4]

งานวิจัยนี้จะใช้เหล็กกล้าผสม AISI 4140 ซึ่งมีธาตุผสมหลักที่เพิ่มเติมนอกจากธาตุคาร์บอนคือซิลิกอน โครเมียม และโมลิบดีนัม [5] ส่วนสำคัญของงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่กระบวนการทางความร้อนโดยการนำเหล็กมาทำการชุบแข็ง [3], [4] และจุ่มลงในน้ำมัน จากนั้นนำมาอบคืนตัว เพื่อหาวิธีปฏิบัติและปัจจัยที่เหมาะสมในการอบคืนตัวสำหรับเหล็กกล้าผสม AISI 4140 โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) ชนิดการออกแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design; CCD) [6] เพื่อหารูปแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับพลังงานแรงกระแทก ได้แก่ อุณหภูมิในการอบคืนตัว (องศาเซลเซียส) และเวลาในการอบคืนตัว (นาที)

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 เครื่องจักรอุปกรณ์และเครื่องมือ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อกำหนดวิธีปฏิบัติในการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 โดยวิธีพื้นผิวตอบสนองชนิดการออกแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design; CCD) โดยใช้เครื่องจักรอุปกรณ์และเครื่องมือประกอบด้วย

1) ชิ้นงานสำหรับทดสอบพลังงานแรงกระแทก มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 10x10 มม. ที่มีลักษณะเป็นเส้นไปตัดด้วยเครื่องตัดให้ได้ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองจำนวน 39 ชิ้น แล้วกลึงให้ได้ความยาว 55 มม. และทำการบากร่องวีขนาดมุม 45 องศา ตรงบริเวณกึ่งกลางของชิ้นทดสอบให้มีความลึกเท่ากับ 2 มม. ตามมาตรฐานการทดสอบแบบชาร์ปี

2) เตาอบชุบ รุ่น KS 80 ยี่ห้อ Linn High Therm

3) เครื่องทดสอบแรงกระแทก รุ่น IT 3U ยี่ห้อ Brooks

4) เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับเตรียมชิ้นทดสอบ

2.2 วิธีการออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัว โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง [6] ที่มี 2 ปัจจัย คืออุณหภูมิในการอบคืนตัว (Temperature; A) และเวลาในการอบคืนตัว (Time; B) ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1) การกำหนดระดับของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย โดยพิจารณาจากมาตรฐาน [5] งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การทดลองเบื้องต้น และข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองซึ่งระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมี 5 ระดับ โดยเพิ่มเติมในส่วนของระดับ Alpha เท่ากับ +1.414 และ

-1.414 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

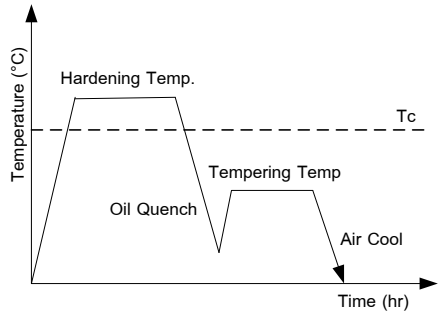
ปัจจัย	ระดับ				
	-Alpha (-1.414)	-1	0	+1	+Alpha (+1.414)
อุณหภูมิ (A)	309	350	450	550	591
เวลา (B)	18	30	60	90	102

2) การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางในกระบวนการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 ซึ่งใช้โปรแกรม Minitab R.16 ในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง ซึ่งกำหนดลำดับการทดลองและออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มี 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 5 ระดับ ดังนั้นจึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 13 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลำดับการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (CCD)

StdOrder	RunOrder	PtType	Temperature	Time
6	1	-1	591	60
12	2	0	450	60
10	3	0	450	60
9	4	0	450	60
1	5	1	350	30
2	6	1	550	30
4	7	1	550	90
11	8	0	450	60
5	9	-1	309	60
8	10	-1	450	102
13	11	0	450	60
7	12	-1	450	18
3	13	1	350	90

3) การอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 กระบวนการอบคืนตัวของงานวิจัยนี้ ซึ่งมีขั้นตอนหลัก ๆ อยู่ 3 ขั้นตอนคือ การให้ความร้อนในการชุบแข็งเหนืออุณหภูมิวิกฤต (Hardening Temperature) การชุบแข็งในน้ำมัน (Oil Quenching) และการอบคืนตัว [4] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการอบคืนตัว

โดยอุณหภูมิการเผาให้ความร้อนในการชุบแข็ง (Hardening Temperature) กำหนดไว้ที่ 850°C [5] แล้วชุบแข็งด้วยน้ำมัน ส่วนอุณหภูมิในการอบคืนตัว (Tempering Temperature) และเวลาในการอบคืนตัว (Tempering Temperature) ในการอบคืนตัวแต่ละครั้งนั้นจะกำหนดโดยเงื่อนไขของแต่ละลำดับการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 เนื่องจากการทดลองทั้งหมดมีจำนวน 13 การทดลอง จึงขอแสดงตัวอย่างขั้นตอนการอบคืนตัวชิ้นงานการทดลองที่ 1 (Run 1) คืออุณหภูมิในการอบคืนตัวที่ 591°C เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งทำทดลองเป็นเงื่อนไขที่ 6 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) นำชิ้นงานเข้าเตาอบชุบไฟฟ้าปรับตั้งอุณหภูมิเพื่อชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 60 นาที เพื่อให้โครงสร้างของเหล็กเปลี่ยนเป็นออสเตนไนท์ (Austenite)

2) หลังจากอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 60 นาที แล้วนำชิ้นงานชุบในน้ำมันอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ (Martensite) ที่มีคุณสมบัติด้านความแข็งสูงแต่มีความเปราะแตกหักได้ง่าย

3) นำชิ้นงานเข้าเตาอบไฟฟ้าอีกครั้ง ปรับตั้งอุณหภูมิเพื่ออบคืนตัว โดยใช้อุณหภูมิอบคืนตัวที่ 591°C เป็นเวลา 60 นาที เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งและความเหนียว

4) เมื่ออบคืนตัวที่ 591°C เป็นเวลา 60 นาที แล้วให้นำชิ้นงานทดสอบเย็นตัวในอากาศ เพื่อเหล็กจะมีคุณสมบัติด้านความเหนียวดีขึ้นแต่ความแข็งจะลดลงเล็กน้อย

5) นำชิ้นงานที่ผ่านการอบคืนตัวมาทดสอบพลังงานแรงกระแทกจำนวนทั้ง 3 ชิ้น ตามมาตรฐานการทดสอบ

แบบชาร์ปี แล้วนำค่าพลังงานแรงกระแทกทั้ง 3 ค่ามาเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าพลังงานแรงกระแทกเฉลี่ยของแต่ละชิ้นงานทดสอบ

6) ทำการทดลองตามแผนการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2 จนครบทั้งหมด จำนวน 13 การทดลอง

3. ผลและการวิเคราะห์

3.1 พลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัว

นำปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งและพลังงานแรงกระแทกทั้ง 2 ปัจจัย ได้แก่อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัว มาทำการทดลองตามแผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ดังแสดงในตารางที่ 2 ผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความแข็งและพลังงานกระแทกที่ได้แต่ละหน่วยการทดลอง

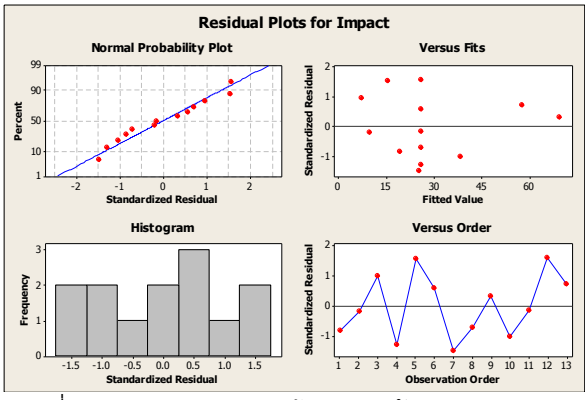
StdOrder	Temp	Time	Impact (หน่วย : จูล)			
			1	2	3	เฉลี่ย
1	350	30	9.61	8.85	9.05	9.17
2	550	30	37.75	37.47	35.78	37.00
3	350	90	16.89	17.38	18.23	17.50
4	550	90	59.11	58.84	58.06	58.67
5	309	60	18.86	15.79	19.35	18.00
6	591	60	70.63	70.73	68.64	70.00
7	450	18	7.94	8.73	8.83	8.50
8	450	102	22.07	22.93	24.00	23.00
9	450	60	27.34	25.86	23.42	25.54
10	450	60	21.76	24.33	23.72	23.27
11	450	60	28.25	28.87	29.85	28.99
12	450	60	24.14	24.00	25.09	24.41
13	450	60	26.11	28.54	26.35	27.00

3.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

3.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การวิเคราะห์เริ่มจากการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล เมื่อดำเนินการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังนั้นก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต้องตรวจสอบก่อนว่าข้อมูลที่เก็บมานั้นเป็นข้อมูลที่มีคุณภาพหรือไม่ โดยมีความจำเป็นต้องพิสูจน์ถึงคุณสมบัติ (Model Adequacy Checking) ของข้อมูล 3 ประการด้วยกันคือ การทดสอบความอิสระของข้อมูล (Independence Test) การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) และการทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล (Variance Stability Test) [7], [8], [9]

1) การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล เป็นการตรวจสอบส่วนตกค้างของข้อมูลว่ามีการกระจายแบบแจกแจงปกติหรือไม่ จากการพิจารณาการกระจายของค่าส่วนตกค้างดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่ามีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างจากผลการทดลองของพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัวไม่แสดงสิ่งผิดปกติให้เห็น จึงสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลของพลังงานแรงกระแทก

2) การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล การตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้างโดยใช้แผนภูมิการกระจายเพื่อสังเกตลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่ามีรูปแบบอิสระหรือไม่ จากการพิจารณารูปที่ 2 พบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองพลังงานแรงกระแทก ในการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนโดยใช้แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างในแต่ละระดับของปัจจัย จากการพิจารณารูปที่ 2 พบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองของพลังงานแรงกระแทกที่ได้จาก

กระบวนการอบคืนตัวมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนจากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง พบว่าค่าส่วนตกค้างของข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ คือ (1) ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ (2) ค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน และ (3) ค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจและวิเคราะห์ความแปรปรวน

3.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Sq) เป็นค่าที่ใช้บอกร้อยละการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระในสมการถดถอย จากผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของพลังงานกระแทกในตารางที่ 4 จะเห็นว่า ค่า R-Sq มี ค่าเท่ากับ 99.08% หมายความว่าตัวแปรอิสระ (อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัว) สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม (พลังงานกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัว) ได้ร้อยละ 99.08 ตามลำดับ แสดงว่าแบบจำลองสามารถนำไปสร้างสมการทำนาย เพื่อหาค่าผลตอบได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

3.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการตรวจสอบแหล่งผันแปรของแบบจำลอง จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัวที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในตารางที่ 4 พบว่า P-Value ของเทอมอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) มีค่า 0.020 และเทอมกำลังสองมีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด แสดงว่ามีส่วนโค้งเกิดขึ้นที่พื้นผิวตอบสนอง ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการแบบจำลองกำลังสองสำหรับทำนายพลังงานแรงกระแทกโดยวิธีการอบคืนตัว

3.2.4 การสร้างสมการทำนายพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัว

การสร้างสมการทำนายพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัว โดยนำค่าของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัวในตารางที่ 4 มาเขียนให้อยู่ในรูปของสมการถดถอยดังแสดงในสมการที่ 1

$$\text{Impact} = 131.0220 - 0.7216A + 0.3593B + 0.0009A^2 - 0.0054B^2 + 0.0011AB \quad (1)$$

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์การถดถอยพื้นผิวตอบสนองของพลังงานแรงกระแทก

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	25.842	0.9980	25.894	0.000
Temperature	17.817	0.7890	22.583	0.000
Time	6.313	0.7890	8.002	0.000
Temp*Temp	9.256	0.8461	10.941	0.000
Time*Time	-4.869	0.8461	-5.754	0.001
Temp*Time	3.335	1.1158	2.989	0.020
S = 2.23145 R-Sq = 99.08% R-Sq(adj) = 98.43%				

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัว

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P
Regression	5	3760.33	752.07	151.02	0.000
Linear	2	2858.53	1429.27	287.02	0.000
Square	2	857.31	428.65	86.08	0.000
Interaction	1	44.49	44.49	8.93	0.020
Residual E	7	34.86	4.98		
Lack-of-Fit	3	14.85	4.95	0.99	0.483
Pure Error	4	20.01	5.00		
Total	12	3795.19			

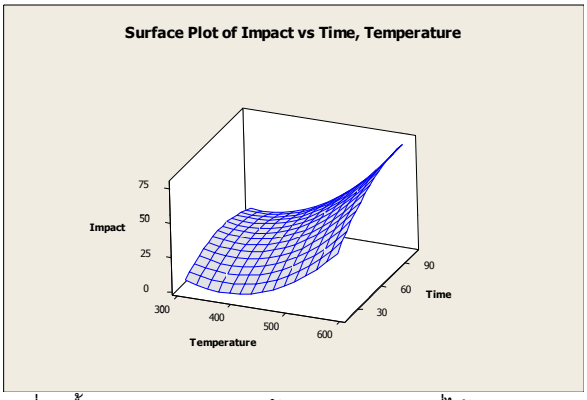
เมื่อพิจารณาการขาดความเหมาะสมของสมการ (Lack of Fit) ในตารางที่ 5 พบว่าค่า P-Value ของ Lack of Fit มีค่าเท่ากับ 0.483 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองนี้มีความพอเพียงของตัวแบบในสมการ ดังนั้นจึงสามารถนำสมการข้างต้นมาใช้ในการทำนายพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัวได้

3.2.5 การสร้างพื้นผิวตอบสนอง

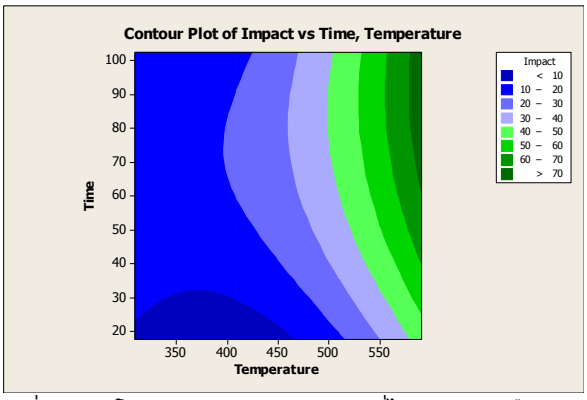
เมื่อได้สมการสำหรับทำนายพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัวแล้ว จึงนำมาสร้างกราฟพื้นผิวตอบสนอง (Surface Plot) ได้และกราฟโครงร่าง (Contour Plot) ดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ตามลำดับ

จากกราฟพื้นผิวตอบสนองพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากกระบวนการอบคืนตัวในรูปที่ 3 ระหว่าง

อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัวพบว่าพลังงานแรงกระแทกที่ได้เพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัวอยู่มีระดับสูง อาจเนื่องมาจากที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าวทำให้โครงสร้างมาร์เทนโซต์เปลี่ยนเป็นโครงสร้างเพิลไลท์ ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานมีความเหนียวมากขึ้น เมื่อนำกราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัวต่อพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากกระบวนการอบคืนตัวมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง (Non-Linear Effect) ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยที่พื้นที่ด้านขวามือสุดของกราฟแสดงถึงพลังงานแรงกระแทกเท่ากับ 70 จูล ส่วนพื้นที่ถัดออกมาจะแสดงถึงพลังงานแรงกระแทกที่ลดลงคือ 60 50 และ 40 จูล ตามลำดับ



รูปที่ 3 พื้นผิวตอบสนองของพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัว

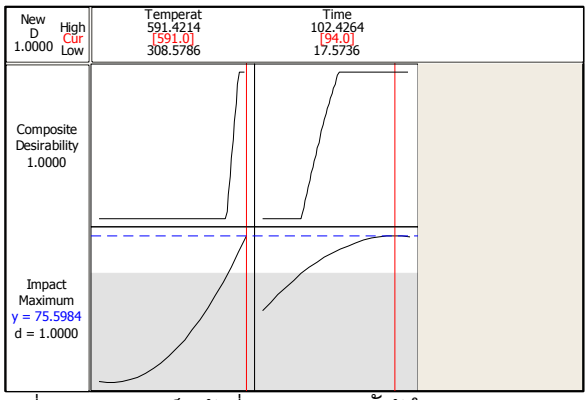


รูปที่ 4 กราฟโครงร่างพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัว

3.2.6 การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด

การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้พลังงานแรงกระแทกมากที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response optimizer ในโปรแกรม Minitab ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าที่เหมาะที่สุดของปัจจัยและใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite desirability; D) ซึ่งค่าความพึงพอใจของผลตอบมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

จากการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของพลังงานแรงกระแทกในกระบวนการอบคืนตัว คืออุณหภูมิในการอบคืนตัวที่ 591 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัวที่ 94 นาที ซึ่งทำให้พลังงานแรงกระแทกที่ได้เท่ากับ 75.6 จูล โดยมีค่าความพึงพอใจรวมเท่ากับ 1.0



รูปที่ 5 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในกระบวนการอบคืนตัว

3.27 การยืนยันผลแบบจำลอง

เป็นการทดลองเพื่อยืนยันผลที่ได้ โดยการนำสมการถดถอยมาพยากรณ์พลังงานแรงกระแทก และทำการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล จากการทดลองทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์โดยการตั้งอุณหภูมิในการอบคืนตัวที่ 591 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัว 94 นาที ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง แล้วนำผลที่ได้จากการพยากรณ์มาเปรียบเทียบกับค่าจริง จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (Minitab R.16) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ค่า P-Value = 0.147 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ ซึ่งสรุปได้ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นเมื่อทำ

การยืนยันแบบสมการพยากรณ์โดยเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลองจะมีความคลาดเคลื่อนที่น้อยสามารถทำให้ทราบว่าสมการพยากรณ์สามารถใช้ในการทำนายค่าพลังงานแรงกระแทกของกระบวนการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 ได้

4. สรุปผลการวิจัย

จากการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองเพื่อกำหนดวิธีปฏิบัติในการอบคืนตัวของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 พบว่าปัจจัย 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิในการอบคืนตัว (A) และเวลาในการอบคืนตัว (B) มีผลต่อพลังงานแรงกระแทก โดยทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการสำหรับทำนายพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากการอบคืนตัว คือ พลังงานแรงกระแทก = $131.0220 - 0.7216A + 0.3593B + 0.0009A^2 - 0.0054B^2 + 0.0011AB$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจเท่ากับ 99.08% เมื่อนำมาหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดโดยฟังก์ชัน Response Optimization พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการอบคืนตัวคือ อุณหภูมิในการอบคืนตัว 591 องศาเซลเซียส และเวลาในการอบคืนตัว 94 นาที ซึ่งทำให้พลังงานแรงกระแทกที่ได้เท่ากับ 75.6 จูล โดยมีค่าความพึงพอใจรวมเท่ากับ 1.0 เมื่อทำการทดลองยืนยันผลพลังงานแรงกระแทกโดยเฉลี่ยและช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% มีค่าใกล้เคียงกับพลังงานแรงกระแทกที่ได้จากสมการทำนายพลังงานแรงกระแทก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สำหรับการสนับสนุนทางด้านวัสดุ เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] อภิรัฐ ศูภวัฒน์ยืนยง และ พงษ์ศักดิ์ ถึงสุข, ศึกษาผลกระทบของโครงสร้างโลหะวิทยาที่มีต่อสมบัติทางกลของเหล็กกล้าที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งและอบคืนไฟ, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2554, กรุงเทพ, 20-21 ตุลาคม 2554, หน้า 1012-1018, 2554.

[2] สมศักดิ์ แก้วพลอย, การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบชุบเหล็กกล้าผสมด้วยความร้อน, การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2550, 24-26 ตุลาคม 2550, ภูเก็ต, หน้า 814-818, 2550.

[3] มนัส สถิรจินดา, เหล็กกล้า, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ, หน้า 1-157, 2537.

[4] มนัส สถิรจินดา, วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ, หน้า 5-125, 2535.

[5] Metal Handbook Vol 1, Property and Selection Iron and Steels, ASM Handbook.

[6] Mongomery, DC., Design and Analysis of Experiment, John Wiley & Sons Inc, New York, 2001.

[7] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, สถิติสำหรับงานวิศวกรรมเล่ม 2, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 19-400, 2551.

[8] Mongomery, D.C. and Runger, G.C., Applied Statistics and Probability for Engineering, John Wiley & Son Inc., New York. 2003.

[9] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุทธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง, สำนักพิมพ์ท้อป, กรุงเทพฯ, หน้า 295-322, 2551.

การหล่อเย็นด้วยน้ำมะพร้าวในกระบวนการกลึงปอก

The coconut water cooling in the turning process

จตุพร ใจดำรงค์[1*] ปิยวิทย์ สุวรรณ[2] และบรรเลง คำเกตุ[3]
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา
E-mail: jatuporn1974@gmail.com

JatupornJaidumrong[1*] Piyavit Suwan[2] and BunlengKumket[3]
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Sivijaya, Songkhla
E-mail: jatuporn1974@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพผิวชิ้นงานกลึงที่ใช้น้ำมะพร้าวและน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำเป็นสารหล่อเย็น การทดลองกลึงปอกเพลาเหล็กกล้า ST37 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง คือ อัตราป้อน 0.10, 0.14, 0.18 และ 0.25 มิลลิเมตรต่อรอบ ความเร็วตัด 195, 215, 235 และ 255 เมตรต่อนาที และความลึก 0.4, 0.6 และ 1 มิลลิเมตร กลึงปอกชิ้นงานด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีและวัดค่าความขรุขระของผิวชิ้นงาน วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความขรุขระผิว ผลการทดลองพบว่าน้ำมะพร้าวและน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำที่ใช้หล่อเย็นในกระบวนการกลึงปอกให้ค่าความขรุขระผิวที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ น้ำมะพร้าว น้ำมันตัดผสมน้ำ สารหล่อเย็น ความขรุขระผิว กระบวนการกลึงปอก

Abstract

This study aimed to compare the quality surface machining using coconut water and a water miscible coolants. Trial turning shaft steel ST37 factors and levels used in the experiment is the feed rate of 0.10, 0.14, 0.18 and 0.25 mm per revolution, cutting speeds of 195, 215, 235 and 255 meters per minute and a depth of 0.4, 0.6 and 1 millimeter. Lathe stripping parts with CNC lathe and measure the roughness of the surface. Analysis of the difference of the average surface roughness. The results showed that coconut water and water miscible coolants used in the process, turning the surface roughness is not significantly different at the 0.05 level.

Keywords : Coconut water, Soluble cutting oils, Coolant, Surface roughness, Turning process

1. บทนำ

กระบวนการตัดกลึงโลหะที่มีการใช้สารหล่อเย็นเพื่อลดความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องมือตัดกับชิ้นงานซึ่งช่วยลดความร้อนและไล่เศษตัดที่เกิดขึ้นในระหว่างการตัดเฉือนเนื้อโลหะออกจากบริเวณตัดเฉือน ช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องจักรและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครื่องจักรอีกด้วย นอกจากนี้ในกระบวนการกลึงผู้ปฏิบัติงานที่มีการสัมผัสกับสารหล่อเย็นจะมีโอกาสได้รับอันตรายจากสารเคมีทั้งการสัมผัสโดยตรงกับผิวหนังและการหายใจเข้าทางปอด [1]

น้ำมะพร้าวแก่ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมเกษตรไม่ค่อยมีการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งน้ำมะพร้าวเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแยกน้ำและเนื้อมะพร้าวเพื่อนำไปผลิตน้ำกะทิ แต่น้ำมะพร้าวแก่ไม่ได้รับความนิยมในการนำไปบริโภคเหมือนน้ำมะพร้าวอ่อน เนื่องจากไม่ค่อยมีกลิ่นหอม และรสชาติก็ไม่หวานอร่อย [2] จากการศึกษากระบวนการผลิตน้ำกะทิของแม่ค้าในตลาดรางรถไฟ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา พบว่ามีน้ำมะพร้าวแก่ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำกะทิ ซึ่งมีปริมาณวันละ 200 ลิตรต่อวันซึ่งเหลือทิ้งไม่ได้ใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยน้ำมะพร้าวจะมีกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยากและมีต้นทุนต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกันน้ำมันพืช ดังนั้นน้ำมะพร้าวแก่จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของทรัพยากรที่เหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดย ชัยยะ ประณีตพลกรัง และคณะ [3] ได้ทำการทดลองวิธีการหล่อเย็นแบบใหม่ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมโดยใช้น้ำมันพืชผสมละอองน้ำ น้ำมันพืชที่ใช้ในการทดลองสามแบบ คือ น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม ในงานวิจัยนี้ใช้การกลึงแบบไม่ใช้น้ำเย็น น้ำมันหล่อเย็นล้วน และน้ำมันหล่อเย็นชนิดผสมกับน้ำเป็นสารที่ใช้เปรียบเทียบผลการหล่อเย็นกับน้ำมันพืชทั้งสามชนิด และใช้ในการเปรียบเทียบคือการสึกหรอของเล็บมีดกลึง แรงที่ใช้ในการตัดเฉือน อุณหภูมิขณะทำการตัดเฉือน และความขรุขระผิวของชิ้นงาน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำมันจากเมล็ดทานตะวันสามารถที่จะนำมาใช้แทนน้ำมันหล่อเย็นได้ แต่ควรมีการปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้นกว่าเดิม เพื่อประสิทธิภาพที่ดีมากขึ้นในการหล่อเย็น

กิตติชัย หล่อบุญสม และศิริชัย ต่อสกุล [4] ทำการตรวจหาลักษณะการสึกหรอของเม็ดมีดตัด และความขรุขระผิวจากการกลึงเหล็กหล่อ FCD 400 กลึงปลอกชิ้นงานด้วยโดยใช้สารหล่อเย็นชนิดน้ำมัน BIOBAN 2000 EP ชนิดกึ่งสังเคราะห์ BIOBAN CS และชนิดสังเคราะห์ BIOCUT No.4 ต่อจากนั้นทำการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์คุณภาพผิวและการสึกหรอของเม็ดมีดตัดระหว่างการใช้สารหล่อเย็นชนิดต่าง ๆ โดยทำการคงที่ตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความเร็วรอบ ระยะกินลึก และอัตราป้อน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการใช้สารหล่อเย็นสามารถเพิ่มคุณภาพผิวชิ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารหล่อเย็น BIOBAN 2000 EP ให้คุณภาพผิวดีที่สุด R_a=7.98 ไมโครเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับสารหล่อเย็นชนิดอื่นๆ และสารหล่อเย็นแต่ละชนิดยังมีผลต่อลักษณะการสึกหรอของเม็ดมีดตัดแตกต่างกัน

กัมพล เพชรคง [5] ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม(Stainless Steel) โดยเทียบกับคุณภาพผิวของงานเจียรนัยเป็นเกณฑ์ วัสดุที่ใช้ในการทดลองเหล็กกล้าไร้สนิม (AISI/SUS 304) และใช้มีดกลึงอินเสิร์ทคาร์ไบด์เคลือบผิวด้วยกระบวนการซีวีดี (CVD) ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยความเร็วตัด อัตราป้อน และสารหล่อเย็น จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวคือความเร็วตัดซึ่งมีคุณภาพผิวของงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยที่ความเร็วตัดต่ำจะทำให้คุณภาพผิวของชิ้นงานที่ดีแต่เมื่อเพิ่มความเร็วตัดให้สูงขึ้นทำให้คุณภาพผิวของชิ้นงานต่ำลง

ชาญชัย ศิวิไล และสรรติชัย ชีวสุทธิศิลป์ [6] การวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมในงานกลึงปอกเพลาเหล็กกล้าชนิด ST 37 ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความขรุขระผิวชิ้นงาน เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความขรุขระของผิวงานกลึงคือ อัตราป้อนความเร็วตัด และระยะป้อนลึก และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อความขรุขระผิวชิ้นงาน อย่างมีนัยสำคัญคือ อัตราป้อน ความเร็วตัด และระยะป้อนลึก ผลการศึกษาพบว่างานกลึงปอกเพลาเหล็กกล้าชนิด 37 ที่สามารถกลึงให้ได้ความขรุขระผิวกำหนด คืออัตราป้อนที่ 0.09 ม.ม./รอบ ความเร็วตัดที่ 137 ม./นาที และระยะป้อนลึกที่ 0.10 ม.ม.

Safian, S., Hisyam, M.A. and Aman, S. [7] การนำน้ำมันพืชเป็นสารหล่อลื่นงานกัดสแตนเลส (AISI 420) โดยใช้เครื่องมือตัดคาร์ไบด์เคลือบผิว ทำการกลึงโดยใช้ความเร็วในการตัดคงที่ 60 เมตร/นาที และ อัตราป้อน 0.03 ม.ม. ที่ระดับความลึกรัศมี และแนวแกนการตัดคงที่ 12 ม.ม. และ 0.6 ม.ม. ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการหล่อเย็นแบบแห้ง และแบบผสมน้ำ และการหล่อลื่นด้วยน้ำมันพืชมีประสิทธิภาพสูงกว่าการทดลองแบบอื่นๆในแง่ของเครื่องมือกัด การกัดแบบแห้งอายุการใช้งานของเครื่องมือสั้นที่สุด

สำหรับ Swarup Paul and Pradip Kumar Pal [8] การศึกษาคุณภาพผิวชิ้นงานที่ผลิตด้วยเครื่องความเร็วสูงโดยใช้น้ำมันตัดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในการศึกษากระบวนการกลึงเหล็กโดยใช้เครื่องมือตัด 18-4-1 HSS ซึ่งมีอัตราความเร็วในการป้อนตัดชิ้นงาน และความลึกของการตัดมีความแตกต่างกันไปตามประเภทของน้ำมันหล่อลื่นน้ำมันหล่อลื่นแบบเดิม และน้ำมันพืช เพื่อเปรียบเทียบกับสภาพผิวชิ้นงานตัดแห้ง การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของการหล่อลื่น พบว่าการใช้น้ำมันพืชเป็นน้ำมันตัดมีคุณภาพผิวชิ้นงานที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการตัดแบบแห้งและแบบใช้น้ำ

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำน้ำมะพร้าวมาใช้ทดแทนสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึง โดยการทดลองและวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบหาคุณภาพด้านความเรียบผิวและการสึกหรอคมตัด

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1 ชิ้นงานทดลองกลึงปอกผิวมีขนาด 38 ม.ม. เหล็กกล้าคาร์บอน ST37 มีคุณสมบัติทนแรงดึงได้สูงสุด 37 กก./ม.ม.^{2}

2.2 เม็ดมีดกลึงคมตัดเป็น Insert ยี่ห้อ Kennametal เลขรหัสรุ่น KC9110 [9] โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดมีด 12.70 ม.ม. ค่ารัศมีของมุมมีด 0.80 ม.ม. ความยาวของหน้าคมตัด 8.69 ม.ม. ค่าความหนาของเม็ดมีด 4.76 ม.ม. ความเร็วตัดของเม็ดมีด 400 เมตร/นาที อัตราป้อนตัด 0.10-0.40 ม.ม. และค่าความลึกสำหรับการกลึงปอกผิว 0.25-1.60 ม.ม.

2.3 เครื่องกลึงซีเอ็นซีที่ใช้ยี่ห้อ HASS รุ่น SL-20

2.4 เครื่องวัดความขรุขระผิวยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น Surftest 301

2.5 น้ำมะพร้าวที่เลือกใช้เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตซึ่งจะนำมาทำการทดลองจะต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมะพร้าวให้มีค่า ph มีสถานะเป็นกลางโดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 10 % โดยผสมน้ำมะพร้าว และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วน 1 ลิตร : 4 มิลลิลิตร และทำการวัดค่า phด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ (PH meter)

2.6 น้ำมันที่ใช้ในงานตัดกลึงชนิดผสมน้ำยี่ห้อ Shell (Dromus oil B) [10] เป็นสารหล่อเย็นประเภทน้ำมันสบู่ผสมน้ำมีการใช้งานกับงานเจาะ กลึง กัด เหมาะกับโลหะอ่อนถึงแข็งปานกลาง อัตราส่วนผสมน้ำ 3 - 5 % หรือน้ำมัน 1.2 ลิตร ต่อน้ำ 20 ลิตร

2.7 กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereo micro scope) ยี่ห้อ Motic รุ่น Moticam2000 ความละเอียด 2 ล้านพิกเซล ใช้สำหรับตรวจสอบการสึกหรอของคมตัด

2.8 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดและด่างของสารละลาย พีเอชมิเตอร์ (PH meter) ยี่ห้อ PH–WTW รุ่น Inolap PH720

3. การออกแบบการทดลอง

3.1 ปัจจัยผลตอบของการทดลอง คือ ค่าความขรุขระผิวของชิ้นงานกลึง

3.2 ปัจจัยและระดับในการทดลอง มีรายละเอียดของข้อมูลแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับของปัจจัยทดลอง			
อัตราป้อน (ม.ม./รอบ)	0.10	0.14	0.18	0.25
ความเร็วตัด (เมตร/นาที)	195	215	235	255
ความลึก (ม.ม.)	0.4	0.6	1	

3.3 ทำการทดลองจำนวน 48 ครั้งแบบ Full

Factorial ไม่มีการทำซ้ำ หล่อเย็นด้วยสารหล่อเย็นแบบน้ำมะพร้าวและน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำตามลำดับ โดยสุ่มลำดับของการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 14

3.4 ทำการทดลองกลึงโดยจับชิ้นงานยาว 80 ม.ม. และกลึงปอกชิ้นงานด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี ตามปัจจัยและระดับในข้างต้นความยาว 50 ม.ม.

3.5 วัดค่าความขรุขระผิวชิ้นงานกลึงแบบ Ra จำนวนสามตำแหน่ง ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าความขรุขระผิว

3.6 ตรวจสอบการสึกหรอของคมตัดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

3.7 การวิเคราะห์สถิติค่าความแตกต่างค่าเฉลี่ยความขรุขระพื้นผิวสารหล่อเย็นทั้งสองชนิด (T-test) กรณีทราบค่าความแปรปรวนเท่ากันโดยการเปรียบเทียบการสึกหรอของคมตัด

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล

การทดสอบว่าข้อมูลของสิ่งตัวอย่างที่ได้มานั้นมีการกระจายแบบปกติหรือไม่ จากกราฟ Probability plot พบว่าข้อมูลค่าความขรุขระผิวของน้ำหล่อเย็นทั้งสองชนิดที่สุ่มตัวอย่างมานั้น มีการแจกแจงเป็นแบบปกติ (Normal distribution) ข้อมูลมีการเรียงตัวกันเป็นแนวเส้นตรง และข้อมูลไม่ออกนอกเส้นควบคุม

4.2 การทดสอบความแปรปรวนของประชากรว่าเท่ากันหรือไม่

เมื่อทราบว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติแล้ว ต้องทราบด้วยว่าความแปรปรวนของสารหล่อเย็นทั้งสองชนิด ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ ทำการทดสอบโดยใช้สถิติทดสอบ F-Test และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 14 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

กำหนดสมมติฐานทางสถิติ $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

กำหนดค่าระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

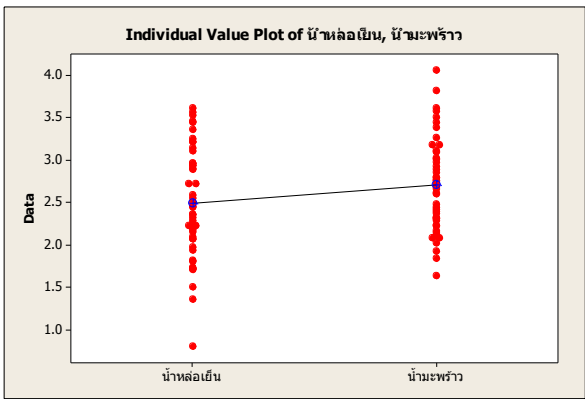
การทดสอบความแปรปรวนเมื่อ

$$(F=1.42) < (F_{(0.05,47,47)} = 1.68)$$

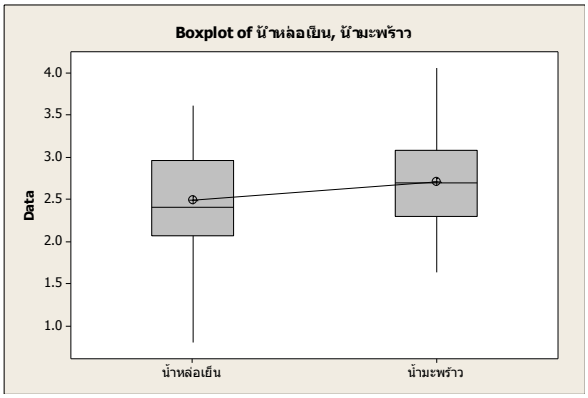
การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 14 พบว่าค่า p-value = 0.234 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $\alpha = 0.05$ จึงไม่สามารถปฏิเสธ $H_0 (\sigma_1^2 = \sigma_2^2)$ สรุปได้ว่าความแปรปรวนของประชากรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

4.3 การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสารหล่อเย็น

เมื่อทราบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติและมีค่าความแปรปรวนที่เท่ากันโดยใช้การทดสอบสถิติ T-test (กรณีไม่ทราบค่าความแปรปรวน แต่ทราบว่าค่าความแปรปรวนเท่ากัน) และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 14



รูปที่ 1 ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสารหล่อเย็น



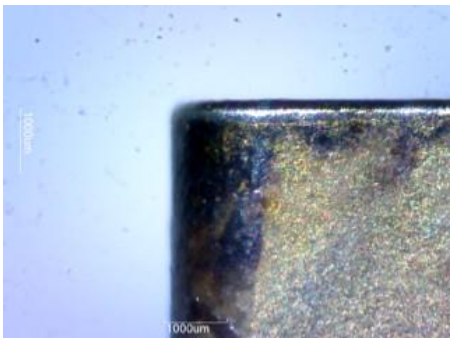
รูปที่ 2 ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสารหล่อเย็น

การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสารหล่อเย็น เมื่อ $(T_0 < T_{0.025,28})$ หรือ (1.77<1.99) และจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab เมื่อค่า p-value = 0.082

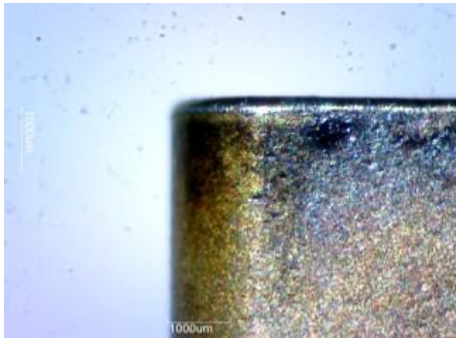
ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก $H_0 (\sigma_1^2 = \sigma_2^2)$ สรุปได้ว่าน้ำมะพร้าวและน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำที่ใช้หล่อเย็นในกระบวนการกลึง ให้ค่าความขรุขระผิวที่ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.4 การวิเคราะห์การสึกหรอของคมตัด

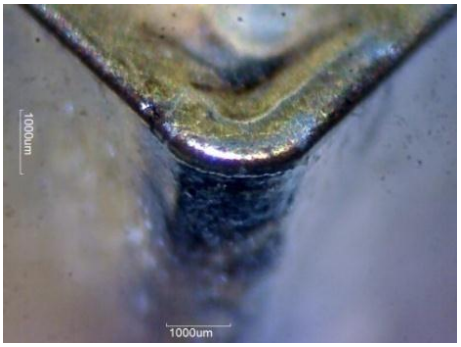
การสึกหรอบนผิวหลบที่เกิดขึ้นของคมตัดที่มีการใช้น้ำมะพร้าวเป็นสารหล่อเย็นพบว่ามีสีดำไหม้เป็นแนวยาวตามแนวการไหลเศษตัดบริเวณมุมปลายมีดตัด ดังรูปที่ 3 การสึกหรอชนิดนี้เกิดจากการขัดสีกันระหว่างผิวหลบของเม็ดมีดตัดกับผิวชิ้นงานที่กำลังทำการตัดเฉือน ซึ่งการไหม้แบบนี้เกิดขึ้นน้อยมากบนผิวหลบของการใช้สารหล่อเย็นแบบผสมน้ำ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 การสึกหรอบนผิวหลบที่ใช้น้ำมะพร้าว



รูปที่ 4 การสึกหรอบนผิวหลบที่ใช้น้ำหล่อเย็น



รูปที่ 5 การสึกหรอบนผิวคายที่ใช้น้ำมะพร้าว

รูปที่ 6 การสึกหรอบนผิวคายที่ใช้น้ำหล่อเย็น

การสึกหรอบนผิวคายของคมตัดที่มีการใช้น้ำมะพร้าวเป็นสารหล่อเย็นดังรูปที่ 5 มีการสึกหรอที่เกิดขึ้นน้อยกว่าผิวคายของคมตัดที่มีการใช้สารหล่อเย็นแบบผสมน้ำดังรูปที่ 6

การทดสอบความแตกต่างของค่าความขรุขระผิวในการกลึงปอกชิ้นงานด้วยสารหล่อเย็นทั้งสองชนิด โดยใช้การทดสอบด้วยสถิติทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสารหล่อเย็น พบว่าน้ำมะพร้าวและน้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำที่ใช้หล่อเย็นในกระบวนการกลึงมีค่าความขรุขระผิวที่ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การวิเคราะห์การสึกหรอของคมตัดโดยใช้น้ำมันตัดกลึงชนิดผสมน้ำเป็นสารหล่อเย็นมีลักษณะการสึกหรอบนผิวคาย ที่เกิดขึ้นสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน และน้ำมะพร้าวที่นำมาใช้เป็นสารหล่อเย็นในกระบวนการกลึง มีลักษณะการสึกหรอบนผิวหลบที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นรอยไหม้สีดำเป็นแนวยาวคาดว่าจะเกิดจากการเสียดสีของผิวชิ้นงานกับผิวหลบของคมตัดดังนั้นจึงควรทำการหล่อเย็นตรงแบบจุดบริเวณผิวหลบของคมตัด

5. สรุป

งานวิจัยฉบับนี้เป็นศึกษาการนำน้ำมะพร้าวแก่ในท้องตลาดมาใช้ทดแทนสารหล่อเย็นชนิดผสมน้ำเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกลึงชิ้นงานโดยใช้ค่าความขรุขระผิวของการกลึงปอกด้วยสารหล่อเย็นทั้งสองชนิดในระหว่างการทดลองพบว่าสามารถใช้น้ำมะพร้าวในการหล่อเย็นงานกลึงปอกได้ ซึ่งการสัมผัสกับน้ำมะพร้าวไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงาน นอกจากนี้กลิ่นที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองกลึงปอกผิวจะมีกลิ่นหอมอ่อน ๆ ซึ่งแตกต่างจากการใช้สารหล่อเย็นชนิดผสมน้ำซึ่งจะมีอาการระคายเคืองตามผิวหนังและหายใจติดขัดเมื่อมีการทำงานกับสารหล่อเย็นเป็นเวลานาน สำหรับน้ำมะพร้าวที่นำมาใช้ทดลองสามารถเก็บไว้ใช้ได้ประมาณ 2-3 วัน ก็จะเกิดกลิ่นบูดเกิดขึ้น

ข้อเสนอแนะสารหล่อเย็นที่ดีควรมีระยะเวลาในการใช้งานที่นาน แต่น้ำมะพร้าวที่นำมาใช้ทดลองเป็นสารหล่อเย็นนั้น ไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติในด้านของอายุการใช้งาน ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงให้อายุการใช้งานของน้ำมะพร้าวที่นำมาทำเป็นสารหล่อเย็นและควรทำการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมะพร้าวภายหลังจากการนำมาใช้งาน โดยการตรวจสอบหาสารตกค้างซึ่งจะช่วยในการปรับปรุงหรือแก้ไขน้ำมะพร้าวภายหลังการใช้งานก่อนนำไปทิ้งเพื่อให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยด้วยงบเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2555 และขอบคุณนายสมศักดิ์ แก้วหนองเสม็ด และนายธีระยุทธ ช่อสม นักศึกษาผู้ช่วยนักวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] รายละเอียดคู่มือความปลอดภัย, ข้อมูลจาก http://www.shethai.com. (วันที่สืบค้นข้อมูล 30 มิถุนายน 2554).

[2] อำพิน กันธิยะ. การใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร : น้ำมะพร้าวแก่. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ข้อมูลจาก http://www.agro.cmu. (วันที่สืบค้นข้อมูล 30 มิถุนายน 2554).

[3] ชัยยะ ประณีตพลกรัง และคณะ. การศึกษาคุณสมบัติการหล่อเย็นของน้ำมันพืชผสมละอองน้ำเพื่อเป็นแนวทางการใช้น้ำมันหล่อเย็นในงานตัดปาดผิว. สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2548.

[4] ศิริชัย ต่อสกุล, กิตติชัย หล่อบุญสม และอนินท์ มีมนต์. การศึกษาอิทธิพลของสารหล่อลื่นที่มีผลต่ออายุการใช้งานของเม็ดมีดตัดในขบวนการกลึงเหล็กหล่อ FCD 400. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2553.

[5] กัมพลเพชรคง. ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาครุศาสตร์อุตสาหการมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. 2553.

[6] ชาญชัย ศิวิไล และสรรฐติชัย ชีวสุทธิศิลป์. การวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมในงานกลึงปอกเพลาเหล็กกล้าชนิด 37. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2011.

[7] Safian, S., Hisyam, M. A., and Amsn, S., “Evaluation of Vegetable Oil as an Alternative Cutting Lubricant when End Milling Martensitic Stainless Steel Using Uncoated Carbide Tool,” Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 3, No. 2, pp. 49–55. 2009.

[8] Swarup Paul and Pradip Kumar Pal. Study Of Surface Quality During High Speed Machining Using Eco – Friendly Cutting Fluid. Mach Technol Mater, 11: 24-28. 2011.

[9] Kennametal, ข้อมูลเครื่องมือตัด, ข้อมูลจาก http://www.kennametal.com (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 พฤศจิกายน 2554).

[10] เซลล์โดรมัส บี. สยามลูบริแคนท์, ข้อมูลน้ำมันตัด, ข้อมูลจาก http://www.siamlubricant.com (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 พฤศจิกายน 2554).

การเพิ่มประสิทธิภาพในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ด้วยวิธีการจัดลำดับงาน กรณีศึกษา บริษัท ไดซิน จำกัด

Efficiency Improvement in Auto-parts Manufacturing Company using Process Scheduling Methodology: A case study of Daisin Co., Ltd.

กฤตเมธ เหล่าสันติสุข ภาสกร รายะรุจิ อธิป สร้อยคำ เลิศเลขา ธนะชัยขันธ์*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยรามคำแหง หัวหมาก บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240 E-mail: lerdlekha@hotmail.com*

Kittamet Loasantisuk, Passakorn Rayaruji, Atip Soykum, Lerdlekha Tanachaikhan*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Ramkhamhaeng University, Huamark, Bangkapi, Bangkok, 10240, E-mail: Lerdlekha@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์มีอัตราการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์มีการเจริญเติบโตสูงขึ้นตามไปด้วย การพัฒนามาตรฐานและวิธีการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ได้กำลังการผลิตที่เพียงพอและรวดเร็วทันต่อความต้องการจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ บทความนี้นำเสนอการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ด้วยวิธีจัดลำดับงานในบริษัท ไดซิน จำกัดเป็นกรณีศึกษา โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีการศึกษาเวลา (Time Study) และการศึกษาการทำงาน (Work Study) เพื่อทำการวิเคราะห์เวลามาตรฐานและหารอบเวลาที่ใช้ในการผลิตด้วยการจับเวลา จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการทำงานของคนงานแต่ละคนเพื่อจัดลำดับการทำงานให้เหมาะสม จากการศึกษาพบว่าทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้สามารถลดจำนวนคนงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเบรกมือรถยนต์ลงได้จาก 4 คนเหลือเพียง 3 คน โดยสามารถใช้เวลาได้ตามที่กำหนดและคนงานมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้น 20.5% โดยเฉลี่ย จึงทำให้โรงงานสามารถลดต้นทุนทางด้านเวลาและค่าแรงงานลงได้ ซึ่งนำไปสู่ผลกำไรที่มากขึ้นด้วย

คำหลัก การเพิ่มประสิทธิภาพ เวลามาตรฐาน การจัดลำดับการทำงาน

Abstract

At present, automotive manufacturing is growing continuously that contributes to the steady growth of auto-parts manufacturing. Development of standard and production for efficiency improvement and effective manufacturing is therefore necessary for promptly pace with the growing demand. This paper presents a study on efficiency improvement in auto-parts manufacturing company namely Daisin Co., Ltd. by using time study and work study methods for analyzing standard time and cycle time. Work performance of each worker was then estimated and rescheduled for appropriate work procedure. From study, the manpower in auto brake parts manufacturing process could be reduced from 4 to 3 operators by maintaining the standard time as well as improving the average efficiency of workman by up to 20.5%. Accordingly, time and manpower costs can be controlled that contributes to the greater benefits of the company.

Keywords: Efficiency improvement, Standard time, Process scheduling

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์มีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องทั่วโลก ทำให้มีความต้องการชิ้นส่วนรถยนต์ในแต่ละปีจำนวนมาก ดังนั้นอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการผลิตที่รวดเร็วเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างเพียงพอและได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพมาตรฐาน

บทความนี้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตชิ้นส่วนเบรกมือ กรณีศึกษา บริษัท ไดซิน จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนอะลูมิเนียมส่งตรงให้กับบริษัทผู้ประกอบในอุตสาหกรรมยานยนต์ ในปัจจุบันใช้คนงานในสายการผลิตจำนวน 4 คน แต่มีประสิทธิภาพในการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 59.54% จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยใช้ทฤษฎี การศึกษาเวลา (Time Study) และการศึกษาการทำงาน (Work Study) เพื่อทำการวิเคราะห์หาเวลามาตรฐานและหาเวลาที่ใช้ในการผลิตด้วยการจับเวลา จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการทำงานของคนงานแต่ละคนเพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหา โดยปรับลดจำนวนคนงานและจัดลำดับการทำงานใหม่เพื่อนำมาสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในสายการผลิตนี้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทความนี้ใช้การวิเคราะห์หาเวลารอบในการทำงานในสายการผลิตมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพเพื่อนำไปสู่การจัดสรรจำนวนคนที่ต้องการในสายการผลิตและขั้นตอนในการผลิตที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานให้เหมาะสมและยังสามารถลดเวลาสูญเปล่าที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด โดยใช้ทฤษฎีการศึกษาเวลา (Time Study)

การศึกษาเวลา คือ การหาเวลามาตรฐานในการทำงานของคนงาน ซึ่งได้รับการฝึกงานนั้นมาอย่างดีทำงานนั้นในอัตราปกติ (Normal pace) ด้วยวิธีการที่กำหนดให้ (Specified method) จากคำนิยามข้างต้นจะเห็นได้ว่าการศึกษาเวลาแตกต่างจากการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา (Motion Study) ซึ่งเกี่ยวกับการศึกษาวิธีการทำงานและการออกแบบวิธีการทำงาน ดังนั้นการศึกษาเวลาจึงเกี่ยวกับการวัดผลงาน ซึ่งผลที่ได้จะมีหน่วยเป็นนาทีหรือวินาทีที่คนงานหนึ่งๆสามารถทำงานนั้นๆได้ตามวิธีการที่กำหนดให้ เวลาที่ได้นี้คือเวลามาตรฐาน (Standard Time) โดยแสดงเป็นสมการความสัมพันธ์กับผลผลิตได้ดังนี้ [1,2]

$$\text{จำนวนชิ้นงานที่ได้} = \frac{\text{จำนวนเวลาที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการ}}{\text{เวลามาตรฐานต่อชิ้น}} \quad (1)$$

สมการข้างต้นนี้แสดงให้เห็นว่าเวลามาตรฐานของชิ้นงานควรรวมเอาเวลาเผื่อต่างๆ เช่น การล่าช้า การพักเหนื่อย เข้าเป็นส่วนหนึ่งของเวลาที่ใช้ในการผลิต ซึ่งเวลามาตรฐานจะช่วยให้สามารถคำนวณผลผลิตมาตรฐานของงาน เมื่อคนงานทำงานด้วยประสิทธิภาพ 100% [1]

ส่วนเวลามากที่สุดที่พนักงานสามารถใช้ในการผลิตชิ้นงาน เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างทันท่วงที เรียกว่า Takt Time ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก [1,2]

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{เวลาทำงานสุทธิในหนึ่งวัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ต้องการต่อวัน}} \quad (2)$$

จากผลรวมของเวลาที่ใช้ในการผลิต (Cycle Time) และ Takt Time สามารถคำนวณจำนวนคนงานที่ต้องการในสายการผลิตได้จาก [1,2]

$$\text{จำนวนคนงาน} = \frac{\text{ผลรวมของรอบเวลาการผลิต}}{\text{Takt Time}} \quad (3)$$

ประสิทธิภาพการทำงาน (Efficiency) และเวลาทำงานจริงของคนงานแต่ละคนสามารถคำนวณได้จาก [1,2]

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Cycle Time}}{\text{Takt Time}} \quad (4)$$

$$\text{เวลาทำงานจริง} = \text{Cycle Time} \times \text{จำนวนชิ้นงานที่ต้องการต่อวัน} \quad (5)$$

3. ผลการศึกษา

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเบรกมือ (แสดงในรูปที่ 1) ของบริษัท ไดซิน จำกัด ซึ่งตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี มาเป็นกรณีศึกษา

รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์เบรกมือของบริษัท ไดซิน จำกัด

จากการเก็บข้อมูลพบว่าเวลาในการทำงานปกติต่อวันโดยยังไม่รวมการทำงานล่วงเวลาเท่ากับ 435 นาที/วัน ส่วนการทำงานรวมกับการทำงานล่วงเวลาเท่ากับ 495 นาที/วัน โดยมีความต้องการสินค้าของลูกค้าเฉลี่ยต่อวันในปัจจุบันเท่ากับ 912ชิ้น/วัน จากนั้นทำการหา Takt Time เพื่อให้เป็นเวลามาตรฐานในผลิตและนำไปสู่การวางแผนการผลิตต่อไปเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทัน จากสมการที่ (2) สามารถคำนวณ Takt time ได้เท่ากับ 28.6 วินาที ดังนั้นในสายการผลิตเบรกมือนี้จะมีเวลามาตรฐานคือ 28.6 วินาที เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการได้ จากนั้นได้ทำการเก็บข้อมูลเวลาการทำงานของทั้ง 4 คนเพื่อนำมาหาเวลาในการทำงานของคนงานแต่ละคน โดยทำการจับเวลา 10 ครั้งในแต่ละขั้นตอน รายละเอียดเวลาในการทำงานของแต่ละขั้นตอนแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการทำงานและเวลาการทำงานของคนงานแต่ละคนก่อนการจัดลำดับงานใหม่

ขั้นตอน	รายละเอียด	วินาที
1	มือซ้ายหยิบ Sector ออกจากเครื่องทาจาระบี วางที่โต๊ะ มือขวาหยิบชิ้นงานออกจาก Box วางลงบน Jig กด Switch	2.19
2	หยิบชิ้นงาน Lever และ Sectorประกอบเข้าด้วยกัน	2.58
3	หยิบชิ้นงาน Pin A ประกอบเข้ากับชิ้นงาน	1.56
4	มือซ้ายหยิบชิ้นงานออก มือขวาหยิบชิ้นงาน Lever assy ใส่ Jig Rivet Pin A กด Switch	1.66
5	Mark สีเหลือง ที่ตำแหน่ง Pin B หยิบชิ้นงาน Pin B ประกอบเข้ากับชิ้นงาน Lever assy	5.01
6	มือซ้ายหยิบชิ้นงานออก มือขวาหยิบชิ้นงาน Lever assy ใส่ Jig Rivet Pin B กด Switch	2.80
รวม		**15.80**

(ก) คนงานที่ 1

ขั้นตอน	รายละเอียด	วินาที
1	มือขวาหยิบ Rod ทาจารบี มือซ้ายหยิบ Pawl มาประกอบเข้ากับชิ้นงาน	4.55
2	ใส่ Pin B pawl ที่ชิ้นงาน	1.80
3	Mark สีเหลืองที่ Pin B Pawl หยิบชิ้นงานค้างไลน์ออกวางลงบนโต๊ะ แล้วเอาชิ้นงานใหม่ใส่ Jig กด S/W	3.76
4	มือขวาหยิบ Equalizer ประกอบกับชิ้นงาน	3.51
5	มือขวาหยิบ Pin B Equalizer ประกอบกับชิ้นงาน	1.55
6	Mark สีเหลืองที่ Pin B Equalizerหยิบชิ้นงานค้างไลน์ออกวางบนโต๊ะแล้วเอาชิ้นงานใหม่ใส่ Jig กด S/W	5.12
รวม		**20.29**

(ข) คนงานที่ 2

ขั้นตอน	รายละเอียด	วินาที
1	หยิบงานบนโต๊ะใส่ใน Jig assy grip	1.58
2	หยิบ grip จากกล่องมาสวมที่ด้าม Lever กด Satrt	2.18
3	Check switch 5 ครั้ง ติดเทปสีเหลืองที่ด้าม Lever	5.98
4	หยิบงานออกจาก Jig ส่งให้กับกระบวนการถัดไป	1.36
5	หยิบ switch กับ screw ใส่ใน Jig assy switch & screw	2.63
6	หยิบงานจาก jig assy grip ใส่ที่ Jig assy	3.03
รวม		**16.76**

(ค) คนงานที่ 3

ขั้นตอน	รายละเอียด	วินาที
1	หยิบชิ้นงานขึ้นมา Mark สีชมพู	3.16
2	วางชิ้นงานที่ Jig final check กดปุ่ม lock jig	1.89
3	ดันด้าม Lever ขึ้น Check knob ขึ้น-ลง 3 ครั้ง	2.03
4	กดปุ่ม Check งานด้วยกล้อง Mark สีเขียวที่ตัวชิ้นงาน	5.26
5	หยิบชิ้นงานออกจาก Jig นำไปใส่ที่ Box	2.98
รวม		**15.32**

(ง) คนงานที่ 4

จากเวลาทำงานวันละ 8 ชั่วโมงและเป้าหมายการผลิตที่ 912 ชิ้นต่อวัน สามารถสรุปประสิทธิภาพการทำงาน เวลาทำงานจริง และเวลาสูญเปล่าในแต่ละวันของคนงานแต่ละคนได้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการทำงาน เวลาทำงานจริง และเวลาสูญเปล่าในแต่ละวันของคนงานแต่ละคนก่อนการจัดลำดับงานใหม่

คนที่	ประสิทธิภาพ (%)	เวลาทำงานจริง (ชั่วโมงต่อวัน)	เวลาสูญเปล่า (ชั่วโมงต่อวัน)
1	55.2	4.8	3.2
2	70.9	6.1	1.9
3	58.6	5.6	2.4
4	53.5	4.8	3.2
เฉลี่ย	59.5	5.3	2.7

จากตารางที่ 2 พบว่าคนงานทั้ง 4 คนใช้เวลาในการทำงานน้อยเมื่อเทียบกับ Takt Time จึงทำให้สายการผลิตมีเวลาสูญเปล่าสูง จากสมการ (3) สามารถคำนวณหาจำนวนคนงานที่เหมาะสมได้เท่ากับ 2.64 คน หรือเท่ากับคนงานจริง 3 คน จึงพิจารณาลดคนงานลง 1 คนพร้อมทั้งจัดลำดับงานใหม่ โดยทำการเฉลี่ยงานของคนงานคนที่ 4 ให้กับพนักงานคนที่ 1-3 ซึ่งลำดับงานใหม่ของคนงานแต่ละคนจะถูกจัดให้มีเวลาใกล้เคียงกับ Takt Time เดิมมากที่สุดเพื่อลดเวลาสูญเปล่า รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขั้นตอนการทำงานและเวลาการทำงานของคนงานแต่ละคนหลังการจัดลำดับงานใหม่

ขั้นตอน	รายละเอียด	วินาที
1	มือซ้ายหยิบ Sector ออกจากเครื่องทาจาระบี วางที่โต๊ะ มือขวาหยิบชิ้นงานออกจาก Box วางลงบน Jig กด Switch	1.99
2	หยิบชิ้นงาน Lever และ Sectorประกอบเข้าด้วยกัน	2.30
3	หยิบชิ้นงาน Pin A ประกอบเข้ากับชิ้นงาน	1.86
4	มือซ้ายหยิบชิ้นงานออก มือขวาหยิบชิ้นงาน Lever assy ใส่ Jig Rivet Pin A กด Switch	1.50
5	Mark สีเหลือง ที่ตำแหน่ง Pin B หยิบชิ้นงาน Pin B ประกอบเข้ากับชิ้นงาน Lever assy	4.21
6	มือซ้ายหยิบชิ้นงานออก มือขวาหยิบชิ้นงาน Lever assy ใส่ Jig Rivet Pin B กด Switch	3.28
7	มือขวาหยิบ Rod ทาจารบี มือซ้ายหยิบ Pawl มาประกอบเข้ากับชิ้นงาน	3.95
8	ใส่ Pin B pawl ที่ชิ้นงาน	2.59
9	Mark สีเหลืองที่ Pin B Pawl หยิบชิ้นงานค้างไลน์ออกวางลงบนโต๊ะ แล้วเอาชิ้นงานใหม่ใส่ Jig กด S/W	4.61
รวม		**26.29**

(ก) คนงานที่ 1

ขั้นตอน	รายละเอียด	วินาที
1	มือขวาหยิบ Equalizer ประกอบกับชิ้นงาน	3.42
2	มือขวาหยิบ Pin B Equalizer ประกอบกับ	2.24
3	Mark สีเหลืองที่ Pin B Equalizerหยิบชิ้นงานค้างไลน์ออกวางบนโต๊ะแล้วเอาชิ้นงานใหม่ใส่ Jig กด S/W	4.73
4	หยิบงานบนโต๊ะใส่ใน Jig assy grip	1.84
5	หยิบ grip จากกล่อง เอามาสวมที่ด้าม Lever กด Start	2.41
6	Check switch 5 ครั้ง ติดเทปสีเหลืองที่ด้าม	5.60
7	หยิบงานออกจาก Jig ส่งให้กับกระบวนการ	1.68
รวม		**21.92**

(ข) คนงานที่ 2

ขั้นตอน	รายละเอียด	วินาที
1	หยิบ switch กับ screw ใส่ใน Jig assy switch & screw	2.38
2	หยิบ grip จากกล่อง เอามาสวมที่ด้าม Lever กด Start	2.85
3	Check switch 5 ครั้ง ติดเทปสีเหลืองที่ด้าม	3.55
4	หยิบงานออกจาก Jig ส่งให้กับกระบวนการ	1.65
5	หยิบ switch กับ screw ใส่ใน Jig assy switch	1.65
6	หยิบงานจาก jig assy grip ใส่ที่ Jig assy	5.23
7	หยิบชิ้นงานออกจาก Jig นำไปใส่ที่ Box	3.14
รวม		**20.45**

(ค) คนงานที่ 3

หลังการจัดลำดับการทำงานใหม่ สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน เวลาทำงานจริง และเวลาสูญเปล่าในแต่ละวันของคนงานแต่ละคนได้ ดังแสดงในตารางที่ 4

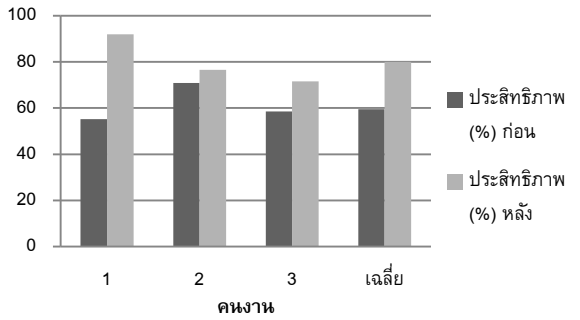
ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการทำงาน เวลาทำงานจริง และเวลาสูญเปล่าในแต่ละวันของคนงานแต่ละคนก่อนการจัดลำดับงานใหม่

คนที่	ประสิทธิภาพ (%)	เวลาทำงานจริง (ชั่วโมงต่อวัน)	เวลาสูญเปล่า (ชั่วโมงต่อวัน)
1	91.9	7.6	0.4
2	76.6	6.3	1.7
3	71.5	5.7	2.3
เฉลี่ย	80.0	6.5	1.5

4. อภิปรายผล

หลังจากลดจำนวนคนงานลง 1 คนและจัดลำดับการทำงานใหม่พบว่าสายการผลิตนี้ยังสามารถผลิตได้ตามเป้าหมาย นอกจากนี้คนงานยังมีประสิทธิภาพในการ

ทำงานเพิ่มมากขึ้นประมาณ 20.5% โดยเฉลี่ย และมีเวลาสูญเปล่าน้อยลง โดยคนงานคนที่ 1 มีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้นสูงที่สุดคือ 20.4% ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของคนงานก่อนและหลังการจัดลำดับงานใหม่

จากการวิเคราะห์ต้นทุนทางแรงงานพบว่าการลดแรงงานคนลง 1 คนสามารถลดค่าแรงคนงานลงได้ 9,000 บาทต่อเดือนโดยประมาณจากค่าแรงขั้นต่ำ แต่จากการวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลังในปี พ.ศ. 2557 พบว่าในบางเดือนอาจมีคำสั่งซื้อที่สูงกว่าปกติ ทำให้เวลาในการผลิตหลังจากการจัดลำดับงานใหม่ไม่สามารถส่งมอบสินค้าตามคำสั่งซื้อได้ ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา (O.T.) ให้เหมาะสมกับยอดคำสั่งซื้อเฉพาะในเดือนนั้นๆ ซึ่งชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาและค่าล่วงเวลาจะแปรผันตามยอดการสั่งซื้อ จึงไม่เป็นค่าใช้จ่ายคงที่ที่มีทุกเดือน ดังนั้นต้นทุนค่าแรงจึงน้อยกว่าค่าจ้างแรงงานเดิมก่อนการปรับปรุงรูปแบบขั้นตอนการผลิต

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ด้วยวิธีการจัดลำดับงาน โดยใช้บริษัท ไดซิน จำกัด เป็นกรณีศึกษา จากการศึกษาในสายการผลิตชิ้นส่วนเบรกมือพบว่าคนงาน 4 คนในสายการผลิตนี้มีประสิทธิภาพในการผลิตต่ำ เฉลี่ยอยู่ที่ 59.54% และมีเวลาสูญเปล่าต่อวันสูง จึงมีการจัดลำดับงานใหม่ โดยลดจำนวนคนงานลง 1 คน และมีการเฉลี่ยงานของคนงานคนที่ 4 ให้กับคนงานที่เหลือทั้ง 3 คน หลังการจัดลำดับงานใหม่พบว่าประสิทธิภาพของคนงานสูงขึ้น 20.5% โดยเฉลี่ย และมีเวลาสูญเปล่าลดลง นอกจากนี้ยังสามารถลดค่าจ้างแรงงานลงได้เดือนละ 9,000 บาทโดยประมาณจากค่าแรงขั้นต่ำ แต่หากมีคำสั่งซื้อที่สูงที่พบได้ในบางเดือน สามารถแก้ปัญหาได้โดยการเพิ่มจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาเฉพาะในเดือนนั้นๆ โดยกำหนดชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาให้เหมาะสมกับจำนวนคำสั่งซื้อ ดังนั้นรูปแบบขั้นตอนการทำงานใหม่จึงมีต้นทุนแรงงานเฉพาะค่าแรงคนงานรายเดือน 3 คน และค่าล่วงเวลาเฉพาะในบางเดือน ซึ่งน้อยกว่ารูปแบบกระบวนการเดิมที่มีค่าจ้างแรงงานของคนงาน 4 คนที่คงที่ทุกเดือน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท ไดซิน จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สุวรรณภูมิ วิเศษภักดี และ คณะ, การศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิต, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545

[2] สุวัฒน์ จานแก้ว และ รุ่งเรือง ดียิ่ง, การศึกษาขั้นตอนการผลิต วิธีการผลิต การทำงานของคนงานและเครื่องจักร, 2546

[3] ปริญญา บุรัสการ และ คณะ, การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพและผลผลิตโรงงานอุตสาหกรรมเสื้อผ้าสำเร็จรูป, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2550

[4] จักรกริช ชุมชัย, การบันทึกขั้นตอนวิธีการผลิตด้วยแผนภูมิการผลิตแบบต่อเนื่อง, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546

[5] โสภณ ประทุมมา, สัญชัย โตสุนทร, การศึกษาการเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรมทอกระสอบปอ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547

อิทธิพลของความหนืดของของเหลวความดันสูงในการลากขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการไฮดรอไดนามิก

The Effect of High Viscosity Liquid Pressure on Sheet Metal Deep Drawing by Hydrodynamic Process

กุณฑล ทองศรี[1] ศิริชัย ต่อสกุล[2*]
[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
E-mail: sirichai.to@en.rmutt.ac.th[*]

Kunthon Thongsri[1] Sirichai Torsakul[2*]
[1,2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, E-mail: sirichai.to@en.rmutt.ac.th[*]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความหนืดของของเหลวความดันสูงในการลากขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการไฮดรอไดนามิกทำการลากขึ้นรูปโลหะแผ่นเป็นรูปถ้วยทรงกระบอกไม่มีปีก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร ในอัตราส่วนการลากขึ้นรูป เท่ากับ 1.8 โดยมีตัวแปรคือ น้ำมันไฮดรอลิกเกรด 68, 46 และ 32 ใช้แรงดันน้ำมัน 3 ค่า คือ 5 MPa, 10 MPa, 15 MPa และมีแรงกดเหยียบ 3 ค่าคือ 7.68 kgf/mm 16 kgf/mm และ 29.2 kgf/mm ผลการทดลองพบว่าไฮดรอลิกเกรด 68 เป็นของเหลวความดันสูงที่เหมาะสมในการลากขึ้นรูปที่สุดเมื่อเทียบกับของเหลวทั้ง 3 เกรด ซึ่งความหนาหลังการลากขึ้นรูปที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ± 0.02 มม. และได้ผิวของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปดีกว่าน้ำมันไฮดรอลิกเกรด 32, 46 และความดันที่เหมาะสมอยู่ที่ 5 MPa เนื่องจากใช้แรงในการลากขึ้นรูปน้อยที่สุดที่สปริงชนิดแรงกดเหยียบปานกลาง

คำหลัก กระบวนการไฮโดรไดนามิก, เหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็น, แรงกดเหยียบ, การลากขึ้นรูป

Abstract

This research is aimed to study the influence of the viscosity in high pressure liquid on hydrodynamic deep drawing. Drawing cylinder without flange, 45 mm. diameter, drawing ratio equivalent to 1.8, variance: hydraulic lubricant grade 68,46 and 32, the lubricant pressure applied into 3 ranges 5 MPa, 10 MPa, 15 MPa, the blank holder force is pressed at 7.68 kgf/mm 16 kgf/mm and 29.2 kgf/mm. The study shows that hydrolic oil 68 is the best high pressure liquid for deep drawing comparing to liquids of all 3 grades. The thickness variance after drawing is between ± 0.02 mm. The finished surface after the drawing is better than hydraulic lubricant grade 32, 46. Using medium-bank holder force spring for drawing, proper pressure is at 5 MPa.

Keywords: Hydrodynamic process, Cold-Reduced Carbon Steel Sheets, Blank holder force, Drawing force

1. บทนำ

ในการอุสาหกรรมการขึ้นรุปโลหะจำเป็นต้องผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนและใช้พลังงานการขึ้นรูปต่ำ ดังนั้นจึงมีการนำวัสดุที่ความสามารถในการยืดตัวสูง มาใช้ในการขึ้นรูปแต่อย่างไรก็ตามวัสดุที่มีความยืดตัวสูงนั้นก็มีความสามารถในการขึ้นรูปหรือคงรูปได้ยากหรือเกิดการฉีกขาดได้ง่ายด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงมีการนำเอากระบวนการการเคลื่อนที่ของของเหลว (hydrodynamic deep drawing, HDD) เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นสำหรับการขึ้นรูปโลหะที่มีโครงสร้างเป็นโลหะเบา และมีความยืดหยุ่นสำหรับการขึ้นรูปด้วยกระบวนการต่าง ๆต่ำ [1] ในการลากขึ้นรูปลึกด้วยกระบวนการการเคลื่อนที่ของของเหลว จะใช้ของเหลวที่มีแรงดันสูง [2] เข้ามาช่วยในการขึ้นรูปโลหะแผ่นสำหรับการลากขึ้นรูปลึก โดยกระบวนการดังกล่าวนี้ สามารถเพิ่มอัตราส่วนขีดจำกันการลากขึ้นรูป (limiting drawing ratio, LDR) และเป็นการปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานที่ได้หลังการขึ้นรูป ในส่วนของวัสดุที่ต้องการศึกษาคือโลหะแผ่นที่มีความสามารถในการขึ้นลากรูปต่ำ (Low formability) เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็น SPCC ตามมาตรฐาน JIS มาทำการทดสอบ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การลากขึ้นรูปลึก (Deep drawing)

ในกระบวนการลากขึ้นรูปลึก มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ดาย (die), พั้นช์ (punch) และ ตัวกดแผ่นชิ้นงาน (blank holder ring)

2.1.1 แรงในการลากขึ้นรูป

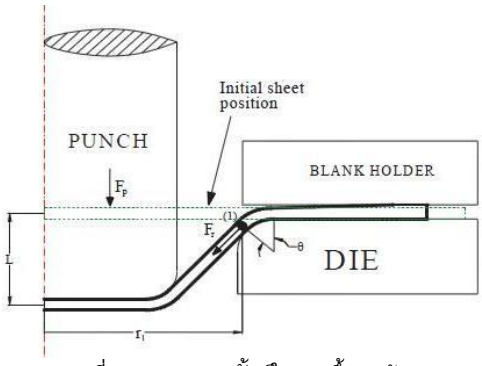
แรงกระทำที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการ การลากขึ้นรูปลึก ซึ่งเกิดจากแม่พิมพ์ตัวกดหรือพั้นช์กระทำต่อชิ้นงาน ในรูปที่ 1 แรงกดพั้นช์ในการขึ้นรูปถ้วยทรงกระบอกของกระบวนการลากขึ้นรูปลึก และการคำนวณแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปลึก สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 1

$$F_{dr} = d \times \pi \times s \times R_m \times n \qquad (1)$$

โดย n คือ ค่าการปรับค่า (correction value) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของการขึ้นรูปจริง ตารางที่ 1 ค่าการปรับค่า $n = f(\beta_{actual})$ [3].

ตารางที่ 1 ค่าการปรับค่า $n = f(\beta_{actual})$

N	0.2	0.3	0.5	0.7
$\beta_{actual} = \frac{D}{d}$	1.1	1.2	1.4	1.6

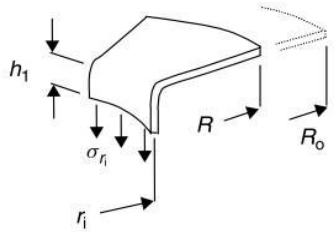


รูปที่ 1 แรงกดพั้นช์ในการขึ้นรูปถ้วย

2.1.2 ความเครียดแข็งตัว

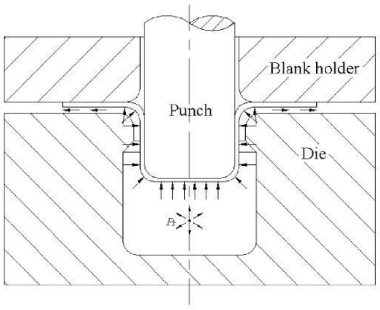
ความเค้นที่เกิดขึ้น บนส่วนของพื้นที่หน้าตัดของวัสดุแผ่น จะเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการลากขึ้นรูป ในขณะที่รัศมีวงนอกของวัสดุแผ่นจะลดลง เนื่องจากโลหะแผ่นจะถูกกดลงไปยังด้านในของดาย รัศมีวงนอก R จะลดลงอย่างรวดเร็วดังในรูปที่ 2 ค่าความเครียดแข็งตัว ซึ่งเกิดจากความเค้นไหลจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งวัสดุแผ่นไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อีก ถ้าสมมุติให้ค่าความเค้น ที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของวัสดุแผ่น เป็นความเค้นเฉลี่ย $(\sigma_f)_{av}$ และไม่คำนึงถึงความหนาที่ไม่เสมอกันของวัสดุแผ่น จะสามารถเขียนได้เป็นสมการที่ 2 [3]

$$\sigma_{ri} = (\sigma_f)_{av.} In \frac{R}{r_i} \qquad (2)$$



รูปที่ 2 ในระหว่างกระบวนการลากขึ้นรูปในสภาวะที่ปราศจากแรงเสียดทานความเค้นจะมีขนาดที่เท่ากันทุกจุด

2.2 การขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการลากขึ้นรูปแบบใช้แรงดันของเหลว



รูปที่ 3 Hydrodynamic deep drawing (HDD) [2]

การขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการลากขึ้นรูปแบบใช้แรงดันของเหลว (Hydrodynamic Deep Drawing) เป็นลักษณะของการขึ้นรูปโลหะแผ่นคล้ายกับการขึ้นรูปโลหะแผ่นทั่วๆไป โดยมีชุดแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower Die) และชุดแม่พิมพ์ตัวบน (Upper Die) ทำการกดโลหะแผ่นให้เป็นชิ้นงาน ให้มีรูปร่างตามที่กำหนด เพียงแต่ภายในแม่พิมพ์นั้นจะบรรจุไปด้วยน้ำมันหรือของเหลวอื่นๆ ซึ่งเป็นน้ำมันหรือของเหลวความดันสูง (High pressure) [2] [6]

รูปที่ 4 รูปทรงของชิ้นงานหลังทำการขึ้นรูป

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ชิ้นงานในการทดสอบ

ใช้แผ่นเหล็กคาร์บอนรีดเย็นเกรด SPCC ตามมาตรฐาน JIS G 3141 : 2005 [4] ความหนา 0.5 มิลลิเมตร กัดเป็นแผ่นวงกลมด้วยเครื่องกัด CNC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร ตารางที่ 2 สมบัติความเค้นสูงสุดของเหล็ก SPCC ความหนา 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งได้มาจากการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน JIS Z 2201 : 1998 [5] และตารางที่ 3 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็ก SPCC

ตารางที่ 2 สมบัติความเค้นสูงสุดของเหล็ก SPCC

สมบัติเค้นสูงสุด	R_0	R_{45}	R_{90}
R_m (N/mm^2)	359.33	358.67	357.00

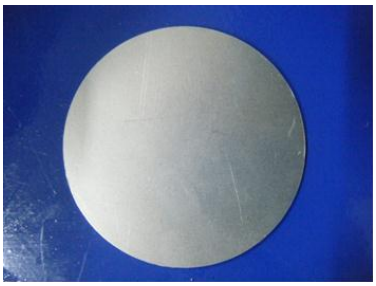
R_m = 286.75 N/mm^2

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็ก SPCC

สัญญาลักษณ์	การใช้งาน	ส่วนประกอบทางเคมี (%)			
		C	Mn	P	S
SPCC	ทั่วไป	0.15 Mix.	0.6 Mix.	0.1 Mix	0.05 Mix.

3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.2.1 วัสดุที่นำมาใช้ในการทดลองคือเหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็น ความหนาชิ้นงาน 0.5 มิลลิเมตร ชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร



รูปที่ 5 แสดงรูปชิ้นงานทดสอบ (JIS:SPCC) ความหนา 0.5 มิลลิเมตร

3.3 นำแม่พิมพ์ที่ประกอบเสร็จแล้ว ไปติดตั้งบนเครื่องเพรสไฮดรอลิก ยึดแม่พิมพ์ตัวบนและตัวล่างให้แน่น แล้วยกชุดบนขึ้น

รูปที่ 6 แสดงแม่พิมพ์ติดตั้งบนเครื่องเพรส

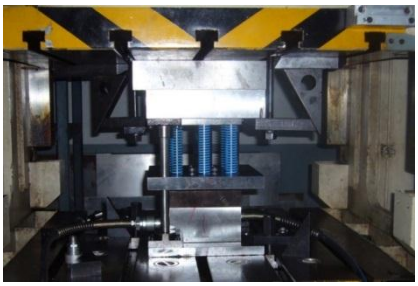
3.4 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน

การขึ้นรูปชิ้นงานรูปถ้วยทรงกระบอกด้วยแรงดันของเหลว (Hydrodynamic Deep Drawing) มีขั้นตอนดังนี้

1) นำเหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็น มาทำการทดลองโดยใส่ลงไปในแม่พิมพ์ตัวล่าง (Lower Die)

2) ทำการปรับแรงดันน้ำมันที่ไหลเข้าออกแม่พิมพ์ให้มีแรงดัน 3 ระดับ คือ 5 MPa, 10 MPa และ 15 MPa

3) นำแม่พิมพ์ตัวบน (Upper Die) ลงมาจนถึงระยะที่กำหนด บันทึกแรงกด



รูปที่ 7 แม่พิมพ์ขณะอยู่ในระยะที่กำหนด

4) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1-3 โดยเปลี่ยนชนิดของเหลวแรงดันสูง PTT 68 , PTT 46 และ PTT 32 แรงกดของสปริง 7.68 kgf/mm (สปริงสีเหลือง:แรงกดต่ำ) 16.00 kgf/mm (สปริงสีฟ้า:แรงกดปานกลาง) และ 29.2 kgf/mm (สปริงสีแดง:แรงกดสูง)

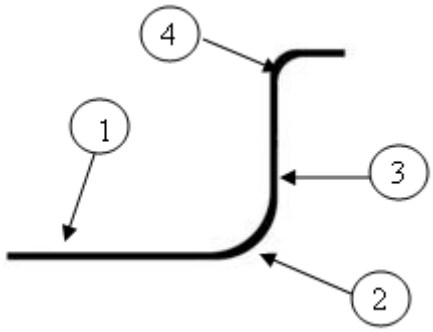
3.3 การบันทึกข้อมูล

อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ (Mini data logger) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลพื้นฐานของระบบ (data logger) ประกอบไปด้วยscanner หรือ multiplexer digital-voltmeter และตัวบันทึกข้อมูล ซึ่งรับ Input ที่เป็นระบบ analog จาก sensor แล้วทำการเปลี่ยนข้อมูลเป็นระบบ digital และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำเพื่อการนำไปใช้ต่อไป และทำการบันทึกผล

รูปที่ 8 อุปกรณ์วัดแรงดันและอุปกรณ์บันทึกแรงที่ได้

3.4 การวัดความหนาของชิ้นงานหลังการขึ้นรูป

การวัดความหนาด้วย Point Micrometer 4 จุด โดยใช้วัสดุ (JIS:SPCC) มาทำการทดลองลากขึ้นรูปถ้วยลึก วัสดุแผ่นก่อนการขึ้นรูปถ้วยมีขนาดความหนา 0.5 มิลลิเมตร ที่ PTT Hydraulic Oil 68 , 46 และ 32 ที่แรงกดสปริง 16.00 kgf/mm (สปริงสีฟ้า:แรงกดสปริงปานกลาง) นำมาตรวจความหนาหลังการลากขึ้นรูปดังจุดตรวจ ดังแสดงในรูปที่ 9

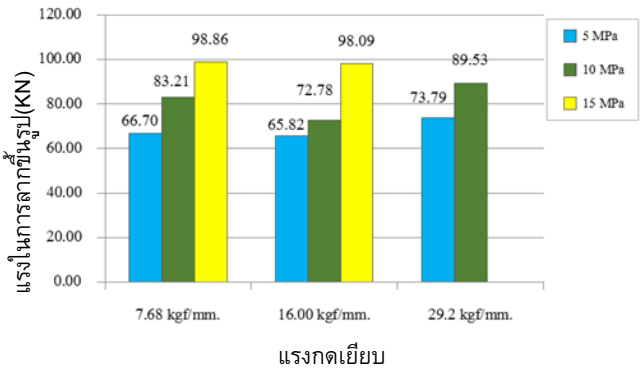


รูปที่ 9 แสดงจุดตรวจวัดความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการขึ้นรูป

4. ผลการทดลอง

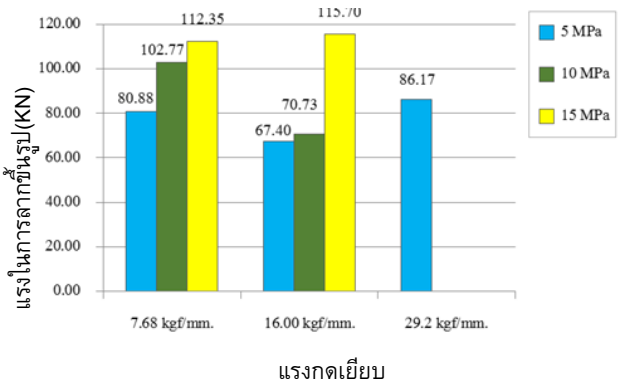
จากผลการทดลองในแต่ละตัวแปร นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์แรงลากขึ้นรูปและแรงกดชิ้นงานโดยใช้แรงกดของสปริง 7.68 kgf/mm (สปริงสีเหลือง:แรงกดต่ำ) 16.00 kgf/mm (สปริงสีฟ้า:แรงกดปานกลาง) และ 29.2 kgf/mm (สปริงสีแดง:แรงกดสูง) โดยใช้ PTT Hydraulic Oil ต่างกันและใช้แรงดันปั๊มไฮดรอลิกทั้ง 3 ระดับที่ PTT Hydraulic Oil แต่ละชนิด คือ PTT 68 , PTT 46 , และ PTT 32 ดังต่อไปนี้ 65 Kgf/mm. ใช้แรงกดเหยียบสูงสุด 11.46 KN

4.1 วิเคราะห์แรงลากขึ้นรูป



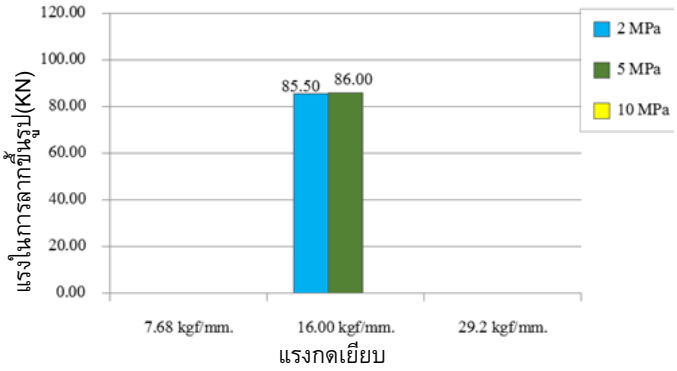
รูปที่ 10 แรงในการลากขึ้นรูปที่ใช้ PTT Hydraulic Oil 68

จากรูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ของแรงลากขึ้นรูป (kN.) กับแรงกดสปริงทั้ง 3 ระดับ ที่ใช้ PTT Hydraulic Oil 68 แรงดันปั๊มไฮดรอลิกที่ใช้ (5 MPa 10 MPa 15 MPa) จะเห็นได้ว่าที่แรงกดสปริง 7.68 kgf/mm ที่ระดับแรงดันปั๊มไฮดรอลิก 5 MPa จะใช้แรงสูงสุดในการขึ้นรูปอยู่ที่ 66.70 kN. ที่ระดับแรงดันปั๊มไฮดรอลิก 10 MPa จะใช้แรงสูงสุดในการขึ้นรูปอยู่ที่ 83.21 kN. และ ที่ระดับแรงดันปั๊มไฮดรอลิก 15 MPa จะใช้แรงในการขึ้นรูปอยู่ที่ 98.86 kN. จะเห็นได้ว่าแรงในการลากขึ้นรูปที่แต่ละระดับแรงกดสปริงจะแปรผันตามระดับแรงดันปั๊มไฮดรอลิก ถ้าแรงดันปั๊ม ไฮดรอลิกมากแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปก็จะสูงตามไปด้วย จากกราฟนี้จะเห็นได้ว่าที่ระดับแรงกดสปริง 2 ระดับเท่านั้นที่สามารถทำการขึ้นรูปได้ทุกแรงดัน



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบแรงในการลากขึ้นรูปที่ใช้ PTT Hydraulic Oil 46

จากรูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ของแรงลากขึ้นรูป (kN.) กับแรงกดสปริงทั้ง 3 ระดับ ที่ใช้ PTT Hydraulic Oil 46 แรงดันปั๊มไฮดรอลิกที่ใช้ (5 MPa 10 MPa 15 MPa) จะเห็นได้ว่าที่แรงกดสปริง 7.68 kgf/mm ที่ระดับแรงดันปั๊มไฮดรอลิก 5 MPa จะใช้แรงสูงสุดในการขึ้นรูปอยู่ที่ 80.88 kN. ที่ระดับแรงดันปั๊มไฮดรอลิก 10 MPa จะใช้แรงสูงสุดในการขึ้นรูปอยู่ที่ 102.77 kN. และ ที่ระดับแรงดันปั๊มไฮดรอลิก 15 MPa จะใช้แรงในการขึ้นรูปอยู่ที่ 112.35 kN. จะเห็นได้ว่าแรงในการลากขึ้นรูปที่แต่ละระดับแรงกดสปริงจะแปรผันตามระดับแรงดันปั๊มไฮดรอลิก ถ้าแรงดันปั๊ม ไฮดรอลิกมากแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปก็จะสูงตามไปด้วย จากกราฟนี้จะเห็นได้ว่าที่ระดับแรงกดสปริง 2 ระดับเท่านั้นที่สามารถทำการขึ้นรูปได้ทุกแรงดัน



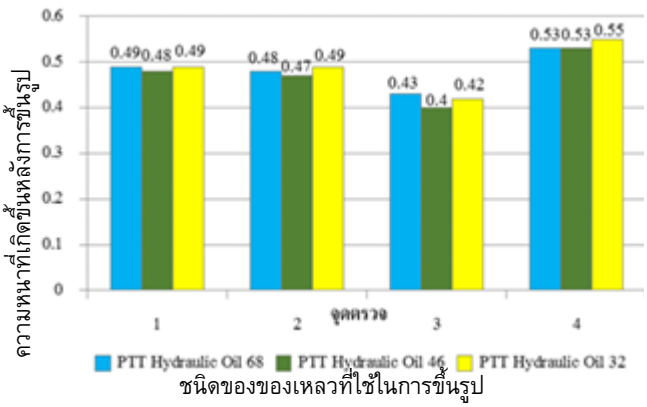
รูปที่ 12 การเปรียบเทียบแรงในการลากขึ้นรูปที่ใช้สารหล่อลื่น PTT 32

จากรูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ของแรงลากขึ้นรูป (kN.) กับแรงกดสปริงทั้ง 3 ระดับ ที่ใช้สารหล่อลื่น PTT 32 แรงดันปั๊มไฮดรอลิกที่ใช้ (2 MPa 5 MPa) จะเห็นได้ว่าที่แรงกดสปริง 16.00 kgf/mm ที่ระดับแรงดันปั๊มไฮดรอลิก 2 MPa จะใช้แรงสูงสุดในการขึ้นรูปอยู่ที่ 85.50 kN. ที่ระดับแรงดันปั๊มไฮดรอลิก 5 MPa จะใช้แรงสูงสุดในการขึ้นรูปอยู่ที่ 86.00 kN. จากกราฟจะเห็นได้ว่าการทดสอบที่ใช้ PTT 32 นั้น แรงกดสปริงที่ 7.68 kgf/mm และ 29.2 kgf/mm ไม่สามารถทำการขึ้นรูปได้ เนื่องจากชิ้นส่วนของแม่พิมพ์เสียหายจากแรงกดของสปริงไม่เพียงพอที่จะต้านแรงดันของปั๊มไฮดรอลิกได้

4.3 วิเคราะห์ความหนาหลังการขึ้นรูป

จากรูปที่ 13 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบความหนาที่เปลี่ยนแปลงหลังการขึ้นรูปในจุดที่ตรวจสอบโดยใช้

แรงดันปั๊มไฮดรอลิก 5 MPa ซึ่งเป็นแรงดันที่ก่อให้เกิดแรงในการลากขึ้นรูปต่ำที่สุด โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าความหนาหลังการลากขึ้นรูปจะมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจากความหนาเดิมก่อนทำการลากขึ้นรูปอยู่ที่ 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนามากที่สุดคือบริเวณจุด 3 ซึ่งเป็นบริเวณที่เป็นส่วนโค้ง ทำให้ชิ้นงานมีความหนาลดลงจากเดิม ลึกซึ่งความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปของเหล็กกล้าคาร์บอนรีดเย็น SPCC จุดที่มีความหนาเปลี่ยนแปลงไปมากที่สุดคือจุดที่ 3 และยังแสดงให้เห็นว่า การขึ้นรูปด้วย ของเหลว PTT Hydrolic Oil 68 นั้น ทำให้ความหนาของชิ้นงานหลังการขึ้นรูป มีค่าที่เปลี่ยนไป น้อยที่สุด คือ ± 0.02 มม.



รูปที่ 13 แสดงความหนาหลังการขึ้นรูปที่แรงดัน 5 MPa

5. สรุป

จากผลการทดลองศึกษาอิทธิพลของของเหลวความดันสูงในการลากขึ้นรูปลึกโลหะแผ่นด้วยกระบวนการไฮดรอไดนามิก ควรเลือกใช้ของเหลว PTT Hydraulic Oil 68 ในการลากขึ้นรูป เพราะใช้แรงในการขึ้นรูปต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ PTT Hydraulic Oil อีกทั้งสองชนิด ซึ่ง PTT Hydraulic Oil 32 ผลการทดลองพบว่า PTT Hydrolic Oil 68 เป็นของเหลวความดันสูงที่เหมาะสมในการลากขึ้นรูปที่สุดเมื่อเทียบกับของเหลวทั้ง 3 เกรด เนื่องจากใช้แรงในการลากขึ้นรูปน้อยที่สุดที่สปริงชนิดแรงกดเหยียบปานกลาง โดยความดันที่เหมาะสมอยู่ที่ 5 MPa ซึ่งความหนาหลังการลากขึ้นรูปที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ± 0.02 มม. และได้ผิวของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปดีกว่าน้ำมันไฮดรอลิกเกรด 32, 46

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มทร.ธัญบุรี งบประมาณประจำปี 2558 และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] Lang, L.H., “Investigation into the forming of a complex cup locally constrained by a round die based on an innovative hydromechanical deep drawing method,” Journal of Materials Processing Technology, Vol.167, 2005, p 191

[2] Ajay, D. and Yadav, A., “Process analysis and design in stamping and sheet hydroforming”,Ph.D. Thesis, Philosophy Engineer The Ohio State University, 2008, pp193-196

[3] Marciniak, Z.D., J.L. and Hu, S.J., Mechanics of sheet metal forming, House Jordan Hill Oxford, Butterworth-Heinemann, Second edition, 2002, pp108-128

[4] JIS G 3141 : 2005 Standard Cold-reduced carbon steel sheets and strips

[5] JIS Z 2201 : 1998 Test pieces for tensile test for metallic materials

[6] Lang, L.H., “Hydroforming highlights: sheet hydroforming and tube hydoforming,” Journal of Materials Processing Technology, Vol.151, 2004, pp 165-166

อิทธิพลของกรรมวิธีการชุบแข็งที่มีต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด

Influence of the Process of Hardening on the Wear of the Cutting Mold.

มาโนช ริทินโย จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร*
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 E-mail: jittiwat.ni@rmuti.ac.th*

Manote Rithinyo, Jittiwat Nithikarnjanatharn*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakornratchasima, 30000,
E-mail: jittiwat.ni@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีการชุบแข็งที่มีต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด โดยศึกษาการสึกหรอของพันธ์ซึ่งทำจาก เหล็ก S50C ที่ผ่านการชุบแข็งด้วยกรรมวิธี Spray และ กรรมวิธีภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุมในเตาชุบ วัสดุชิ้นงานคือเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1012 ความหนา 3 มิลลิเมตร แม่พิมพ์ตัดรูปร่างสี่เหลี่ยมขนาด 10x10 มิลลิเมตร ใช้ค่าช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์คงที่คือ 7% พันธ์ แต่ละชนิดปั๊มตัดชิ้นงานจำนวน 10,000 ชิ้นงาน และวัดผลการศึกษาโดยการวัดระยะการสึกหรอ

ผลการอบชุบแม่พิมพ์ตัดพบว่าด้วยกรรมวิธีการชุบแข็งด้วยกรรมวิธี Spray พบว่าการชุบแข็งเหล็ก S50C ด้วยละอองด้วยน้ำมันที่อุณหภูมิ 750 องศาเซนเซียส แรงดัน 4 บาร์ ให้ความแข็งผิวดีที่สุด เท่ากับ 58.60 HRC โครงสร้างด้านข้างของชิ้นงานที่พ่นด้วยน้ำมันในระยะ 1 มิลลิเมตรจากขอบ มีค่าเปอร์เซ็นต์ Carbide ที่แทรกตัวอยู่ในโครงสร้าง Martensite คิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ และผลการชุบแข็งด้วยกรรมวิธีการอบชุบภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุมในเตาชุบ พบว่าการปกคลุมด้วยก๊าซอาร์กอน ในเตาด้วยความดัน 1.0 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิ 600 ^{O}C ให้ค่าความแข็งเท่ากับ 57.30 HRC ซึ่งมีโครงสร้างมาร์เทนไซด์เป็นโครงสร้างพื้น มีเบนไนท์รูปเข็มแทรกในโครงสร้าง และมีปริมาณคาร์ไบด์ 11.76% การกระจายตัวได้ดีในโครงสร้างพื้น

ผลการทดลองปั๊มตัดชิ้นงานด้วยพันช์ซึ่งอบชุบด้วยกรรมวิธี Spray พบว่าการปั๊มชิ้นงานตั้งแต่ชิ้นที่ 700 เป็นต้นไปทำให้คมตัดแม่พิมพ์เกิดการสึกหรอมากขึ้นเรื่อยๆ สำหรับพันช์ซึ่งอบชุบด้วยกรรมวิธีภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุมในเตาชุบ พบว่าการปั๊มชิ้นงานตั้งแต่ชิ้นที่ 5,000 เป็นต้นไปทำให้คมตัดแม่พิมพ์เกิดการสึกหรออย่างรวดเร็ว เมื่อพิจารณาผลการสึกหรอ พบว่าพันช์ที่อบชุบกรรมวิธีการอบชุบภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุมในเตาชุบ มีค่าการสึกหรอมากที่สุดเท่ากับ 125.90 μm. และพันช์ที่อบชุบด้วยกรรมวิธี Spray มีค่าการสึกหรอเท่ากับ 79.70 μm.

คำหลัก : ชุบแข็ง, พันซ์, การสึกหรอ

Abstract

This research is to study the influence of the process of hardening on the wear of the cutting mold by studying the wear of the Punch, which is made of S50C steel that has been hardened the process Spray and gases which covered in the burner plate. Material is carbon steel AISI 1012 with 3mm thick die cut shapes square 10x10 mm using the gap between die constant is 7%. Punch each pump cut 10,000 specimens and examined by the wear measuring.

Effect of heat treatment process, die cut the hardening process, the hardened steel S50C Spray with oil droplets at temperatures of 750 ° C and pressure of 4 bar for the best surface hardness equal to 58.60 HRC. The side of the specimen, spray with oil in the range of 1 mm from the edge. The percentage Carbide Inserted Martensite structures for 40 percent, and the hardening heat treatment process gases covered under the burner plate which covered with argon gas in a pressure 1.0 kg / cm2 at 600 OC to a hardness of 57.30 HRC. The Martensite structured is base structure and the amount of 11.76% carbide dispersed well.

Results pump cutting with a punch, which found that the heat treatment process, Spray Pump specimens from 700 onwards piece molded edge wear. Punch for heat treatment process, which is covered under the gas burner plate. Found that the pump parts from 5000 onwards made piece molded edge wear quickly. Considering the wear, the punch of heat treatment, Heat treating gases covered under the burner plate. The wear is equal to 125.90 μm. and Punch Spray the heat treatment process, the wear and tear of 79.70 μm.

Keywords: Hardening, Pump cutting, The wear

1. บทนำ

การตัดเฉือนชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ตัดต้องให้ความเค้นต่อชิ้นงานที่มีค่ามากเพียงพอที่ทำให้ชิ้นงานขาดออกจากกัน ซึ่งทำให้เกิดความเค้นกระทำต่อพันช์และดายด้วยเช่นกัน ส่งผลให้พันช์และดายเกิดการ สึกหรอ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของชิ้นงาน ที่ผ่านมามีการศึกษา [1-4] เกี่ยวกับผลของช่องว่างระหว่างคมตัดแม่พิมพ์ที่มีต่อคุณภาพของชิ้นงาน [5] ศึกษาการสึกหรอของคมตัดแม่พิมพ์ที่ทำจากเหล็กเครื่องมือที่มีปริมาณคาร์บอนและโครเมียมสูง เกรด JIS SKD11 [6] ศึกษาการสึกหรอของคมตัดแม่พิมพ์ที่ทำจากวัสดุที่มีปริมาณคาร์บอนแตกต่างกัน ได้แก่ เหล็ก JIS SKD11, SKS3, SKH51 และ S50C อบชุบด้วยวิธี Pack Carburizing [7] ศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดที่ทำจากเหล็ก JIS SKD11 และ S50C อบชุบด้วยกรรมวิธีอบชุบด้วยกรรมวิธี Hardening (Air Cooling) และกรรมวิธี Pack Carburizing [8] ศึกษาการสึกหรอของผิวเคลือบชุดคมตัดสำหรับงานแม่พิมพ์ตัดขาด [9] ศึกษาลักษณะการ สึกหรอของคมตัดแม่พิมพ์ที่ทำด้วยเหล็ก JIS SKD11 และเหล็ก SKH51 และ [10] ศึกษาสาเหตุการเสียรูปของพันช์ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปด้วยทดลองชุบแข็งเหล็ก JIS SKD11 และเหล็ก DC53 โดยใช้อุณหภูมิอบให้เป็นออสเตไนต์และบรรยากาศการอบต่างๆ กัน จากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่ปรากฏมีผู้วิจัยศึกษาการ สึกหรอของแม่พิมพ์ตัดที่ผ่านกรรมวิธีการอบชุบที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านความดันของการพ่นก๊าซอาร์กอน น้ำมันและอุณหภูมิอบชุบ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการสึกหรอของพันช์ที่ผ่านการชุบแข็งด้วยกรรมวิธีสเปร์และ กรรมวิธีภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุมในเตาชุบ

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การวิจัยนี้ใช้เหล็ก S50C เป็นชิ้นงานทดสอบสำหรับการอบชุบด้วยกรรมวิธีสเปร์ วัดแรงดันการพ่นก๊าซอาร์กอนด้วยมาตรวัดแรงดัน และ ใช้เหล็ก JIS SKD11 เป็นชิ้นงานทดสอบสำหรับการอบชุบด้วยกรรมวิธีภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุมในเตาชุบ นำชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบชุบ ซึ่งมีความแข็งมากที่สุดของแต่ละเงื่อนไขมาทำพันช์แบบอินเสิร์ท ขนาด 9.86x 9.86 มิลลิเมตร วัสดุชิ้นงานคือเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1020 ความหนา 3 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมี ดังนี้ 0.18-0.23%C, 0.15-0.35%Si, 0.30-0.60%Mn, 0.03% Cr และ 0.035%Mo, ค่า Tensile Strength 245 N/mm^2 ค่า Elongation 25%, ค่า Yield Strength 200-300 MPa. และค่าความแข็ง 116-176 HB. วัสดุชิ้นงานรูปร่างสี่เหลี่ยมขนาด 10x10 มิลลิเมตร ใช้ค่าช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์คงที่คือ 7% พันธ์แต่ละชนิดปั๊มตัดชิ้นงานจำนวน

10,000 ชิ้นงาน และวัดผลการศึกษาโดยการวัดระยะการสึกหรอและสภาพรอยตัดเฉือน ปั๊มชิ้นงานด้วยเครื่องปั๊มตัด รุ่น HPS 20 ขนาดแรงปั๊มตัด 20 ตัน ใช้กล้องจุลทรรศน์ถ่ายภาพการสึกหรอของพันช์และสภาพรอยตัดเฉือนของชิ้นงาน ใช้กำลังขยาย 20 เท่า บันทึกภาพรอยตัดเฉือนของชิ้นงานด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป วัดขนาดสภาพรอยตัดเฉือนของชิ้นงาน ได้แก่ ส่วนโค้งมน ส่วนหน้าตัดเฉือน ส่วนรอยแตก และครีบ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

วิธีการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 ศึกษากรรมวิธีอบชุบที่มีผลต่อโครงสร้างจุลภาคและค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบ ดังนี้

1. กรรมวิธีอบชุบชิ้นงานทดสอบเพื่อใช้สำหรับทำพันช์ ดังนี้

1.1 อบชุบชิ้นงานทดสอบด้วยกรรมวิธีสเปร์ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ชุบแข็งด้วยการพ่นละอองน้ำมันประเภทน้ำมันแร่ ความหนืดน้ำมัน (40 องศาเซลเซียส) เท่ากับ 30 และจุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส) เท่ากับ 210 ที่ความดันที่แตกต่างกัน 3 ระดับความดัน ได้แก่ 1, 2 และ 4 บาร์

1.2 อบชุบชิ้นงานทดสอบด้วยกรรมวิธีภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุมในเตาชุบ โดยเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จำนวน 1 รู ที่ผนังเตาอบชุบเพื่อใช้สำหรับพ่นก๊าซอาร์กอนเข้าเตาอบชุบ เพื่อทำให้เกิดการปกคลุมชิ้นงานทดสอบ มีเป้าหมายเพื่อลดการเกิดออกซิเดชั่นที่ผิวของชิ้นงานทดสอบ การอบชุบชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ได้แก่ 400, 600 และ 850 องศาเซลเซียส โดยการพ่นก๊าซอาร์กอนด้วยความดัน 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2. การทดสอบความแข็งและตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

2.1 นำชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบชุบทั้ง 2 กรรมวิธี ตัดด้วยเครื่องตัด (Cut off Machine) มีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยม

2.2 ปรับระนาบผิวชิ้นงานทดสอบด้วยกระดาษทรายและขัดผิวมันด้วยผ้าสักหลาดโดยใช้ผงอลูมิน่าขนาด 0.5 และ 0.3 ไมครอน

2.3 กัดผิวชิ้นงานทดสอบด้วยสารละลาย 9a เวลาจุ่ม 8 วินาที ล้างด้วยน้ำกลั่น และตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์

2.4 ทดสอบความแข็งของชิ้นงานแบบไมโครวิคเกอร์ แรงกด 500 กรัม เวลากด 5 วินาที

ระยะที่ 2 ศึกษาการสึกหรอของพันธ์ ดำเนินการปั๊มตัดชิ้นงานจำนวน 10,000 ชิ้นงานต่อกรรมวิธีการอบชุบ โดยไม่ใช้สารหล่อเย็น ดังนี้

1. ปั๊มตัดชิ้นงานชิ้นที่ 1 ถึง 200 หยุดปั๊มตัดชิ้นงานและเก็บข้อมูลการสึกหรอของพันช์และวัดสภาพรอยตัดเฉือนของชิ้นงานทุก 10 ครั้ง

2. ปั๊มตัดชิ้นงานชิ้นที่ 200 ถึง 500 หยุดปั๊มตัดชิ้นงานและเก็บข้อมูลการสึกหรอของพันช์และวัดสภาพรอยตัดเฉือนของชิ้นงานทุก 50 ครั้ง

3. ปั๊มตัดชิ้นงานชิ้นที่ 500 ถึง 1,000 หยุดปั๊มตัดชิ้นงานและเก็บข้อมูลการสึกหรอของพันช์และวัดสภาพรอยตัดเฉือนของชิ้นงานทุก 100 ครั้ง

4. ปั๊มตัดชิ้นงานชิ้นที่ 1,000 ถึง 2,000 หยุดปั๊มตัดชิ้นงานและเก็บข้อมูลการสึกหรอของพันช์และวัดสภาพรอยตัดเฉือนของชิ้นงานทุก 200 ครั้ง

5. ปั๊มตัดชิ้นงานชิ้นที่ 2,000 ถึง 3,000 หยุดปั๊มตัดชิ้นงานและเก็บข้อมูลการสึกหรอของพันช์และวัดสภาพรอยตัดเฉือนของชิ้นงานทุก 500 ครั้ง

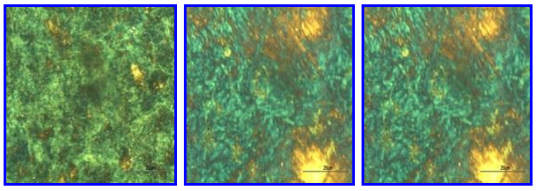
6. ปั๊มตัดชิ้นงานชิ้นที่ 3,000 ถึง 5,000 หยุดปั๊มตัดชิ้นงานและเก็บข้อมูลการสึกหรอของพันช์และวัดสภาพรอยตัดเฉือนของชิ้นงานทุก 1,000 ครั้ง

7. ปั๊มตัดชิ้นงานชิ้นที่ 5,000 ถึง 10,000 หยุดปั๊มตัดชิ้นงานและเก็บข้อมูลการสึกหรอของพันช์และวัดสภาพรอยตัดเฉือนของชิ้นงานทุก 2,500 ครั้ง

3. ผลการศึกษาการอบชุบ

ผลการอบชุบด้วยกรรมวิธีสเปร์ ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ชุบแข็งด้วยการพ่นละอองน้ำมัน ที่ความดัน 1, 2 และ 4 บาร์ ตามลำดับ พบว่าการชุบแข็งเหล็ก S50C ที่ความดัน 4 บาร์ ให้ความแข็งผิวดีที่สุด เท่ากับ 58.60 HRC จากภาพที่ 1 พบว่าโครงสร้างที่ได้เป็นโครงสร้างมาร์เทนไซท์สลับกับโครงสร้างที่เป็นซีเมนไทต์ มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและปริมาณตามการเพิ่มขึ้นของแรงดัน จากโครงสร้างด้านข้างของชิ้นงานที่พ่นด้วย

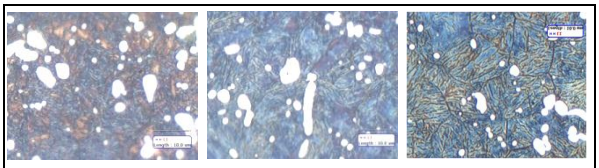
น้ำมันในระยะ 1 มิลลิเมตรจากขอบ มีค่าเปอร์เซ็นต์ ซีเมนไทต์ที่แทรกตัวอยู่ในโครงสร้างมาร์เทนไซท์ คิดเป็น 15%, 20% และ 40% ตามลำดับ ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานของชิ้นงานโดยรวมเป็นมาร์เทนไซท์ โดยมีเฟอร์ไรต์และเพิรลไลท์ปะปนอยู่กับโครงสร้างออสเทนไนต์ ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการเย็นตัวของชิ้นงานมีผลทำให้ค่าความแข็งเปลี่ยนแปลงไปที่ 52.90, 54.30 และ 58.60 HRC ตามลำดับ ผลที่ได้พบว่าค่าความแข็งเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน โครงสร้างด้านหน้าของชิ้นงานที่ได้จากการพ่นด้วยละอองน้ำมันกำลังขยาย 100x ดังรูปที่ 1



1 บาร์ 2 บาร์ 4 บาร์

ภาพที่ 1 ภาพถ่ายโครงสร้างด้านหน้าของชิ้นงานที่ได้จากการพ่นด้วยละอองน้ำมันกำลังขยาย 100x

ผลการอบชุบด้วยกรรมวิธีภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุมในเตา พ่นก๊าซอาร์กอนด้วยความดัน 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 2 พบว่าโครงสร้างพื้นเป็นมาร์เทนไซท์ มีเบนไนท์แทรกอยู่เป็นกลุ่มก้อน มีคาร์ไบด์ขนาดใหญ่ไม่สม่ำเสมอกระจายอยู่ในโครงสร้างพื้น เท่ากับ 11.35% และค่าความแข็งเท่ากับ 54.50 HRC ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส พบว่าโครงสร้างพื้นเป็นมาร์เทนไซท์ มีเบนไนท์แทรกอยู่เล็กน้อย มีคาร์ไบด์ขนาดใหญ่ไม่สม่ำเสมอกระจายอยู่ในโครงสร้างพื้นเท่ากับ 10.63% ซึ่งทำให้ได้ค่าความแข็งที่มากที่สุดเท่ากับ 57.30 HRC และที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส พบว่าโครงสร้างพื้นเป็นมาร์เทนไซท์ มีเบนไนท์แทรกอยู่เล็กน้อย มีคาร์ไบด์ขนาดใหญ่ไม่สม่ำเสมอแทรกอยู่เล็กน้อยในโครงสร้างพื้น เท่ากับ 7.16% ค่าความแข็ง เท่ากับ 50.70 HRC



400°C 600°C 850°C

รูปที่ 2 ภาพถ่ายโครงสร้างด้านหน้าของชิ้นงานที่ได้จากการพ่นก๊าซอาร์กอนด้วยความดัน 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กำลังขยาย 100x

4. ผลการศึกษาการสึกหรอของพันช์

ผู้วิจัยนำชิ้นงานทดสอบที่ผ่านกรรมวิธีอบชุบซึ่งให้ค่าความแข็งมากที่สุด ได้แก่กรรมวิธีสเปร์ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ชุบแข็งด้วยการพ่นละอองน้ำมัน ที่ความดัน 4 บาร์ และกรรมวิธีภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุมในเตาชุบ ด้วยการพ่นก๊าซอาร์กอนด้วยความดัน 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มาทำพันธ์เพื่อทดสอบค่าการสึกหรอ โดยวัดจากการสึกหรอของพันช์และสภาพรอยตัดเฉือนของชิ้นงาน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าการสึกหรอของพันช์

ลำดับ	ตัวชี้วัด	กรรมวิธีการอบชุบ	
		สเปร์	ภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุม
1.	การสึกหรอ (μm)	112.70	70.00
2.	ส่วนโค้งมน (%)	10.66	12.51
3.	ส่วนหน้าตัดเฉือน (%)	14.83	6.38
4.	ส่วนรอยแตก (%)	65.89	14.14
5.	ครีบ (%)	19.20	55.61

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อนำพันช์ปั๊มตัดชิ้นงานตั้งแต่ชิ้นที่ 700-5,000 พันช์มีการสึกหรออย่างรวดเร็ว โดยพันช์ที่ทำจากเหล็ก S50C อบชุบด้วยกรรมวิธีสเปร์ มีการสึกหรอเพิ่มขึ้น 29.53% และพันช์ที่ทำจากเหล็ก JIS SKD11 อบชุบด้วยกรรมวิธีภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุมในเตามีการสึกหรอเพิ่มขึ้น 21.53% และเมื่อปั๊มชิ้นงานตั้งแต่ชิ้นที่ 5,000-10,000 พบว่าพันธ์ทั้งสองชนิดมีแนวโน้นเกิดการสึกหรอลดลง โดยพันช์ที่ทำจากเหล็ก S50C อบชุบด้วยกรรมวิธีสเปร์ มีการสึกหรอเพิ่มขึ้นจากเดิม

22.79% และพันช์ที่ทำจากเหล็ก JIS SKD11 อบชุบด้วยกรรมวิธีภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุมในเตามีการ สึกหรอเพิ่มขึ้นจากเดิม 16.77% และเมื่อเปรียบการ สึกหรอของพันช์ พบว่าพันช์ที่ทำจากเหล็ก S50C อบชุบด้วยกรรมวิธีสเปร์มีการสึกหรอมากกว่าพันช์ที่ทำจากเหล็ก JIS SKD11 อบชุบด้วยกรรมวิธีภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุมในเตา เท่ากับ 37.89% โดยการสึกหรอมีลักษณะแบบการขัดถูทำให้เนื้อวัสดุหลุดออกมาในลักษณะอนุภาคเล็กๆ ซึ่งสอดคล้องกับสภาพรอยตัดเฉือนของชิ้นงานซึ่งพบว่าเมื่อจำนวนการปั๊มตัดมากขึ้นความยาวส่วนโค้งมนและส่วนรอยแตกเพิ่มมากขึ้นแต่ความยาวส่วนหน้าตัดเฉือนจะลดลง ซึ่งมีผลมาจากการสึกหรอของพันธ์ โดยพันช์ที่อบชุบด้วยกรรมวิธีสเปร์มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพรอยตัดเฉือนมากกว่า

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของกรรมวิธีการชุบแข็งที่มีต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดพบว่าการชุบแข็งเหล็ก S50C ด้วยกรรมวิธีสเปร์ อุณหภูมิอบชุบ 750 องศาเซลเซียส ทำให้เย็นตัวด้วยละอองน้ำมันแรงดัน 4 บาร์ ให้ความแข็งผิวดีที่สุดเท่ากับ 58.60 HRC ผลจากการอบชุบทำให้ได้มาร์เทนไซต์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น (Lath martensite) ซึ่งเป็นลักษณะของโครงสร้างที่เกิดจากการรวมตัวอย่างหนาแน่นของดิสโลเคชั่น (high dislocation density) ชั้นความลึกผิวแข็งของโครงสร้างมาร์เทนไซท์เท่ากับ 1 มิลลิเมตร และมีซีเมนไทต์กระจายในเนื้อวัสดุ ส่วนพื้นที่ถัดไปได้โครงสร้างเฟอร์ไรต์และเพิรลไลท์ปะปนอยู่กับโครงสร้างออสเทนไนต์

การอบชุบเหล็ก JIS SKD11 ด้วยกรรมวิธีภายใต้สภาวะก๊าซปกคลุมในเตา ซึ่งเหล็ก JIS SKD11 มีธาตุสำคัญผสมอยู่คือ โครเมียม โมลิบดินัมและวาเนเดียม รวมทั้งมีคาร์บอนผสมอยู่ปริมาณสูงส่งผลให้เกิดปริมาณ Carbide ในระดับสูง เมื่อชุบแข็งและอบคืนตัวทำให้เกิดโครงสร้างเทมเปอร์มาร์เทนไซต์ (Tempered martensite) ที่มีผลต่อการต้านทานการสึกหรอและการเสียดสีได้ดี สำหรับเหล็ก S50C มีคาร์บอนที่เป็นธาตุผสมหลักเพียงธาตุเดียว ส่งผลให้มีความต้านทานการสึกหรอและการเสียดสีต่ำกว่าเหล็ก JIS SKD11

5. สรุป

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอของพันธ์ คือธาตุผสม เนื่องจากจะส่งผลให้เกิดปริมาณ Carbide ในระดับสูง เมื่อชุบแข็งและอบคืนตัวทำให้เกิดโครงสร้างที่มีผลต่อการต้านทานการสึกหรอและการเสียดสีได้ดี เช่น มาร์เทนไซต์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณคณะกรรมการประเมินผลงานวิจัย บุคลากรของสถาบันวิจัยและฝึกอบรมทุกท่าน ไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ชานนท์ บุนนทร์, มาโนช ริทินโย และ จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร, การสึกหรอของผิวเคลือบไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อชุดคมตัดแม่พิมพ์ตัดขาด - **การประชุมระดับชาติ** “การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2556”, 16-18 ตุลาคม 2556 มหาวิทยาลัยมหิดลและมหาวิทยาลัยศิลปากร, พัทยา ชลบุรี

[2] มาโนช ริทินโย, ชานนท์ บุนนท์, กัมปนาท ถ่ายสูงเนิน และ จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร, อิทธิพลของกรรมวิธีการอบชุมภายใต้ภาวะการเผาอุ่นที่มีต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ปั๊มตัด “การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2556”, 16-18 ตุลาคม 2556 มหาวิทยาลัยมหิดลและมหาวิทยาลัยศิลปากร, พัทยา ชลบุรี

[3] กัมปนาท ถ่ายสูงเนิน, วัลลภ อรุณส่ง, มาโนช ริทินโย และ จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร, **การวิจัยเพื่อหาช่องว่างที่เหมาะสมของแม่พิมพ์โลหะปั๊มตัดขาดสำหรับวัสดุ A1100 วัสดุรูปทรงกลม - การประชุมระดับชาติ** “การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2556”, 16-18 ตุลาคม 2556 มหาวิทยาลัยมหิดลและมหาวิทยาลัยศิลปากร, พัทยา ชลบุรี

[4] ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ รัชนี ไพศาล พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ และวารุณี เปรมานนท์. 2545. **อิทธิพลของช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดายที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด**.ประชุม

วิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16. ภูเก็ต. วันที่ 14-16 ตุลาคม หน้า 437-441.

[5] กุลชาติ จุลเพ็ญ วารุณี เปรมานนท์ และพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์. 2547. **อิทธิพลของการสึกหรอในงานแม่พิมพ์ตัดที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน**. ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18.

[6] พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ วารุณี เปรมานนท์ รัชนี ไพศาล และชาญยุทธ มะกา. 2548. **อิทธิพลของชนิดเหล็กเครื่องมือที่มีต่อการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด**. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 28 (2) : 169-182.

[7] มาโนช ริทินโย. 2553. **การเปรียบเทียบพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัดที่ได้จากการอบชุบด้วยกรรมวิธีสเปร์**. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปีที่ 13. (3) : 42-56.

[8] มาโนช ริทินโย ชานนท์ บุนนท์. 2553. **พฤติกรรมการสึกหรอของผิวเคลือบชุดคมตัดสำหรับงานแม่พิมพ์ตัดขาด**. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3. ศูนย์ประชุมสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ กรุงเทพมหานคร. วันที่ 24-26 พฤศจิกายน.

[9] เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น ชาญ ถนัดงาน และศิริศักดิ์ หาญชูวงศ์. 2546. **การศึกษาการสึกหรอแบบขัดสีบริเวณคมตัดพันช์**. ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17. ปราจีนบุรี. วันที่ 15-17 ตุลาคม.

[10] สิริพร โรจนนันต์ และคณะ. 2550. **กรณีศึกษาสาเหตุการเสียรูปของพันช์ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูป**. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การชี้บ่งแรงตัดพลวัตจากการเกิดเศษโลหะและความขรุขระผิวชิ้นงานโดยการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเลท

Identification of dynamic cutting forces from chip formation and surface roughness by utilizing wavelet transform

ทองพรรณราย มัยโชติ* สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: thongphannarai.m@student.chula.ac.th* somkiat.t@eng.chula.ac.th

Thongphannarai Maiyachote* Somkiat Tangjitsitcharoen
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: thongphannarai.m@student.chula.ac.th* somkiat.t@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะความถี่ของสัญญาณแรงตัดพลวัตที่เกิดขึ้นในขณะกลึงชิ้นงาน โดยประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเลทชนิดดอเบชีส์มาช่วยวิเคราะห์ และแยกสัญญาณแรงตัดพลวัตออกเป็นหลายระดับชั้นเพื่อชี้บ่งสัญญาณแรงตัดพลวัตที่เกิดจากการแตกหักของเศษโลหะ สัญญาณความขรุขระผิวชิ้นงานและสัญญาณรบกวนอื่นจากสัญญาณแรงตัดพลวัตที่เกิดขึ้น ผลการแปลงเวฟเลทของสัญญาณแรงตัดพลวัต สามารถอธิบายการเกิดเศษโลหะแบบแตกหักและเศษโลหะแบบต่อเนื่อง รวมถึงความขรุขระผิวชิ้นงานจากแรงตัดพลวัตได้อย่างละเอียด โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวชิ้นงานและปัจจัยต่างๆ อาทิเช่น ความเร็วตัด อัตราการป้อนตัด ความลึกตัด รัศมีจมูกมีด มุมคายเศษโลหะ ได้ถูกนำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ร่วมด้วย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อความขรุขระผิวชิ้นงานในขณะตัด จากผลการทดลอง พบว่าความถี่ของการแตกหักจากเศษโลหะจะเกิดขึ้นที่ระดับต่ำในการแปลงเวฟเลทของสัญญาณแรงตัดพลวัต และความถี่ของความขรุขระผิวชิ้นงานจะเกิดขึ้นในระดับสูงในการแปลงเวฟเลทสัญญาณของแรงตัดพลวัต โดยที่ความถี่ของความขรุขระผิวชิ้นงานจะเกิดขึ้นเสมอที่ระดับ 5 จากการแปลงเวฟเลทไม่ว่าเงื่อนไขในการตัดจะเปลี่ยนแปลงไป

คำหลัก การกลึง การแปลงเวฟเลท ความขรุขระผิว เศษโลหะ แรงตัดพลวัต

Abstract

The aim of the research is to identify the frequency of dynamic cutting forces occurred from the chip formation and the noise signals out from the original signals in order to predict the surface roughness during the cutting by utilizing the Daubachies wavelet transform. Not only the broken chip and the continuous chip but also the surface roughness can be explained by the use of the wavelet transform of dynamic cutting forces in both time domain and frequency domain. The relation between the surface roughness and other factors such as the cutting speed, the feed rate, the depth of cut, the tool nose radius and the rake angle is analyzed in this research which affect to the surface roughness during the cutting. The experimental results have showed that the chip breaking frequency appears at the low level

of the wavelet transform of dynamic cutting forces. However, the surface roughness frequency occurs at the higher level of the wavelet transform of dynamic forces. The surface roughness frequency will certainly occur at the 5th level of the wavelet transform although the cutting conditions have been changed. It is understood that the valuable content of this research can be separated the dynamic cutting forces of the broken chip and other noises out from the original signals by utilizing the Daubachies wavelet transform.

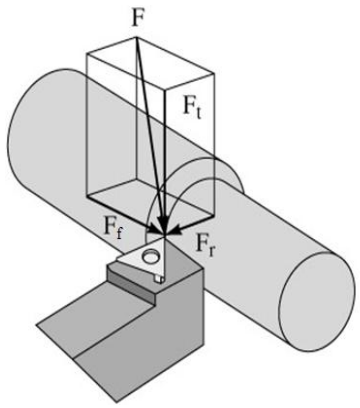
Keywords: Turning, Wavelet Transform, Surface Roughness, Chip formation, Dynamic Cutting Force

1. บทนำ

ในปัจจุบันการขึ้นรูปชิ้นงานโดยกระบวนการกลึงด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีเป็นที่นิยมมากในอุตสาหกรรมปัจจุบัน เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานที่ให้ความแม่นยำสูง รวดเร็ว ช่วยเพิ่มประสิทธิผลในการผลิต ลดต้นทุนการผลิต รวมถึงให้คุณภาพชิ้นงานที่ดี ซึ่งคุณภาพผิวของชิ้นงานกลึงนั้นมีผลต่อคุณสมบัติการใช้งานของชิ้นงาน โดยชิ้นงานกลึงที่ดีควรมีความขรุขระผิวที่น้อยหรือมีความเรียบผิวมากเนื่องจากผิวของชิ้นงานจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานของชิ้นงานนั้นๆ ดังนั้นความขรุขระผิวชิ้นงานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพชิ้นงาน โดยในกระบวนการกลึงตัดนั้นมีปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน อาทิเช่น ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัด รัศมีจมูกมีด มุมคายเศษโลหะ

แรงในการกลึงตัดมีทั้งหมด 3 แรง ดังรูปที่ 1 ตามทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละแกน คือ แรงตัดแนวรัศมี (Radial force: F_x) แรงตัดป้อน (Feed force: F_y) และแรงตัดหลัก (Main force: F_z) [1,2] โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าในกระบวนการตัดกลึงนั้น แรงป้อนตัด(Feed force: F_y) เป็นแรงที่ส่งผลกระทบต่อความขรุขระผิวชิ้นงานมากที่สุด ในขณะที่เงื่อนไขการตัดนั้นมีอิธิพลต่อแรงตัดหลัก (Main force: F_z) ดังนั้นแรงตัดหลักและแรงป้อนตัดสามารถนำมาใช้ในการทำนายค่าความขรุขระผิวชิ้นงานในขณะกลึงชิ้นงานได้

ไดนาโมมิเตอร์หรือเซ็นเซอร์วัดแรงจึงถูกประยุกต์ใช้เพื่อตรวจติดตามวัดค่าที่เกิดขึ้นของความขรุขระผิวชิ้นงานทางอ้อมในขณะตัด โดยการนำไดนาโมมิเตอร์มาเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องขยายสัญญาณและออสซิลโลสโคปเพื่อใช้แสดงผลและบันทึกค่าแรงที่เกิดขึ้นในขณะกลึงตัด เมื่อพิจารณาสัญญาณแรงในโดเมนความถี่พบว่าความถี่ของแรงตัดและความถี่ของความขรุขระผิวนั้นมีความสอดคล้องกัน [3]



รูปที่ 1 ทิศทางแรงตัดในแนวแกน 3 มิติ โดยแกน F_x คือ แรงตัดในแนวรัศมี แรง F_y คือ แรงป้อนตัด และ F_z คือ แรงตัดหลัก [3]

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [3] พบว่าเมื่ออัตราส่วนแรงป้อนตัด(Feed force: F_y)กับแรงตัดหลัก (Main force: F_z) ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความขรุขระผิวของชิ้นงานเพิ่มขึ้นตามไปด้วย รวมถึงแรงตัดพลวัตที่เกิดขึ้นขณะกลึงตัดที่มีเงื่อนไขการกลึงที่เกิดเศษโลหะแบบแตกหักนั้น จะมีความถี่ที่สูงกว่าการกลึงตัดที่เกิดเศษโลหะแบบต่อเนื่อง โดยความถี่ที่ได้จากการเก็บสัญญาณแรงตัดพลวัตของเงื่อนไขการกลึงตัดที่เกิดเศษโลหะแบบแตกหักนั้นจะมีความถี่ของความขรุขระผิวและความถี่ของการแตกหักของโลหะปะปนอยู่ ซึ่งไม่สามารถแยกออกจากกันได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะความถี่ของสัญญาณแรงตัดพลวัตดังกล่าว โดยการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเลทมาช่วยวิเคราะห์เพื่อแยกสัญญาณแรงได้อย่างละเอียด ซึ่งการแปลงเวฟเลท(Wavelet Transform)

คือ การแปลงข้อมูลสัญญาณแรงตัดพลวัตให้เกิดที่ โดเมนเวลาและโดเมนความถี่ (Time-frequency Domain) ด้วยการแยกย่อยสัญญาณออกเป็นหลายๆระดับ (Level) ซึ่งสามารถแยกความถี่ของความขรุขระผิวออกจากความถี่ที่เกิดจากการแตกหักของเศษโลหะได้ [1]

2. การทำนายความขรุขระผิวชิ้นงานขณะตัด

เวฟเลทเป็นคลื่นรูปแบบหนึ่งที่มีช่วงเวลาที่จำกัดและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์โดยเวฟเลทได้ถูกแบ่งออกเป็นหลายลักษณะ ลักษณะของเวฟเลทจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันซึ่งถูกเรียกว่าแฟมิลี่ เช่น Daubechies, Symlet, Haar, Coiflet ซึ่งเวฟเลทดอเบชีส์เป็นที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณเชิงกล และให้ผลที่ดีกว่า การแปลงฟูเรียร์(Fourier transform) แบบเดิมโดยในการแปลงฟูเรียร์สามารถวิเคราะห์ได้เฉพาะสัญญาณความถี่เท่านั้นในขณะที่การแปลงเวฟเลทสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงเวลาและเชิงความถี่ของสัญญาณ(Time-Frequency Domain) [4,5]

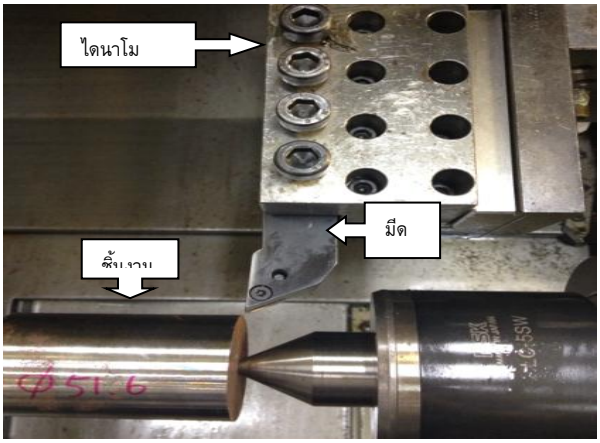
2.1ความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขการตัดและความขรุขระผิวชิ้นงาน

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระของชิ้นงาน ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัด รัศมีจมูกมีด มุมคายเศษโลหะ การกำหนดเงื่อนไขการตัดที่ให้ความเรียบผิวชิ้นงานสูงนั้นต้องพิจารณาแต่ละปัจจัยดังนี้ ความเร็วตัดสูงส่งผลให้อุณภูมิในการตัดสูง ผิววัสดุอ่อนนุ่ม จึงใช้แรงตัดน้อยเกิดการสั่นสะเทือนต่ำชิ้นงานมีความเรียบผิวที่ดี มุมคายเศษโลหะมากทำให้ความต้านทานการเคลื่อนที่ของมีดตัดลดลงใช้แรงในการตัดต่ำชิ้นงานมีความเรียบผิวที่ดี รัศมีจมูกมีดที่มีค่ามากจากทฤษฎีจะช่วยลบรอยป้อนตัดส่งผลให้ชิ้นงานมีความเรียบผิวที่ดี อัตราการป้อนตัดที่เพิ่มขึ้นตามทฤษฎีต้องใช้แรงในการตัดเพิ่มขึ้นทำให้วัสดุมีความเรียบผิวต่ำและความลึกตัดที่เพิ่มขึ้นทำให้พื้นที่ในการตัดและแรงตัดมากขึ้นก่อให้เกิดโอกาสในการสั่นสะเทือนในกระบวนการตัดสูงส่งผลให้ชิ้นงานมีความเรียบผิวต่ำ [6]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยดังกล่าวข้างต้นในการวิเคราะห์การเกิดความขรุขระผิวชิ้นงานด้วยวิธีการแปลงเวฟเลท

3. เงื่อนไขการทดลองและวิธีดำเนินการ

การวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองโดยการกลึงปลอกแบบแห้งด้วยเม็ดมีดตัดแบบคาร์ไบด์เคลือบผิว (Coated Carbide) วัสดุที่ใช้ในการทดสอบคือเหล็กกล้าคาร์บอน S45C เส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร บนเครื่องกลึงซีเอ็นซี 4 แกนยี่ห้อ Mazak รุ่น NEXUS 200MY/MSY ซึ่งเชื่อมต่อกับไดนาโมมิเตอร์ยี่ห้อ KISTLER รุ่น 9121 เครื่องขยายสัญญาณ Charge Amplifier และ ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ยี่ห้อ Yokagawa รุ่น DL750 เพื่อบันทึกสัญญาณแรงที่เกิดขึ้นขณะตัดในเงื่อนไขต่างๆ ดังตารางที่ 1 และการติดตั้งไดนาโมมิเตอร์เพื่อทำการทดลองได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การติดตั้งชิ้นงานเข้ากับแท่นจับยึด และการติดตั้งป้อมมีดตัดเข้ากับไดนาโมมิเตอร์เพื่อทำการวัดแรงตัดในขณะกลึงตัด

ตารางที่ 1 เงื่อนไขในการตัด

ปัจจัย	ระดับ
ความเร็วตัด	100 , 180 และ 260 เมตร/นาที
อัตราป้อนตัด	0.1 , 0.2 และ 0.3 มิลลิเมตร/รอบ
ความลึกตัด	0.2 , 0.5 และ 0.8 มิลลิเมตร
รัศมีจมูกมีด	0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร
มุมคายเศษโลหะ	-6 และ 11

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

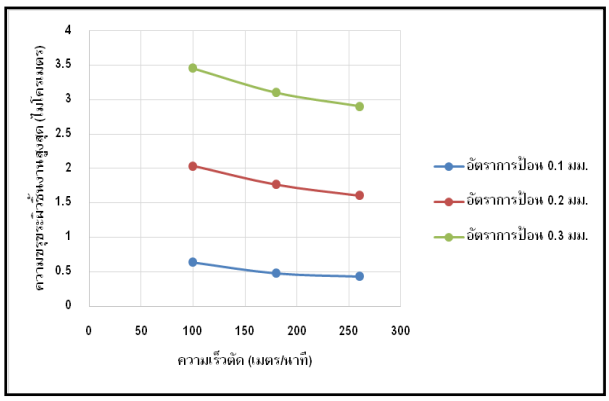
1. ติดตั้งไดนาโมมิเตอกับป้อมมีดของเครื่องกลึงซีเอ็นซีสำหรับตรวจจับสัญญาณแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะกลึงตัด

2. เชื่อมต่อไดนาโมมิเตอร์กับเครื่องขยายสัญญาณ และออสซิโลสโคปเพื่อบันทึกค่าสัญญาณแรงที่เกิดขึ้นขณะกลึงตัด
3. ทำการทดลองตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น โดยการเก็บสัญญาณแรงตัดพลวัตที่เกิดขึ้นในแต่ละเงื่อนไข
4. ศึกษาเศษโลหะที่เกิดขึ้นจากการตัดในแต่ละเงื่อนไข
5. วัดค่าความขรุขระผิวของชิ้นงานด้วยเครื่องวัดความขรุขระผิวในแต่ละเงื่อนไขการตัด
6. วิเคราะห์ความขรุขระผิวชิ้นงานและแรงตัดพลวัตในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ โดยวิธีการแปลงฟูเรียร์อย่างเร็ว (Fast Fourier Transform)
7. วิเคราะห์ความขรุขระผิวชิ้นงานและแรงตัดพลวัตในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ โดยวิธีการแปลงเวฟเลท (Wavelet Transform)
8. สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานวิจัย

4.ผลการทดลองและการอภิปราย

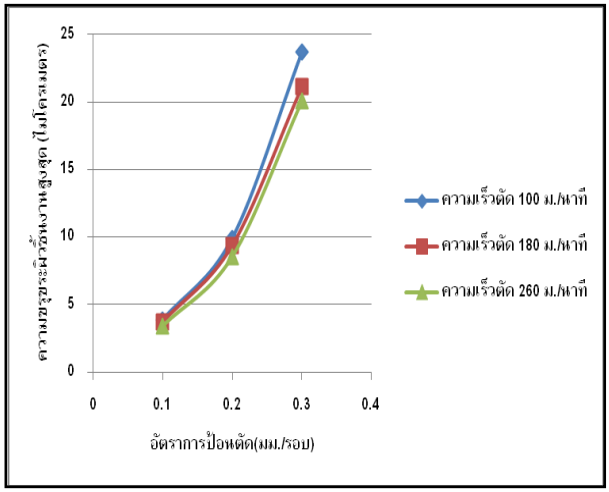
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวชิ้นงานกับปัจจัยในการตัด

รูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึง ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวชิ้นงานสูงสุด (Rz) กับความเร็วตัดที่ 100 , 180 และ 260 ม/นาที โดยมีอัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกัน คือ 0.1 , 0.2 และ 0.3 มม/รอบ โดยมีความลึกตัด รัศมีจมูกมีด มุมคายโลหะที่เท่ากัน นั้น พบว่าที่ความเร็วตัดสูงขึ้นจะให้ค่าความขรุขระผิวสูงสุดที่ลดลงหรือความเรียบผิวที่ดีขึ้น เนื่องจากการใช้ความเร็วในการตัดที่สูงส่งผลให้อุณหภูมิในการตัดจึงสูงขึ้นและส่งผลให้ผิววัสดุอ่อนนุ่ม การตัดโดยใช้ความเร็วตัดที่สูงนั้นเป็นผลให้ใช้แรงในการตัดน้อยลงทำให้โอกาสที่ชิ้นงานจะเกิดการสั่นสะเทือนต่ำ จึงทำให้วัสดุมีความเรียบผิวสูง แต่อย่างไรก็ตามอัตราการป้อนตัดที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดความขรุขระผิวสูงสุดที่เพิ่มขึ้นในแต่ละความเร็วตัดที่เท่ากัน เนื่องจากตามทฤษฎีของอัตราการป้อนตัด การใช้อัตราการป้อนมากเป็นผลให้ต้องใช้แรงในการตัดที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน อันจะส่งผลให้ผิวของวัสดุมีความขรุขระมากขึ้น

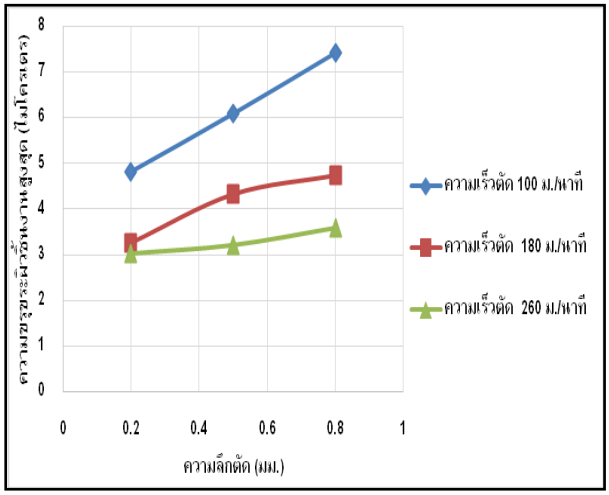


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวชิ้นงานสูงสุด (Rz) กับความเร็วตัดในแต่ละค่าที่ 100 , 180 และ 260 ม/นาที โดยมีอัตราการป้อนตัดที่แตกต่างกัน คือ 0.1 , 0.2, 0.3 มม/รอบ ความลึกตัด 0.5 มม รัศมีจมูกมีด 0.8 มม มุมคายเศษโลหะ 11 องศา

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึง ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวชิ้นงานสูงสุด (Rz) กับอัตราการป้อนตัดที่ 0.1 , 0.2, 0.3 มม/รอบโดยมีค่าความเร็วตัดที่แตกต่างกัน คือ 100 , 180 และ 260 ม/นาที โดยมีความลึกตัด รัศมีจมูกมีด มุมคายโลหะที่เท่ากัน นั้น พบว่าที่อัตราการป้อนสูงนั้นจะให้ค่าความขรุขระผิวสูงสุดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากตามทฤษฎีของอัตราการป้อนตัด การใช้อัตราการป้อนมากเป็นผลให้ต้องใช้แรงในการตัดที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน อันจะส่งผลให้ผิวของวัสดุมีความขรุขระมากขึ้น และความเร็วตัดที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดความขรุขระผิวสูงสุดลดลงในแต่ละอัตราการป้อนที่เท่ากัน เนื่องจากการใช้ความเร็วในการตัดที่สูงส่งผลให้อุณหภูมิในการตัดจึงสูงขึ้นส่งผลให้ผิววัสดุอ่อนนุ่มและการตัดโดยใช้ความเร็วตัดที่สูงนั้นเป็นผลให้ใช้แรงในการตัดน้อยลงทำให้โอกาสที่ชิ้นงานจะเกิดการสั่นสะเทือนต่ำ จึงทำให้วัสดุมีความเรียบผิวสูง ดังนั้นการใช้อัตราการป้อนที่ต่ำนั้นและความเร็วตัดที่สูงจะทำให้ได้ผิวของวัสดุที่มีความเรียบผิวมากขึ้น



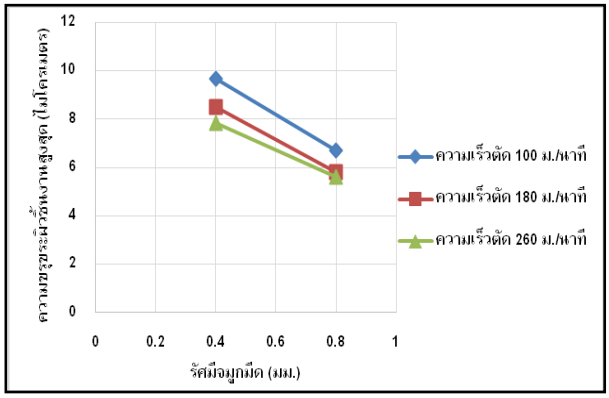
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวชิ้นงานสูงสุด (Rz) กับอัตราการป้ อนตัดในแต่ละค่าที่ 0.1 , 0.2, 0.3 มม/รอบโดยมีค่าความเร็วตัดที่แตกต่างกัน คือ 100 , 180 และ 260 ม/นาที ความลึกตัด 0.8 มม รัศมีจมูกมีด 0.4 มม มุมคายเศษโลหะ 11 องศา



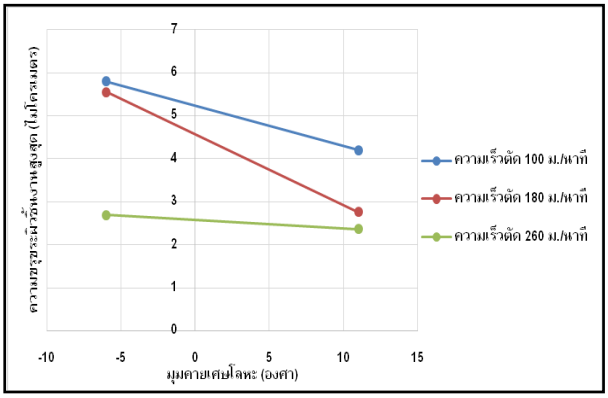
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวชิ้นงานสูงสุด (Rz) กับความลึกตัดที่ 0.2 , 0.5 และ 0.8 มม โดยมีค่าความเร็วตัด 100, 180, 260 ม/นาที อัตราการป้อน 0.1 ม/นาที รัศมีจมูกมีด 0.4 มม มุมคายเศษโลหะ 11 องศา

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึง ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวชิ้นงานสูงสุด (Rz) กับความลึกตัดในแต่ละค่าที่ 0.2 , 0.5 และ 0.8 มม โดยมีค่าความเร็วตัดที่แตกต่างกัน คือ 100 , 180 และ 260 ม/นาที โดยมีอัตราการป้อน รัศมีจมูกมีด มุมคายโลหะที่เท่ากัน นั้น พบว่าที่ค่าความลึกตัดที่สูงขึ้นนั้นจะให้ค่าความขรุขระผิวสูงสุดเพิ่มขึ้น เนื่องจากความลึกตัดที่เพิ่มมากขึ้นทำให้พื้นที่ในการตัดรวมถึงใช้แรงในการตัดที่มากขึ้นก่อให้เกิดโอกาสในการสั่นสะเทือนในกระบวนการตัดสูงทำให้ความขรุขระของผิวชิ้นงานมากขึ้น และความเร็วตัดที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดความขรุขระผิวสูงสุดที่ลดลงในแต่ละความลึกตัดที่เท่ากัน เนื่องจากการใช้ความเร็วในการตัดที่สูงส่งผลให้อุณหภูมิในการตัดจึงสูงขึ้นส่งผลให้ผิววัสดุอ่อนนุ่มและการตัดโดยใช้ความเร็วตัดที่สูงนั้นเป็นผลให้ใช้แรงในการตัดน้อยลงทำให้โอกาสที่ชิ้นงานจะเกิดการสั่นสะเทือนต่ำจึงทำให้วัสดุมีความเรียบผิวสูง ดังนั้น การใช้ความลึกตัดที่ต่ำและความเร็วตัดที่สูงจะทำให้ได้ผิวของวัสดุที่มีความเรียบผิวมากขึ้น

รูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึง ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวชิ้นงานสูงสุด (Rz) กับรัศมีจมูกมีดที่ 0.4 และ 0.8 มมโดยมีค่าความเร็วตัดที่แตกต่างกัน คือ 100 , 180 และ 260 ม/นาที โดยมีอัตราการป้อน ความลึกตัด มุมคายโลหะที่เท่ากัน พบว่าที่ค่ารัศมีจมูกมีดที่ต่ำนั้นจะให้ค่าความขรุขระผิวสูงสุดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากรัศมีจมูกมีดที่มากจะช่วยลบรอยป้อนตัดส่งผลให้ความขรุขระผิวลดลงตามทฤษฎี และความเร็วตัดที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดความขรุขระผิวสูงสุดที่ลดลงในแต่ละรัศมีจมูกมีดที่เท่ากัน เนื่องจากการใช้ความเร็วในการตัดที่สูงส่งผลให้อุณหภูมิในการตัดจึงสูงขึ้นส่งผลให้ผิววัสดุอ่อนนุ่มและการตัดโดยใช้ความเร็วตัดที่สูงนั้นเป็นผลให้ใช้แรงในการตัดน้อยลงทำให้โอกาสที่ชิ้นงานจะเกิดการสั่นสะเทือนต่ำจึงทำให้วัสดุมีความเรียบผิวสูง ดังนั้น การใช้รัศมีจมูกมีดที่สูงและความเร็วตัดที่สูงจะทำให้ได้ผิวของวัสดุที่มีความเรียบผิวมากขึ้น



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวชิ้นงานสูงสุด (Rz) กับรัศมีจมูกมีดที่ 0.4 และ0.8 มม โดยมีค่าความเร็วตัดที่ 100, 180, 260 ม/นาที อัตราการป้อน 0.2 ม./นาที ความลึกตัด 0.2 มม มุมคายเศษโลหะ 11 องศา



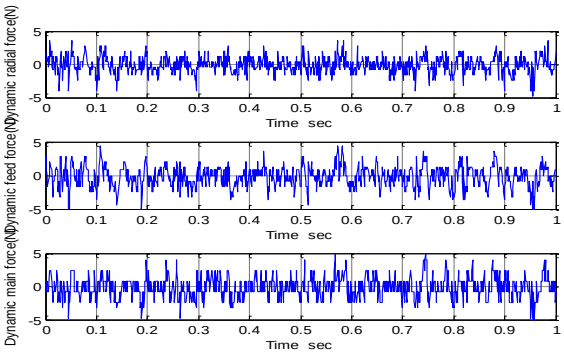
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวชิ้นงานสูงสุด (Rz) กับมุมคายเศษโลหะ ที่ –6 และ 11 องศา โดยมีค่าความเร็วตัดที่ 100, 180, 260 ม/นาที และอัตราการป้อน 0.1 ม/นาที ความลึกตัด 0.5 มม รัศมีจมูกมีด 0.8

รูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึง ความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวชิ้นงานสูงสุด (Rz) กับมุมคายเศษโลหะ ที่ –6 และ 11 องศา โดยมีค่าความเร็วตัดที่แตกต่างกัน คือ 100 , 180 และ 260 ม/นาที โดยมีอัตราการป้อน ความลึกตัด รัศมีจมูกมีดที่เท่ากัน พบว่าที่มุมคายโลหะที่ต่ำนั้นจะให้ค่าความขรุขระผิวสูงสุดเพิ่มขึ้น เนื่องจากมุมคายเศษโลหะมากทำให้ความต้านทานการเคลื่อนที่ของมีดตัดลดลง จึงใช้แรงตัดที่ต่ำให้ความเรียบผิวที่ดีขึ้น ในทางกลับกันการใช้มุมคายโลหะต่ำจะทำให้เกิดความต้านทานการเคลื่อนที่สูง ใช้แรงในการตัดมาก จึงทำให้ผิวชิ้นงานมีความขรุขระสูง และความเร็วตัดที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดความขรุขระผิวสูงสุดลดลงในแต่ละมุมคายโลหะที่เท่ากัน เนื่องจากการใช้ความเร็วในการตัดที่สูงส่งผลให้อุณหภูมิในการตัดจึงสูงขึ้นส่งผลให้ผิววัสดุอ่อนนุ่มและการตัดโดยใช้ความเร็วตัดที่สูงนั้นเป็นผลให้ใช้แรงในการตัดน้อยลงทำให้โอกาสที่ชิ้นงานจะเกิดการสั่นสะเทือนต่ำจึงทำให้วัสดุมีความเรียบผิวสูง ดังนั้น การใช้มุมคายโลหะที่สูงและความเร็วตัดที่สูงจะทำให้ได้ผิวของวัสดุที่มีความเรียบผิวมากขึ้น

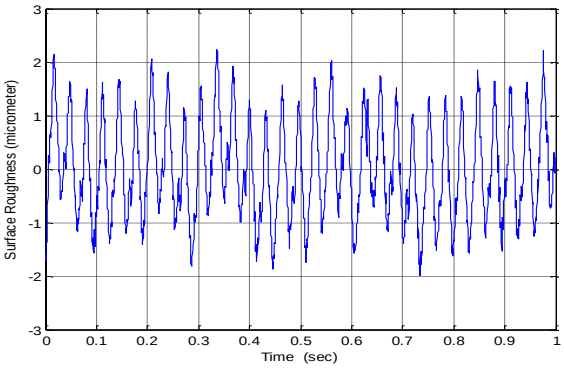
4.2 การแปลงเวฟเลทของแรงตัดพลวัตจากการเกิดเศษโลหะและความขรุขระผิวชิ้นงาน

สัญญาณแรงตัดพลวัตถูกนำมาวิเคราะห์โดยวิธีการแปลงเวฟเลทชนิดดอเบชีส์อันเป็นที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณเชิงกล ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งสัญญาณออกเป็น 5 ระดับ โดยในระดับที่แตกต่างกันจะมีช่วงความถี่ที่แตกต่างกัน ซึ่งการแตกหักของเศษโลหะและสัญญาณอื่นๆจะถูกตรวจจับและแยกออกจากสัญญาณแรงตัดพลวัตในชั้นที่แตกต่างกันของการแปลงเวฟเลท จากงานวิจัยนี้พบว่าในระดับชั้นที่ต่ำของการแปลงเวฟเลทสามารถตรวบจับความถี่ของการแตกหักของเศษโลหะได้ และในระดับชั้นที่สูงของการแปลงเวฟเลทสามารถตรวจสอบความถี่ของความขรุขระผิวชิ้นงานได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแปลงเวฟเลทเป็นเครื่องมือวิเคราะห์เชิงเวลา-ความถี่ โดยให้ผลลัพท์ที่ชัดเจนทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ในการตรวจจับสัญญาณแรงพลวัตของการตัดที่ให้เศษโลหะแบบแตกหักและสัญญาณรบกวนในกระบวนการกลึงด้วยเครื่องซีเอ็นซี ดังนั้นการเลือกเวฟเลทระดับชั้นที่เหมาะสมเป็นสิ่งที่สำคัญในการแยกสัญญาณแรงตัดพลวัต ซึ่งสอดคล้องกับสัญญาณความขรุขระผิว หากกำหนดระดับการแปลงเวฟเลทที่เหมาะสมการทำนายค่าความขรุขระผิวชิ้นงานก็จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น

รูปที่ 8 และ 9 แสดงให้เห็นว่าสัญญาณแรงตัดพลวัตและสัญญาณความขรุขระผิวขณะเกิดเศษโลหะแบบแตกหักในโดเมนเวลาโดยการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว โดยมีเงื่อนไขการตัด ดังนี้ ความเร็วตัด 180 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.5 มิลลิเมตร รัศมีจมูกมีด 0.4 มิลลิเมตร และมุมคายเศษโลหะ 11 องศา



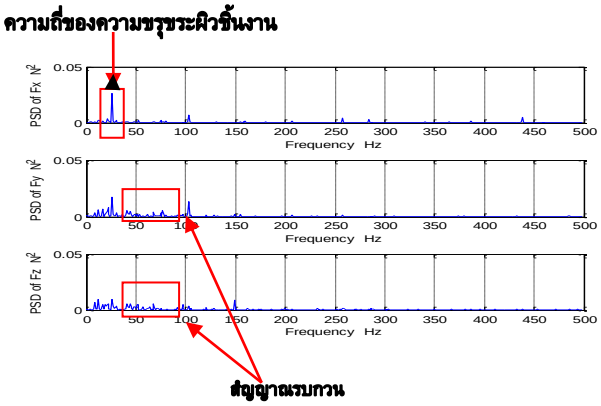
รูปที่ 8 สัญญาณแรงตัดพลวัตในแกน X , Y , Z ในโดเมนเวลา



รูปที่ 9 สัญญาณความขรุขระผิวในโดเมนเวลา

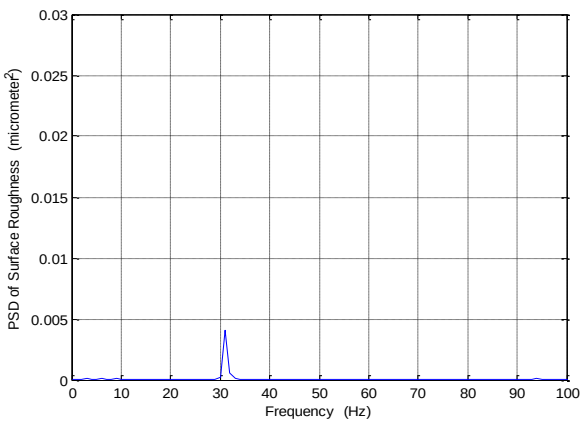
รูปที่ 10 และ 11 สัญญาณแรงตัดพลวัตและสัญญาณความขรุขระผิวขณะเกิดเศษโลหะแบบแตกหักในโดเมนความถี่โดยการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว โดยมีเงื่อนไขการตัด ดังนี้ ความเร็วตัด 180 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.5 มิลลิเมตร รัศมีจมูกมีด 0.4 มิลลิเมตร และมุมคายเศษโลหะ 11 องศา

รูปที่ 10 พบว่าสัญญาณความถี่แรงตัดพลวัตนั้นไม่สามารถทราบค่าความถี่ของความขรุขระผิวชิ้นงานที่แน่นอนได้เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนอื่นปะปนอยู่ ดังนั้นการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วจึงไม่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาค่าสัญญาณความถี่ของแรงตัดพลวัตได้ ในขณะเดียวกัน



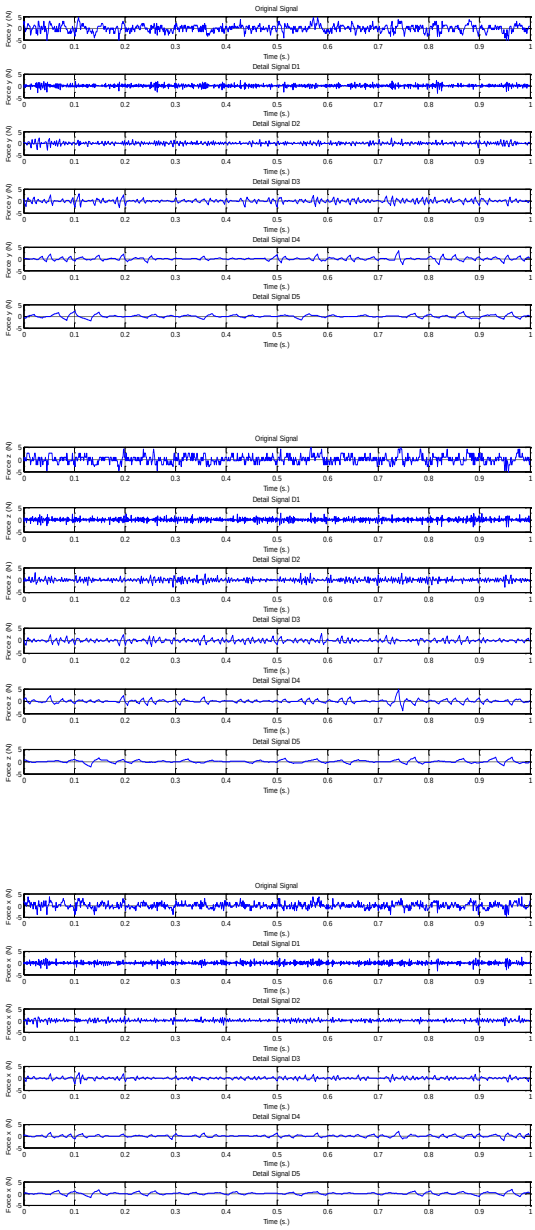
รูปที่ 10 สัญญาณแรงตัดพลวัตในแกน X , Y , Z ในโดเมนความถี่โดยวิธีแปลงฟูเรียร์แบบเร็วซึ่งมีค่าความถี่แรงตัดพลวัตเกิดขึ้นหลายค่าโดยมีแอมพลิจูดสูงสุดเกิดขึ้นที่ 32 Hz

รูปที่ 11 พบว่าสัญญาณความขรุขระผิวชิ้นงานในโดเมนความถี่สามารถทราบค่าที่แน่นอนได้โดยการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วเกิดขึ้นที่ 32 Hz ซึ่งสอดคล้องกับความถี่ความขรุขระผิวชิ้นงานที่เกิดจากแรงตัดพลวัต ดังรูปที่ 8



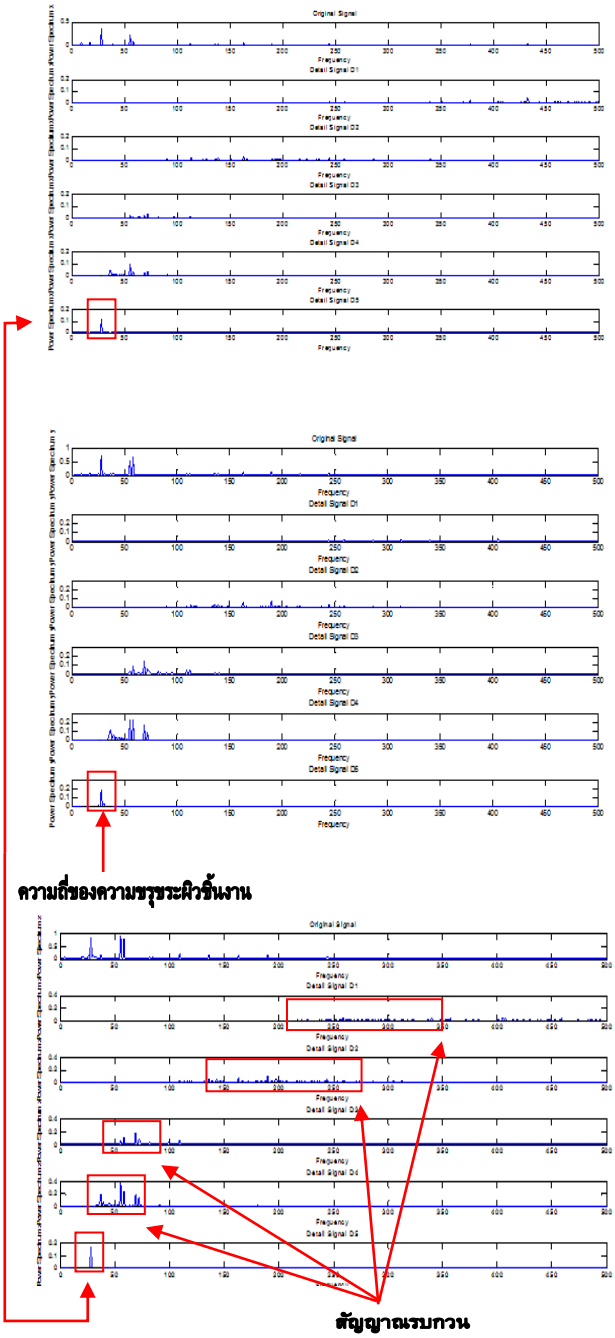
รูปที่ 11 สัญญาณความขรุขระผิวในโดเมนความถี่โดยวิธีแปลงฟูเรียร์แบบเร็วซึ่งมีค่าความถี่ความขรุขระผิวเกิดขึ้นที่ 32 Hz

รูปที่ 12 แสดงการแปลงเวฟเลทของสัญญาณแรงตัดพลวัตที่มีการเกิดเศษโลหะแบบแตกหักในโดเมนเวลา ซึ่งมีเงื่อนไขการตัด ดังนี้ ความเร็วตัด 180 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.5 มิลลิเมตร รัศมีจมูกมีด 0.4 มิลลิเมตร และมุมคายเศษโลหะ 11 องศา จะพบว่าที่ระดับชั้นที่ต่ำจะมีความหนาแน่นของแรงมากกว่าที่ระดับชั้นที่สูง



รูปที่ 12 การแปลงเวฟเลทของแรงตัดพลวัตในแกน X,Y,Z ในโดนเมนเวลา โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ

รูปที่ 13 แสดงการแปลงเวฟเลทของสัญญาณแรงตัดพลวัตที่ทำให้เกิดเศษโลหะแบบแตกหักในโดเมนความถี่ซึ่งมีเงื่อนไขการตัด ดังนี้ ความเร็วตัด 180 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.5 มิลลิเมตร รัศมีจมูกมีด 0.4 มิลลิเมตร และมุมคายเศษโลหะ 11 องศา



รูปที่ 13 การแปลงเวฟเลทของแรงตัดพลวัตในแกน X,Y,Z ในโดนเมนความถี่ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 5 ระดับ

จากงานวิจัยผ่านมาพบว่าความถี่การแตกหักของเศษโลหะจะเกิดขึ้นที่ความถี่สูง(ระดับชั้นที่ต่ำของเวฟเลท) และความถี่ของแรงตัดพลวัตจะเกิดขึ้นที่ความถี่ต่ำ (ระดับชั้นที่สูงของเวฟเลท) [1] จากรูปที่13 พบว่าในระดับที่ 5 ของการแปลงเวฟเลทเกิดค่าความถี่ขึ้นที่ 32 Hz คือค่าความถี่ของความขรุขระผิวชิ้นงานจากแรงตัดพลวัต ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าความถี่ของความขรุขระผิวในรูปที่ 11 ซึ่งมีค่าความถี่ของความขรุขระผิวที่ 32 Hz เช่นเดียวกัน และจากการทดลองพบว่ารูปที่ 13 แสดงให้เห็นว่าการแปลงเวฟเลทของสัญญาณความถี่แรงตัดพลวัตที่เกิดเศษโลหะแบบแตกหักในสัญญาณเริ่มต้น (original signal) นั้น มีสัญญาณความถี่การแตกหักของเศษโลหะปะปนอยู่รวมกัน โดยการแปลงเวฟเลทซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับ สามารถแยกสัญญาณความขรุขระผิวออกจากแรงตัดพลวัตระดับที่ 5 ของเวฟเลทซึ่งมีความสอดคล้องกันกับสัญญาณความถี่ของความขระขรุผิวโดยการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว ในรูปที่ 11 จากผลงานวิจัยนี้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของค่าความขรุขระผิวชิ้นงานได้แม้เงื่อนไขการตัดนั้นจะเกิดการแตกหักของเศษโลหะและยังสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดสมการทำนายค่าความขรุขระผิวชิ้นงานในกระบวนการกลึงตัดบนเครื่องซีเอ็นซีให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้นในอนาคตได้

5. สรุป

จากผลการทดลองในการแยกสัญญาณแรงตัดพลวัตขณะที่เกิดเศษโลหะแบบแตกหักพบว่าการแปลงฟูเรียอย่างเร็ว (Fast Fourier Transform) ไม่สามารถวิเคราะห์หาสัญญาณความถี่ความขรุขระผิวของการตัดที่ให้เศษโลหะแบบแตกหักได้ เนื่องจากมีสัญญาณการแตกหักเศษโลหะและสัญญาณรบกวนอื่นเกิดขึ้นร่วมกับสัญญาณแรงตัดพลวัตของความขรุขระผิวชิ้นงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำการแปลงเวฟเลทแบบดอเบชีส์(Wavelet Transform) มาประยุกต์ใช้ด้วยวิธีการแยกย่อยสัญญาณออกเป็นหลายๆระดับ (Level) โดยสามารถแยกสัญญาณความถี่ของแรงตัดพลวัตของความขรุขระผิวชิ้นงานออกจากสัญญาณความถี่อันเกิดจากการแตกหักของเศษโลหะขณะตัดกลึงได้ที่ระดับ 5

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวความคิดในการแยกสัญญาณรบกวนอื่น เช่น สัญญาณแรงตัดพลวัตจากการแตกหักของเศษโลหะออกจากสัญญาณแรงตัดพลวัตจากความขรุขระผิวชิ้นงาน ซึ่งสามารถนำสัญญาณความขรุขระผิวชิ้นงานที่ได้ไปพัฒนาสมการทำนายความขรุขระผิวชิ้นงานให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น ไม่ว่าเงื่อนไขการตัดจะเปลี่ยนไปอย่างไรก็ตามโดยไม่มีสัญญาณรบกวนอื่นปะปนด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และขอขอบคุณ รศ.ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ ผู้ซึ่งเป็นที่ปรึกษาของงานวิจัยนี้ที่ได้ให้แนวทาง ชี้แนะและ ตรวจทานแก้ไขข้อพร่อง ของงานวิจัยนี้ให้เสร็จสมบูรณ์
ขอขอบคุณบุคคลากรจากศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูงคณะวิศวกรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือ แนะนำวิธีการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร ตลอดการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Somkiat T. (2008) Development of Intelligent Identification of Cutting States by Spectrum Analysis for CNC turning. Journal of Advanced Mechanical Design, System, and Manufacturing 2, 3 : 366-377.

[2] Zhang, J. Z. and Chen, J. C. (2007) The development of an in-process surface roughness adaptive control system in end milling operations. Advance Manufacturing Technology 31877-887.

[3] Somkiat T. (2013) Advanced prediction of surface roughness by monitoring of dynamic cutting force in CNC process, Journal of Applied Mechanics and Materials 239-240 : 661-669.

[4] Kwak, J. (2005) Application of wavelet transform technique to detect tool failure in turning operations. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 28, 11 : 1078-1083.

[5] Xiaoli, L., Dong, S., and Zhejun, Y. (1999) Discrete wavelet transform for tool breakage monitoring. International Journal of Machine Tools & Manufacture 39 : 1935–1944.

[6] Somkiat T. (2011) In-Process Monitoring and prediction of prediction of Surface Roughness in CNC Turning process , Advanced Materials Research , Vol.199-200, 1928-1966.

การศึกษาอิทธิพลการอบอ่อนที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็กกล้า AISI 1045 ด้วยแรงเสียดทาน

Effect of Annealing on the AISI 1045 Steel by Friction Welding

ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง[1] ชวลิต อินปัญโญ[2] ศิริชัย ต่อสกุล[3*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพมหานคร 10120

[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

E-mail: storsakul@yahoo.com[*]

Teerayut Karnchanaseangthong[1] Chawalit Inpunyo[2] Sirichai Torsakul[3*]

[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok 10120

[2,3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Phatumthani, 12110, E-mail: sirichai.to@en.rmutt.ac.th[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ว่าด้วยความสำคัญของการอบอ่อนของเหล็ก AISI 1045 ด้วยการเชื่อมด้วยความเสียดทาน โดยศึกษาอุณหภูมิอบอ่อนที่แตกต่างกันของการเชื่อมเหล็ก AISI 1045 ซึ่งสำคัญสำหรับความเข้าใจคุณภาพของการเชื่อมติดกันระหว่างผิวสองผิว การทดลองเชื่อมกระทำภายใต้อุณหภูมิอบอ่อน เวลาเชื่อม และ ความดันเชื่อมที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองภายใต้เงื่อนไขการเชื่อมที่แตกต่างกันถูกนำมาวิเคราะห์ความแข็งแรงดึง และความแข็งของหน้าตัดแนวเชื่อม ผลการทดลองพบว่าสมบัติเชิงกลของแนวเชื่อมที่อุณหภูมิปกติดีกว่าทุกๆ อุณหภูมิอบอ่อนที่ 790 องศา 870 องศา และ 950 องศา ส่วนความดันมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดึง และความแข็ง ซึ่งเมื่อเพิ่มความดันส่งผลให้ค่าแรงดึงและความแข็งลดน้อยลง สำหรับเวลาในการเชื่อมไม่มีผลต่อค่าแรงดึง เมื่อเพิ่มเวลาในการเชื่อมสูงขึ้นส่งผลให้ได้ค่าแรงดึงไม่แตกต่างกัน

คำหลัก การอบอ่อน การเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน เวลาเชื่อม ความดันเชื่อม

Abstract

This study aims to investigate the effect of an annealing temperature on the mechanical properties of the inertia friction welded part based on materials of AISI 1045. In order to understand this mechanism, the experiment was carried out under different welding condition. An annealing temperature, friction time and friction pressure are the key parameters of this study. Eventually, both properties, tensile strength and hardness, were determined over the longitudinal cross – section of the welded parts. The results revealed that the mechanical properties, in terms of tensile strength and hardness, of the welded at normal temperature are greater than the other ranges of annealing at 790, 870 and 950°C

respectively. In case of the friction pressure, it is an inverse variation of those properties. While the friction pressure was increased, both properties of the weld were decreased. Nevertheless, the friction time did not influence on the properties even if it was increased.

Keywords: Annealing, Friction welding, Friction time, Friction pressure

1. บทนำ

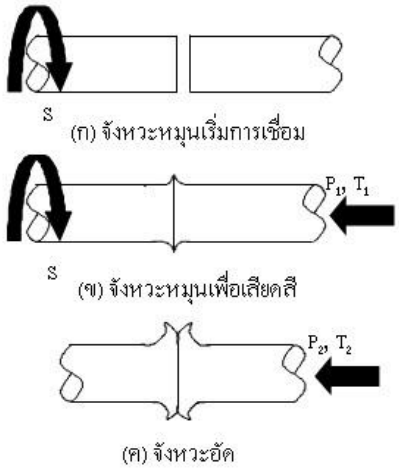
การเชื่อมด้วยแรงเสียดทานเป็นกระบวนการนี้มีเครื่องจักรที่ใช้นั้นได้ออกแบบมาเพื่อแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อน ที่จะใช้ในการเชื่อมให้มีความสัมพันธ์กันระหว่างการหมุนของชิ้นงาน โดยไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าหรือความร้อนจากแหล่งอื่น [1,2] Sahin, A.Z. และคณะ [3] ได้ทำการศึกษากลไกการถ่ายเทความร้อนของกระบวนการเชื่อมด้วยความเสียดทานโดยทำการทดลองเชื่อมวัสดุแท่งทองแดงกลับเหล็กที่สภาวะความเร็ว และเวลาการเชื่อมแตกต่างกัน พบตัวแปรต่างๆ มีอิทธิพลต่อกัน โดยทำ การวิเคราะห์โครงสร้าง ความแข็ง ซึ่งที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิด Heat-affected Zone สูง Sahin, M., [4,5] ได้ทำการศึกษาการเชื่อมด้วยความเสียดทานกับวัสดุเครื่องมือ กับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (AISI 1040) เพื่อศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการเชื่อมวัสดุนี้ โดยเปรียบเทียบจากการทดสอบแรงดึง ความล้า การทดสอบแรงกระแทกและความแข็ง ซึ่งตัวแปรที่สำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงและความล้า คือ เวลาในการเชื่อม และความดัน จักรินทร์ คงสิบ และคณะ [6]ได้ทาการศึกษาลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของเหล็กคาร์บอนปานกลาง AISI1045 ที่ผ่านการอบอ่อน และทาการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน ภายใต้เงื่อนไขการเชื่อม คือ แรงดันในการอัด 20 30 และ40 bar เวลาในการอัด 2 3 และ 4 s อุณหภูมิในการอบอ่อน 790 850 และ 970 °C ความเร็วรอบ 1,800 rpm ทำการทดสอบความแข็ง ทดสอบแรงดึง และองค์ประกอบโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณรอยเชื่อม จากการวิจัยพบว่าที่อุณหภูมิปกติของชิ้นงานหลังจากการเชื่อมชิ้นงานค่าแรงดึงมีค่าสูงกว่าชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการอบอ่อน แต่ค่าความแข็งของรอยเชื่อมชิ้นงานที่อุณหภูมิปกติของรอยเชื่อมจะมีค่าน้อยกว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อน ในส่วนของโครงสร้างจุลภาคพบว่าเกรนของเหล็กที่บริเวณรอยเชื่อมชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนมีเกรนที่ละเอียดมากกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบอ่อน จึงส่งผลทาโครงสร้างมีความแข็งมากกว่า

ในบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการอบอ่อนของเหล็กในการเชื่อมเหล็กกล้า AISI 1045 ด้วยแรงเสียดทาน

2. เครื่องมือและวิธีการศึกษา

2.1 แนวคิดเบื้องต้นของระบบการเชื่อมด้วยความเสียดทาน

ระบบการเชื่อมด้วยความเสียดทานนั้นอาศัยหลักการเปลี่ยนแรงเสียดทานเป็นพลังงานความร้อนในการเชื่อมชิ้นงานให้ติดกัน ในการเชื่อมนั้นทาได้โดยการหมุนชิ้นงานหนึ่งด้วยความเร็ว และแรงบิดค่าหนึ่งดังรูปที่ 1(ก) จากนั้นสร้างแรงดันให้ชิ้นงานนั้นไปสัมผัสและหมุนเสียดสีกับชิ้นงานอีกชิ้นหนึ่งที่หมุนอยู่กับที่แล้วตั้งเวลาในการเสียดทานให้เกิดการเสียดสีกันจนเกิดความร้อนหลอมให้หน้าสัมผัสทั้งสองเข้าสู่สภาวะหนืดดังรูปที่ 1(ข) จึงให้แรงดันอัดภายในเวลาอันรวดเร็วเพื่ออัดชิ้นงานให้ติดกันดังรูปที่ 1(ค) โดยพลังงานความร้อนที่ชิ้นงานทั้งสองได้รับนั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว ได้แก่ แรงบิด ความเร็วรอบระยะเวลาในการให้แรงในแนวแกน ค่าของแรงดันในแนวแกนในแต่ละช่วงของการเชื่อม เป็นต้น[5]



รูปที่ 1 การเชื่อมด้วยการหมุนเสียดทานในแนวระนาบให้แรงดันอัดด้านเดียว [7]

2.2 การออกแบบ / เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องกลึงที่หาได้ในโรงงานอุตสาหกรรม ในการทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องกลึงแนวนอนโดยประยุกต์เอาหลักการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจะมีการนำเอาชุดไฮดรอลิกมาติดตั้งแทนตัวยันศูนย์ท้ายแท่น จะใช้สำหรับออกแรงดันให้ชิ้นงานเกิดการเสียดทาน โดยชิ้นงานที่หนึ่งอยู่ที่หัวจับเครื่องกลึง และชิ้นงานอีกหนึ่งชิ้นอยู่ที่ชุดไฮดรอลิกท้ายแท่นยันศูนย์

รูปที่ 2 เครื่องเชื่อมด้วยความเสียดทาน

2.3 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ชิ้นงานทดสอบเป็นเหล็กกล้า AISI 1045 ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ตัดให้มีความยาว 100 มิลลิเมตร ทำการการอบอ่อนซึ่งมีปริมาณคาร์บอน 0.45 ได้แบ่งอุณหภูมิช่วงในการอบอ่อนเป็น 3 ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบอ่อนคือ 790˚C , 870˚C และ 950˚C

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า AISI 1045

ทดสอบ	ก่อนการอบ	หลังการอบ
Hardness, Brinell	187	170
Hardness, Knoop	209	191
Hardness, Rockwell B	90	86
Hardness, Rockwell C	10.0	-
Hardness, Vickers	196	178
Tensile Strength, Ultimate	655 MPa	585 MPa
Tensile Strength, Yield	585 MPa	505 MPa
Elongation at Break	12.0 %	12.0 %
Reduction of Area	35.0 %	45.0 %
Modulus of Elasticity	200 GPa	205 GPa
Bulk Modulus	140 GPa	140 GPa
Machinability	56 %	65 %
Shear Modulus	80.0 GPa	170

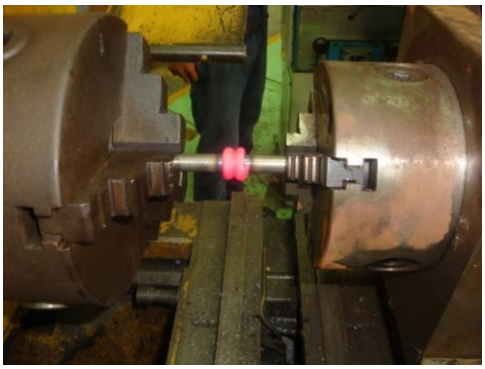
3. วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้กำหนดเงื่อนไขในการทดลองไว้ 6 เงื่อนไข คือ ความเร็วรอบ, แรงดันในการเสียดทาน, เวลาในการเสียดทาน, เวลาในการอัด, แรงดันในการอัด และอุณหภูมิในการอบอ่อน

ตารางที่ 2 ขอบเขตการทดลอง

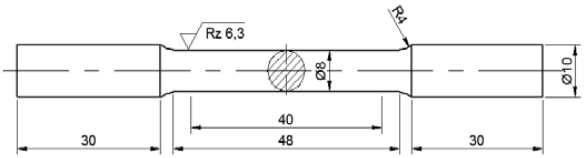
รายการ	ค่าเงื่อนไข
ความเร็วรอบ	1,800 rpm
แรงดันในการเสียดทาน	14 bar
เวลาในการเสียดทาน	4 sec
เวลาในการอัด	2 , 3 และ 4 sec
แรงดันในการอัด	20 , 30 และ 40 bar
อุณหภูมิในการอบอ่อน	790 ˚C , 870 ˚C และ 950 ˚C

จากนั้นนำชิ้นงานที่ตัดได้ความยาว 100 มิลลิเมตร ทำการกลึงผิวหน้าชิ้นงานให้เรียบ จับยึดบนเครื่องเชื่อมด้วยความเสียดทาน และทำการเชื่อมตามเงื่อนไขทีละเงื่อนไข แสดงดังรูปที่ 3



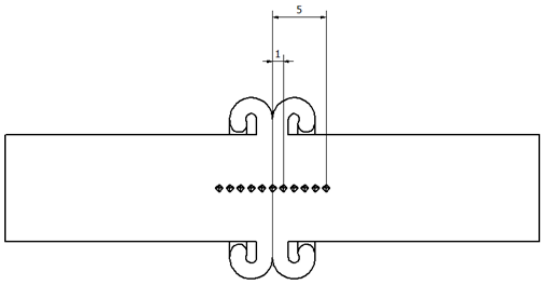
รูปที่ 3 ลักษณะการจับยึดและเชื่อมชิ้นงาน

เมื่อได้ชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนแล้วนำชิ้นงานที่ได้มาขึ้นรูปทำชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน DIN 50125 Type A แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง [8]

และนำชิ้นงานบางส่วนไปเตรียมทำชิ้นทดสอบความแข็งรอยเชื่อมตามตำแหน่งที่กำหนด



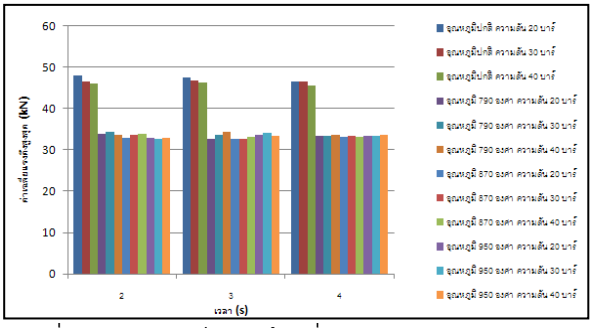
รูปที่ 5 ตำแหน่งการทดสอบความแข็งในแนวตั้ง (Vertical)

4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ได้เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลค่าในการรับแรงดึง ค่าความแข็ง ที่แตกต่างกันไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าแรงดึง

ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดระหว่างความดันและเวลาที่อุณหภูมิปกติ 790˚C 870˚C และ 950˚C ที่ใช้ในการอบอ่อนที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็กกล้า AISI 1045 ด้วยความเสียดทาน สามารถนำเสนอเป็นกราฟได้ดังนี้

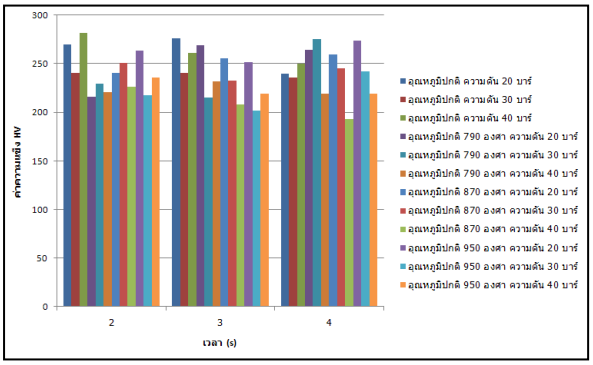


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดระหว่างความดันและเวลาที่อุณหภูมิปกติ 790˚C, 870˚C และ 950˚C ที่ใช้ในการอบอ่อน

จากความสัมพันธ์ค่าแรงดึงเฉลี่ยสูงสุดระหว่างความดันและเวลาที่อุณหภูมิปกติกับการนำชิ้นงานไปอบอ่อนที่อุณหภูมิ 790˚C , 870˚C และ 950˚C แล้วนำไปเชื่อมด้วยความเสียดทาน พบว่าที่สภาวะอุณหภูมิปกติจะทำให้เหล็กทนต่อแรงดึงมากกว่าการนำชิ้นงานไปอบอ่อนที่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบอ่อนที่ต่างกัน เพราะชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนจะทำให้เหล็กอ่อนลงแต่ความเหนียวจะเพิ่มขึ้น และชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิที่ต่างกันเหล็กจะทนต่อค่าแรงดึงได้ไม่ต่างกันเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบอ่อนยังอยู่ในช่วงของอุณหภูมิการอบอ่อนของเหล็กกล้า AISI 1045 ทำให้ค่าแรงดึงที่ได้นั้นไม่แตกต่างกัน

4.2 ผลการวิเคราะห์ความแข็ง

ความสัมพันธ์ของค่าความแข็งระหว่างความดันและเวลาที่อุณหภูมิปกติ 790˚C 870˚C และ 950˚C ที่ใช้ในการอบอ่อนที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็กกล้า AISI 1045 ด้วยความเสียดทานบริเวณแนวเชื่อม สามารถนำเสนอเป็นกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ค่าความแข็งระหว่างความดันและเวลาที่อุณหภูมิปกติ 790˚C , 870˚C และ 950˚C ที่ใช้ในการอบอ่อน

ความสัมพันธ์ค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมระหว่างความดันและเวลาที่อุณหภูมิปกติ 790˚C , 870˚C และ 950˚C ที่ใช้ในการอบอ่อนที่ความดันที่ความดัน 40 บาร์ เวลา 2 วินาที มีค่าความแข็งของรอยเชื่อมมากสุดเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการเชื่อมสูงขึ้นจะทำให้รอยเชื่อมมีค่าลดลงเพราะเหล็กได้รับความร้อนในการเชื่อมมากขึ้นจะทำให้เหล็กมีความแข็งลดลง การนำเหล็กกล้า AISI 1045 ไปทำการอบอ่อนเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติแล้วเชื่อมด้วยความเสียดทานจะมีค่าน้อยกว่าที่อุณหภูมิปกติของเหล็กเพราะคุณสมบัติของการอบอ่อนทำให้เหล็กได้รับความร้อนเกรนมีขนาดเล็กลงทำให้ความแข็งของชิ้นงานที่อบอ่อนลดลง

5. สรุป

การเชื่อมชิ้นงานด้วยความเสียดทานระหว่างอุณหภูมิปกติของชิ้นงานและการนำชิ้นงานไปทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 790 °C , 870 °C และ 950 °C พบว่าที่อุณหภูมิปกติของชิ้นงานหลังจากเชื่อมชิ้นงานค่าแรงดึงจะมีค่าสูงกว่าค่าแรงดึงของชิ้นงานเชื่อมที่ผ่านการอบ

อ่อนที่อุณหภูมิต่างๆกัน แต่ค่าความแข็งของรอยเชื่อมชิ้นงานที่อุณหภูมิปกติบริเวณของรอยเชื่อมจะมีค่าน้อยกว่าบริเวณเนื้อของวัสดุและค่าความแข็งของรอยเชื่อมชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนบริเวณของรอยเชื่อมจะมีค่ามากกว่าบริเวณของเนื้อวัสดุ ซึ่งการเชื่อมชิ้นงานต้องการให้รอยเชื่อมนั้นมีค่าความแข็งมากกว่าเนื้อวัสดุเดิมของชิ้นงาน การนำชิ้นงานไปทดสอบแรงดึงจุดขาดของชิ้นงานที่ไม่ผ่านการอบอ่อนจะขาดบริเวณรอยเชื่อมส่วนชิ้นงานที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 790 °C , 870 °C และ 950 °C จะไม่ขาดบริเวณรอยเชื่อม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มทร.กรุงเทพ งบประมาณประจำปี 2558 และสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

เอกสารอ้างอิง

[1] M. B. Uday*, M. N. Ahmad Fauzi, H. Zuhailawati and A. B. Ismail: “Advances in friction welding process” Science and Technology of Welding and Joining 2010 VOL 15 NO 7 558.

[2] V.I. Vill, Friction Welding of Metals, AWS, New York, 1962.

[3] Sahin,A.Z., Yibas, B.S., Ahmed, M., Nickel, J.,1998, Analysis of the friction welding process inrelation to the welding of copper and steel bars,Journal of Materials Processing Technology 82, pp.127–136.

[4] Sahin, M., 2005, Joining with friction welding of high-speed steel and medium-carbon steel, Journal of Materials Processing Technology 168, pp.202-210.

[5] K.P. Imshennik, N.I. Fomichev, Characteristic of the upset process in the friction welding of highspeed tool steel to structural steel,Weld. Prod. 21 (4) (1974) 57-61.

[6] จักรินทร์ คงสิบ และศิริชัย ต่อสกุล (2555) อิทธิพลของการอบอ่อนที่มีผลต่อการเชื่อมเหล็ก AISI 1045 ด้วยแรงเสียดทาน, การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกาแพงแสนครั้งที่ 9, หน้า 291-297

[7] สรวิชญ์ จันทร์มณีและชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ (2556) อิทธิพลของอัตราป้อนต่อสมบัติเชิงกลของเหล็ก AISI4140 และAISI304 ที่เชื่อมด้วยวิธีเสียดทาน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27 พัทยา จังหวัดชลบุรี

[8] Sahin Mumin. 2547. Simulation of friction welding using a developed computer program Department of Mechanical Engineering, Trakya University.

การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของสารหล่อลื่นโดยการอัดขึ้นรูปเย็นแบบไหลตามของอลูมิเนียม

Finite element simulation of lubrications of aluminum by cold forward extrusion

สันติ เขียววิจิตร[1*] ศิริชัย ต่อสกุล[2]
[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
E-mail: Santi230520@gmail.com

Santi Khiewwijit[1*] Sirichai Torsakul[2]
[1,2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110
E-mail: Santi230520@gmail.com

บทคัดย่อ

กระบวนการอัดขึ้นรูปเย็นแบบไหลตาม เป็นกระบวนการที่สามารถขึ้นรูปวัสดุได้หลายชนิด เช่น อลูมิเนียม,ตะกั่ว, ทองแดงและเหล็ก เป็นต้น นำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในชีวิตประจำวัน ซึ่งแม่พิมพ์ต้องถูกออกแบบ ให้มีความถูกต้องในเชิงวิศวกรรม รวมถึงการหล่อลื่นต่างๆในขณะผลิต เพื่อช่วยลดการใช้พลังงาน ลดการสึกหรอของเครื่องมือ เป็นจัดการต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง ซึ่งในปัจจุบันการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องผลิตชิ้นงานจริง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการจำลองปัญหาโดยวิธีการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์การอัดขึ้นรูปเย็นแบบไหลตาม โดยใช้สารหล่อลื่น กับชิ้นงาน โดยมีจุดประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เทียบกับผลการทดลองจริง เพื่อเป็นแนวทางในการใช้วิธีการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แทนการทดลองชิ้นงานจริง และใช้เป็นแนวทางเลือกสารหล่อลื่นให้เหมาะสม ซึ่งในการดำเนินการศึกษาวิจัย ทำการออกแบบแหวนอัด อัตรา 6:3:2 ของวัสดุ วัสดุ Al1100, Al2011 และ Al6063 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางนอก 15 มม. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7.5 มม. ความหนา 5 มม.ทดสอบสารหล่อลื่นโดยวิธีแหวนอัด ในน้ำมันแร่, น้ำมันมะพร้าว,, น้ำมันถั่วเหลือง และไม่ใช้สารหล่อลื่น นำไปคำนวณค่าตัวแปรความเสียดทาน นำค่าตัวแปรที่ได้ ไปใช้กับแบบจำลองไฟไนเอลิเมนต์เพื่อเปรียบเทียบ ผลการทดลองการอัดขึ้นรูปเย็นชิ้นงานจริง โดยการวัดผลจากแรงสูงสุดที่ใช้อัดขึ้นรูป และศึกษาลักษณะการไหลตัวของวัสดุ ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของความเค้น ผลการวิจัยพบว่า วัสดุที่เหมาะสำหรับการอัดขึ้นรูปคือ อะลูมิเนียม เกรด 1100 มุมดายที่มุมดาย 20 องศา โดยสารหล่อลื่นที่มีความเหมาะสมคือ น้ำมันแร่ จากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า แรงสูงสุดที่ใช้ในการรูปมีความใกล้เคียงกับการทดลองชิ้นงานจริง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้วิธีการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แทนการทดลองชิ้นงานจริง.

คำหลัก: การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ / ตัวแปรความเสียดทาน / สารหล่อลื่น

Abstract

Cold forward extrusion is manufacture process that be able to use many material such as aluminum alloy, lead, copper and steel for produce product in our life which extrusion die has to correctly design in term of engineering and also correctly lubricate on production in order to reduce lose energy ,reduce wear of tools and reduce production cost. In present, finite element methods (FEM) that can aid reduce excellent manufacturing cost due to there are no trial actual experiment. This paper has studied FEM of

cold forward extrusion with lubricant which this paper propose for apply FEM comparison with actual experiment that shown guide line for FEM can simulate problem before do actual parts and aid make decision for select suitable lubricant which this paper has studied by design compression ring ratio 6:3:2 for test which ring material has been aluminum alloy grades 1100, 2011 and 6063 reference International Organization Standard. Specimen was outside diameter 15 mm, inside diameter 7.5 mm and thickness 5 mm. then experiment is tested by pressing the ring with lubricants, mineral oil, coconut oil, soy bean oil and non-lubricant after test that will finding friction factor (m) which one of parameter is used in finite element analyze for comparison result experiment cold forward extrusion and result of actual cold forward extrusion which result point in maximum pressing force and study metal flow, stress in work piece which result that shown the best material for cold forward extrusion was aluminum grad 1100 and die angle was 20 degrees with mineral oil which result FEM shown the maximum pressing force is significant with actual experiment parts that conclusion FEM can use for actual experiment parts.

Keywords: Finite element method / Friction factor / Lubricant

1. บทนำ

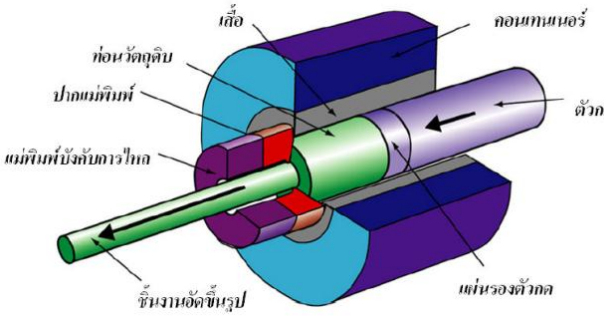
การขึ้นรูปโลหะทางวิศวกรรมแบ่งได้หลายกลุ่มเช่น การขึ้นรูปร้อน (Hot working) และ การขึ้นรูปเย็น (Cold working) โดยมีกระบวนการขึ้นรูปย่อย อีกหลายกระบวนการ งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเย็นแบบไหลตาม เป็นแม่พิมพ์สำหรับผลิต ผลิตภัณฑ์ต่างๆ และส่วนของ แม่พิมพ์ต้องถูกออกแบบและมีการหล่อลื่นชิ้นงานอย่างเหมาะสมซึ่งสารหล่อลื่นธรรมชาติ[6] ช่วยให้ต้นทุนการผลิตใช้ไม่สูงมาก มีจุดคุ้มทุนที่เร็ว ในส่วนของผลิตภัณฑ์ต้องมีคุณภาพ ตามข้อกำหนดของลูกค้าทุกประการ

การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเย็นแบบไหลตาม นั้นผู้ผลิต นั้นต้องอาศัยการลองผิด ลองถูก (Trial and Error) [1] จากประสบการณ์จากผู้ปฏิบัติงานใช้ระยะเวลานานในการทดลอง ซึ่งในปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีการจำลองไฟไนเอลิเมนต์ขึ้นรูปเย็นแบบไหลตาม[5]เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่จำเป็น นั้นเข้ามามีความสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมการผลิต เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ของกระบวนการผลิต พยากรณ์จุดบกพร่องต่างๆ ของชิ้นงาน และแม่พิมพ์ก่อนนำไปผลิตจริง ซึ่งสามารถแก้ไข จุดบกพร่องต่างๆ ให้น้อยที่สุด ก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิต ทั้งสามารถปรับแต่ง พารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความเร็วในการขึ้นรูป,วัสดุชนิดต่างๆ,แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป,ตัวแปรความเสียดทาน,และตัวแปรอื่นๆ ซึ่งช่วยลดต้นทุน และเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการจำลองปัญหาโดยวิธีการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปเย็นแบบไหลตาม โดยใช้สารหล่อลื่นเคลือบผิวชิ้นงาน มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลเฉลยกับผลการทดลองจริง โดยใช้แรงสูงสุดที่ใช้ในการขึ้นรูปในการวัดผล ศึกษาพฤติกรรมการไหลตัวของวัสดุ ศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้น ศึกษาตัวแปรความเสียดทานในสารหล่อลื่นของ น้ำมันแร่[7],น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันถั่วเหลือง และไม่ใช้สารหล่อลื่น ซึ่งจะเป็นแนวทางในการเลือกสารหล่อลื่นให้เหมาะสมกับกระบวนการอัดขึ้นรูปแบบไหลตาม และใช้เลือกวิธีการจำลองไฟไนเอลิเมนต์แทนการทดสอบชิ้นงานจริง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรรมวิธีการอัดขึ้นรูปโลหะ (The Extrusion Process) [1] กรรมวิธีการอัดขึ้นรูป สามารถแบ่งออกได้หลายลักษณะ แสดงดังรูปที่ 1 เป็นการอัดขึ้นรูปแบบไหลตาม (Direct Extrusion) ซึ่งชิ้นงานถูกบรรจุไว้ภายในคอนเทนเนอร์ (Container) ชิ้นงานถูกอัดไหลผ่านปากแม่พิมพ์ด้วยแรงจากปากกระบอกอัด ไฮโดรลิกส์



รูปที่ 1 กรรมวิธีการอัดแบบไหลตาม [1]

2.2 แรงอัดขึ้นรูปโลหะ (Extrusion Force)

แรงที่ต้องการสำหรับการอัดขึ้นรูปขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของชิ้นงาน อัตราการอัดขึ้นรูป ความเสียดทานระหว่างผิวชิ้นงานกับผิวแม่พิมพ์ อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป และความเร็วในการอัดขึ้นรูป สามารถคำนวณได้จากสูตรต่างๆ ดังต่อไปนี้

เกรดการฟอร์มตัว (φ_h)

$$\varphi_h = \ln \frac{A_0}{A} \qquad (1)$$

อัตราการลดของหน้าตัด (λ)

$$\lambda = \frac{A_0}{A_i} \qquad (2)$$

แรงอัดที่ใช้ทั้งหมด หน่วยเป็นนิวตัน (N)

$$F = F_{pr} + F_r \qquad (3)$$

แรงความฝืดในเบ้ารองรับ หน่วยเป็นนิวตัน (N)

$$F_u = \frac{A_0 \times k_f \times \varphi_h}{\eta_F} + (D_0 \times \pi \times \ell \times \mu_w \times k_f) \qquad (4)$$

ความเร็วขึ้นรูป หน่วยเป็นต่อวินาที (s^{-1})

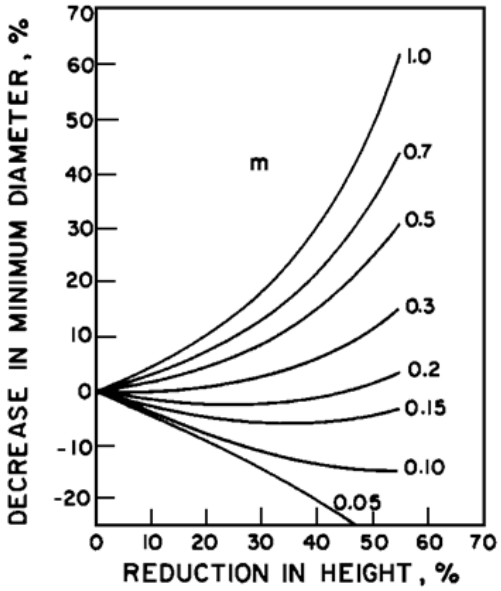
$$\varphi \cong \frac{2 \times V_{st}}{D_1} \qquad (5)$$

การคำนวณค่าที่จะนำไปพลอตในFriction factor calibration curve จะคำนวณหาได้จากสูตรต่างๆ ดังต่อไปนี้ [3]

Reduction inner diameter = (∇Di/Di) x100 (6)

Reduction Height = (∇H/H) x100 (7)

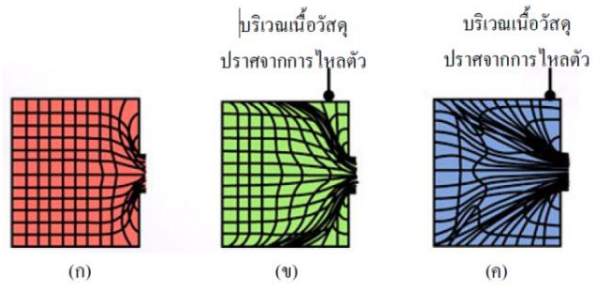
2.3 การหาค่าตัวแปรความเสียดทานในสารหล่อลื่น



รูปที่ 2 Friction factor calibration curve[1]

2.4 การไหลตัวของโลหะในการอัดขึ้นรูปโลหะ (Metal Flow in Extrusion)

การไหลตัวของเนื้อโลหะภายในการอัดขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อคุณภาพชิ้นงานและคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานลักษณะของเกรนชิ้นงานมีลักษณะยืดตายตัวตามยาวของทิศทางการรีด การศึกษาการไหลตัวของโลหะภายในการอัดขึ้นรูป โดยการผ่าครึ่งดูการไหลตัวของเนื้อ โลหะดังแสดงรูปที่ 3 เป็นการอัดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์สี่เหลี่ยมลักษณะที่เกิดขึ้น คือ บริเวณที่ชิ้นงานไม่เกิดการไหลตัวเรียกว่า Dead-Metal Zone แสดงดังภาพที่ 3 (ข) และ (ค) [2]



รูปที่ 3 ลักษณะการไหลตัวของเนื้อวัสดุ [1]

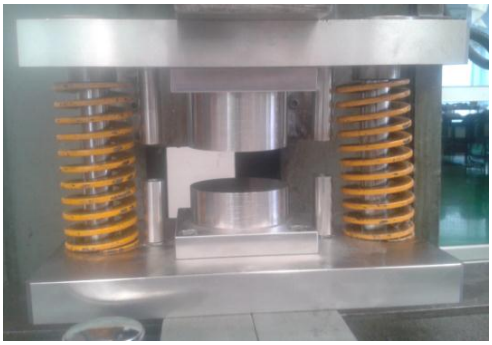
3. อปุกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1**อปุกรณ์การทดลอง**

- เครื่องปั๊มโลหะขนาด 80 ตัน
- ชิ้นงานทดสอบวัสดุ Al1100, Al2011, Al6063

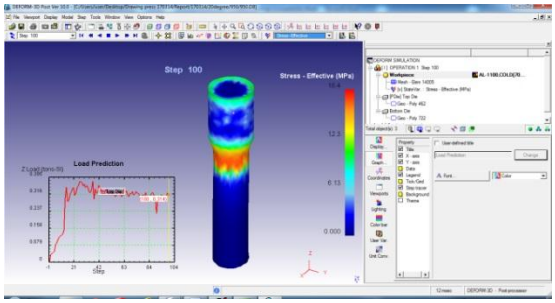
- สารหล่อลื่น น้ำมันแร่ [7], น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันมะพร้าว

- แม่พิมพ์ทดสอบแหวนอัด [8]



รูปที่ 4แม่พิมพ์ทดสอบแหวนอัด

- โปรแกรม Deform 3D V10.0



รูปที่ 5แสดงผลการวิเคราะห์โปรแกรม Deform 3D V10.0

3.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองนั้นแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. การดำเนินงาน เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉือน ดังแสดงตัวอย่างรูปที่ 6 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

รูปที่ 6 ชิ้นงานแหวนอัด

1.1) แบ่งชิ้นงานแหวนอัดเป็น 4 กลุ่ม โดย กลุ่มที่ 1 ใช้ชิ้นงานกลุ่มละ 5 ชิ้น โดยไม่ใช้สารหล่อลื่น ในวัสดุ Al 1100, Al2011, Al6063 วางบนดาย กดด้วยเครื่องไฮโดรลิกเพรส จนถึงตำแหน่งความสูงลดลงที่ 20%, 30%, 40%, 50% กดอัดจนชิ้นงานในกลุ่มที่ 1 ครบทุกชิ้น

1.2) กลุ่มที่ 2 ใช้ชิ้นงานกลุ่มละ 5 ชิ้น โดยสารหล่อลื่นน้ำมันแร่ เคลือบในวัสดุ Al 1100, Al2011, Al6063 วางบนดาย กดด้วยเครื่องไฮโดรลิกเพรส จนถึงตำแหน่งความสูงลดลงที่ 20%, 30%, 40%, 50% กดอัดจนชิ้นงานในกลุ่มที่ 2 ครบทุกชิ้น

1.3) กลุ่มที่ 3 ใช้ชิ้นงานกลุ่มละ 5 ชิ้น โดยสารหล่อลื่นน้ำมันมะพร้าว เคลือบในวัสดุ Al 1100, Al2011, Al6063 วางบนดาย กดด้วยเครื่องไฮโดรลิกเพรส จนถึงตำแหน่งความสูงลดลงที่ 20%, 30%, 40%, 50% กดอัดจนชิ้นงานในกลุ่มที่ 3 ครบทุกชิ้น

1.4) กลุ่มที่ 4 ใช้ชิ้นงานกลุ่มละ 5 ชิ้น โดยสารหล่อลื่นน้ำมันถั่วเหลืองเคลือบในวัสดุ Al 1100, Al2011, Al6063 วางบนดาย กดด้วยเครื่องไฮโดรลิกเพรส จนถึงตำแหน่งความสูงลดลงที่ 20%, 30%, 40%, 50% กดอัดจนชิ้นงานในกลุ่มที่ 4 ครบทุกชิ้น

1.5) หลังจากทดสอบครบนำชิ้นงานแหวนอัดแต่ละกลุ่มไปวัดความสูงที่ลดลงโดยไมโครมิเตอร์แล้วบันทึกค่า

1.6) นำชิ้นงานแหวนอัดแต่ละกลุ่มไปวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายในที่ลดลงแล้วบันทึกค่า จนครบทุกกลุ่ม

1.7) คำนวณ หาเปอร์เซนต์ของความสูงที่ลดลง และเปอร์เซนต์ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่ลดลงนำไปพลอต ลงใน Friction Factor calibration curve.ผลการคำนวณแสดงใน ตารางดังนี้

ตารางที่1 ค่า friction factor หลังจากการพลอตใน friction factor calibration curve.

Material	Lubricant	Friction factor (m)
Al1100	No Lubricant	0.27
	Sun's oil	0.09
	Coconut oil	0.16
	Soy bean oil	0.21
Al2011	No Lubricant	0.29
	Sun's oil	0.13
	Coconut oil	0.18
	Soy bean oil	0.25
Al6063	No Lubricant	0.38
	Sun's oil	0.17
	Coconut oil	0.21
	Soy bean oil	0.27

2. การทำการจำลองวิธีการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์การอัดขึ้นรูปเย็นแบบไหลตามมีการออกแบบมุมดาย 3 มุม [2] โดยนำค่าตัวแปรความเสียดทานมาใส่ ในส่วนพารามิเตอร์ของโปรแกรม deform 3D V10.0

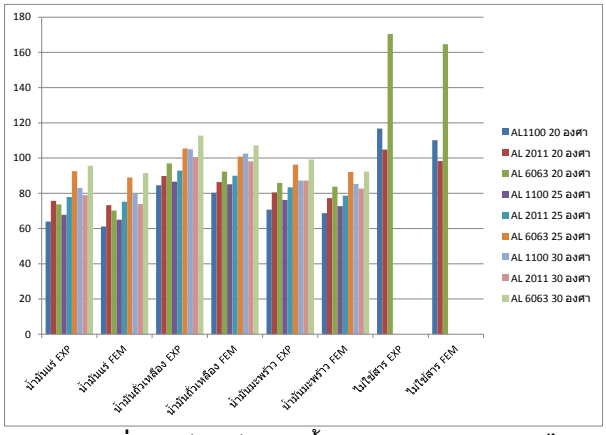
3. เปรียบเทียบงานวิจัย การศึกษาและการพัฒนากระบวนการอัดขึ้นรูปเย็นแบบไหลตามของวัสดุอะลูมิเนียมในประเทศไทย [4] กับจำลองวิธีการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์การอัดขึ้นรูปเย็นแบบไหลตาม

4. ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 ผลการทดลอง

4.1 การเปรียบเทียบแรงในการอัดขึ้นรูป

ผลการเปรียบเทียบแรงขึ้นรูปจริงกับการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ในการใช้มุมดาย 20º, 25º และ 30º [9] ของอลูมิเนียม AL1100, AL2011, AL6063 ดังแสดงรูปที่ 7

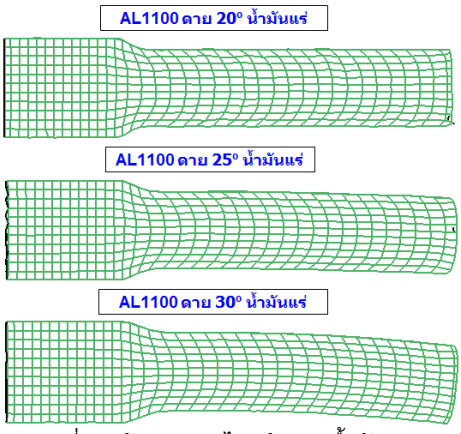


รูปที่ 7 เปรียบเทียบแรงขึ้นรูปจริงกับการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ในการใช้สารหล่อลื่น 3 ชนิด

จากรูปที่ 7 เป็นกราฟเปรียบเทียบแรงขึ้นรูปจริงกับการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ความลึกในการขึ้นรูป 34 มม. ของอลูมิเนียมใช้สารหล่อลื่น น้ำมันแร่,น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันถั่วเหลือง และไม่ใช้สารหล่อลื่น พบว่าแรงที่ใช้อัดขึ้นรูปที่ใช้ วัสดุอลูมิเนียม AL6063 มุมดาย 20 องศา ไม่ใช้สารหล่อลื่น มีระดับแรงอัดขึ้นรูปสูงสุด164.67 kN แรงที่ใช้อัดขึ้นรูปน้อยที่สุด พบว่า วัสดุอลูมิเนียม AL1100 มุมดาย 20 องศาใช้สารหล่อลื่นน้ำมันแร่ ใช้แรงอัดขึ้นรูป 61.14 kN

การไหลตัวของวัสดุ

การไหลตัวของเนื้อโลหะภายในของชิ้นงานจากการอัดขึ้นรูปแบบไหลตาม มีอิทธิพลต่อคุณภาพและสมบัติทางกลของชิ้นงาน โดยสามารถยกตัวอย่างได้ดังรูปที่ 8

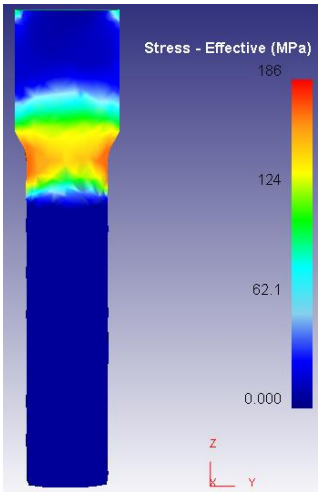


รูปที่ 8 ลักษณะการไหลตัวของเนื้อวัสดุจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่มุมดาย 20º, 25º และ 30º ของอลูมิเนียม

จากภาพที่8 แสดงการจำลองการไหลตัวของวัสดุด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ของอลูมิเนียม AL1100 ใช้สารหล่อลื่นน้ำมันแร่ พบว่า อิลิเมนต์ที่ มุมดาย 20 องศา อิลิเมนต์ถูกรีดมีความยาว เพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าไม่สมมาตรกัน อิลิเมนต์ที่ มุมดาย 25 องศา อิลิเมนต์ ถูกรีดมีความยาว เพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าไม่สมมาตรกัน และชิ้นงานที่ผ่านการอัดเอียงมาด้านขวา 0.53 มิลลิเมตร อิลิเมนต์ที่ มุมดาย 30 องศา อิลิเมนต์ ถูกรีดมีความยาว เพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 เท่า เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าไม่สมมาตรกัน และชิ้นงานที่ผ่านการอัดเอียงมาด้านขวา 0.84 มิลลิเมตร

ลักษณะการกระจายตัวของความเค้น

ลักษณะการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นกับวัสดุใน การอัดขึ้นรูปแบบไหลตามด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ลักษณะความเค้นที่เกิดขึ้นตามขนาดของมุมดายได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ลักษณะการกระจายตัวของความเค้นจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ในการใช้สารหล่อลื่นน้ำมันแร่ ที่มุมดาย 20 องศาของอลูมิเนียม AL 1100

จากรูปที่ 9 แสดงความเค้นของอลูมิเนียม AL 1100 ใช้สารหล่อลื่น น้ำมันแร่ จากการศึกษาพบว่า การกระจายตัวของความเค้นสูงสุด 186 MPa ที่ผิวนอกของชิ้นงาน เนื่องจาก ระหว่างการอัดขึ้นรูปผิวของชิ้นงานสัมผัสโดยตรงกับแม่พิมพ์ ทำให้บริเวณนี้มีความเค้นมาก ถัดมาความเค้นเกิดขึ้นภายในแกนกลางของชิ้นงาน มีค่าระหว่าง 130 Mpa ถึง 175 Mpa.

5. สรุป

การอัดขึ้นรูปของอลูมิเนียมพบว่า ชนิดของอลูมิเนียม ชนิดของสารหล่อลื่นและมุมดาย มีผลต่อแรงอัดขึ้นรูป แรงอัดขึ้นรูปน้อยที่สุด คือ อลูมิเนียมเกรด 1100 สารหล่อลื่นที่ลดความเสียดทานที่ดีที่สุด คือ น้ำมันแร่ และมุมดายที่ให้วัสดุไหลตัวที่ดีที่สุด คือ มุมดาย 20 องศา จากผลการทดลองจริงกับการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ แตกต่างกัน 4.5% สามารถสรุปได้ว่า การจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ให้ผลที่ใกล้เคียงการทดลองชิ้นงานจริงสามารถนำมาใช้ได้ และ วัสดุที่เหมาะสำหรับการอัดขึ้นรูปชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 มม. ยาว 52 มม.คือ อลูมิเนียมเกรด 1100 มุมดาย 20 องศา และสารหล่อลื่นน้ำมันแร่

การไหลตัวของ อลูมิเนียมเกรด 1100 มุมดาย 20 องศา หล่อลื่นโดยน้ำมันแร่ พบว่าอิลิเมนต์ถูกรีดยาวขึ้น การไหลตัวของเนื้อวัสดุ ผ่านดายที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์เล็ก ชิ้นงานมีความถูกต้องของขนาด เนื่องจากวัสดุมีความแข็งต่ำที่สุด ส่งผลให้การไหลตัวของวัสดุง่าย

การกระจายตัวของความเค้นในการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่ามุมดายองศาเพิ่มขึ้นนั้น ต้องใช้แรงอัดขึ้นรูปมาก เพื่ออัดให้โลหะไหลตัว ผ่านบริเวณที่เส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่มาเล็กทำให้เกิดความเค้นตกค้างในบริเวณนี้มาก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ภาควิชาวิศวกรรมอุสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] ศิริชัย ต่อสกุล และอนุชา วัฒนาภา, พื้นฐานเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ.กรุงเทพฯ:วี.พริ้นท์ (1991) จำกัด, 2554

[2] Kurt Lange, Handbook of metal forming. McGrew-Hill The United State of America, McGraw-Hill, 1985. Pp.13.1-13.27

[3] Vesna MANDI, FRICTION STUDIES UTILIZING THE RING – COMPRESSIONTEST - PART II, 8th International Tribology Conference, 8. - 10. *October 2003. Belgrade, Serbia*1

[4] วิสุทธิ์ ยี่โถ.2555. “การศึกษาและพัฒนากระบวนการอัดขึ้นรูปเย็นแบบไหลตามของวัสดุอะลูมิเนียมในประเทศไทย” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[5] Dyi-Cheng Chen*, Sheng-Kai Syu, Cing-Hong Wu, Sin-Kai Lin, Investigation into cold extrusion of aluminum billets using three-dimensional finite element method, Journal of Materials Processing Technology 192–193 (2007) 188–193

[6] S. Syahrullail n, B.M.Zubil, C.S.N.Azwadi, M.J.M.Ridzuan, Experimentalevaluationofpalmoilaslubricantincoldforw ardExtrusion process, International JournalofMechanicalSciences53 (2011)549–555

[7] Celio Caminaga *, Rafael Lopis da Silva Issii, S´ergio Tonini Button, Alternative lubrication and

lubricants for the cold extrusion of steel parts ,Journal of Materials Processing Technology 179 (2006) 87–91

[8] Rijesh M, James Valder, and A O Surendranathan, Determination of friction factor by ringcompression test for Al-5Zn-1Mg using Graphite and MoS2 lubricants,TIJSAT

[9] B.P.P.A. Gouveiaa, J.M.C. Rodriguesa, N. Bayb, P.A.F. Martinsa,*, Finite-element modeling of cold forward extrusion, Journal of Materials Processing Technology 94 (1999) 85±93

การศึกษาทางเลือกในการผลิตอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรจราจรบนพื้นถนน

Alternative Education in Manufacturing Helped Device for Marking The Arrow Traffic Symbol on The Road

ปรีชา ช่างย้อม
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิสวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300 E-mail: changchana@hotmail.com

Preecha Changyom
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang, Chiangmai, 50300, E-mail: changchana@hotmail.com

บทคัดย่อ
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาทางเลือกในการผลิตอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรจราจรบนพื้นถนน โดยการศึกษาชนิดและมาตรฐานของลูกศร การศึกษาวิธีการทำสัญลักษณ์ลูกศรบนพื้นถนน การเลือกวิธีการปรับลดขั้นตอนและเวลาการผลิตตามหลัก ECRS การออกแบบและผลิตหุ่นจำลองอุปกรณ์ช่วยทำลูกศร จำนวน 2 แบบ คือ แบบปรับขนาดของช่องเทสี และแบบไม่ปรับขนาดของช่องเทสี จากนั้นให้นักศึกษาจำนวน 30 คน ทดลองใช้หุ่นจำลองทั้งสองแบบและตอบแบบสอบถาม ผลการศึกษาพบว่า อุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรจราจรบนพื้นถนน น่าจะเป็นแบบไม่ปรับขนาดของช่องเทสี โดยมีนักศึกษาจำนวน 80% เลือกหุ่นจำลองนี้ เนื่องจากติดตั้งง่ายและใช้งานง่าย
คำหลัก การพิจารณาทางเลือก, การผลิต, ลูกศรจราจร

Abstract
This research aims to consider alternative ways in manufacturing helped device for marking arrow traffic symbol on the road. By studying type and standard of the arrow traffic symbol in Thailand, after that studied the process of marking arrow traffic symbol on the road. Then, selected the method of reducing the process and time with the ECRS principle. The next designed and produced 2 models of the arrow head mold were the scaling of the color slot and do not adjust the size of the color slot. Then the 30 students were trying to use it and respondents. The results showed that the reasonable device was the device which not adjust the size of the color slot. By the students, 80% choose this model because it's easy for installing and using.
Keywords: consider alternative, manufacturing, arrow traffic symbol

1. บทนำ

อุปกรณ์ควบคุมการจราจร ได้แก่ ป้ายจราจร สัญญาณไฟจราจร และเครื่องหมายจราจร เป็นส่วนหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุบัติเหตุการจราจรทางบก [1] ซึ่งการก่อสร้าง และการบำรุงรักษาอุปกรณ์ควบคุมการจราจร เพื่ออำนวยความสะดวกและความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้ถนนเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องหมายจราจรบนพื้นถนนหรือพื้นทาง เช่น เส้นแบ่งทิศทางจราจร เส้นแบ่งช่องจราจร เส้นขอบทาง เส้นทางข้าม และสัญลักษณ์ลูกศร เป็นต้น [1-4]

ส่งผลให้ขณะก่อสร้างหรือบำรุงรักษาเครื่องหมายจราจรดังกล่าว จำเป็นต้องปิดช่องทางจราจร หากใช้เวลานานเกินไปจะส่งผลให้การสัญจรไม่สะดวกหรือรถติด ซึ่งเครื่องหมายเส้นต่างๆ จะมีเครื่องตีเส้นถนนชนิดสีเทอร์โมพลาสติกที่มีขนาดปากไถ 10 15 20 และ 40 เซนติเมตร [4] ขึ้นอยู่กับมาตรฐานของเส้นและขนาดความกว้างของถนน ส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการตีเส้นเหล่านั้นจะขึ้นอยู่กับความชำนาญและความเชี่ยวชาญของผู้ปฏิบัติงาน แต่การทำเครื่องหมายลูกศรจะใช้เวลานานมากและมักจะเป็นสาเหตุให้ต้องมีการปิดช่องทางจราจรเป็นเวลานาน โดยการทำเครื่องหมายลูกศรจะอาศัยเครื่องตีเส้นถนนในการทำทั้งส่วนของลำตัวและหัวลูกศร หากสามารถลดเวลาหรือขั้นตอนในการทำเครื่องหมายลูกศรบนพื้นถนนลงได้น่าจะส่งผลให้ลดเวลาในการปิดช่องทางการจราจรหรืออุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นในช่วงเวลาปิดช่องทางการจราจรได้ ผู้วิจัยจึงศึกษาวิธีการทำลูกศร หาวิธีลดขั้นตอนออกแบบและผลิตหุ่นจำลองอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศร รวมถึงเลือกแนวทางในการผลิตอุปกรณ์จริงต่อไปเพื่อช่วยลดปัญหาการจราจรดังกล่าว

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 5 กระบวนการใหญ่ๆ ได้แก่ *1)* การศึกษาชนิดและมาตรฐานของลูกศร *2)* การศึกษาวิธีการทำสัญลักษณ์ลูกศรบนพื้นถนน *3)* การเลือกวิธีการปรับลดขั้นตอนและเวลาการผลิตตามหลัก ECRS *4)* การออกแบบและผลิตหุ่นจำลองอุปกรณ์ช่วยทำลูกศร และ *5)* การเลือกแนวทางการผลิตอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศร

2.1 การศึกษาชนิดและมาตรฐานของลูกศร

กระบวนการนี้เป็นการศึกษาชนิดและมาตรฐานของสัญลักษณ์หรือเครื่องหมายลูกศรจราจรบนพื้นถนนหรือพื้นทาง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการหาวิธีการลดขั้นตอนและเวลาในการผลิต รวมถึงใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและผลิตอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศร

2.2 การศึกษาวิธีการทำสัญลักษณ์ลูกศรบนพื้นถนน

กระบวนการนี้จะศึกษาถึงเครื่องมือที่ใช้ทำเครื่องหมายลูกศร วิธีการทำเครื่องหมายลูกศรจราจรบนพื้นถนนในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ และสื่ออินเตอร์เน็ต

2.3 การปรับลดขั้นตอนและเวลา ตามหลัก ECRS

เมื่อทราบถึงขนาดมาตรฐานของเครื่องหมายลูกศรบนพื้นถนน ขนาดลูกศรโดยทั่วไปในแต่ละท้องที่ และวิธีการทำสัญลักษณ์ลูกศรแล้ว เลือกวิธีการลดเวลาในการทำสัญลักษณ์ลูกศร ด้วยวิธีการลดขั้นตอน รวมขั้นตอน สลับขั้นตอน และทำให้ง่ายขึ้น

2.4 การออกแบบและผลิตหุ่นจำลองอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศร

เมื่อได้วิธีการลดเวลาในการผลิตแล้ว ทำการออกแบบและผลิตหุ่นจำลองอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศร จากนั้นทดสอบการทำงาน

2.5 การเลือกแนวทางในการผลิตอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรบนพื้นถนน

จากหุ่นจำลองที่ได้ ให้กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งานแล้วตอบแบบสอบถาม จากนั้นประเมินทางเลือกว่าอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรแบบใดน่าจะนำไปใช้เป็นแนวทางในการผลิตเพื่อใช้งานจริงต่อไป

3. ผลการศึกษา

จากการศึกษาถึงชนิด มาตรฐาน และวิธีการทำสัญลักษณ์ลูกศรบนพื้นถนน รวมถึงการปรับลดขั้นตอนการออกแบบและการผลิตอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรตลอดจนการเลือกแนวทางในการผลิตอุปกรณ์ดังกล่าว ได้ผลการศึกษาในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

3.1 ชนิดและมาตรฐานของลูกศร

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) ได้จัดทำเอกสารมาตรฐานความปลอดภัยจราจรและขนส่ง เพื่อเป็นคู่มือสำหรับหน่วยงานที่รับผิดชอบและดูแลถนนและทางหลวง นำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการและควบคุมการจราจรบริเวณต่างๆ ให้เป็นแบบอย่างเดียวกันทั่วประเทศ [1] เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพในระบบการจราจรบนท้องถนนได้เป็นอย่างดี ซึ่งพบว่าเครื่องหมายลูกศรจราจรบนพื้นทางหรือพื้นถนนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ ลำตัว (หาง) ตรง มีความยาวรวม 5 เมตร และลำตัวลาดเอียงลดลงจากใหญ่ไปเล็ก มีความยาวรวม 4 เมตร โดยแต่ละกลุ่มจะมี 5 ชนิดเท่าๆ กัน คือ ให้รถตรงไป เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา ตรงไปหรือเลี้ยวซ้าย และตรงไปหรือเลี้ยวขวา [1-3] ดังรูปที่ 1 (สำหรับเครื่องหมายลูกศรให้รถเลี้ยว

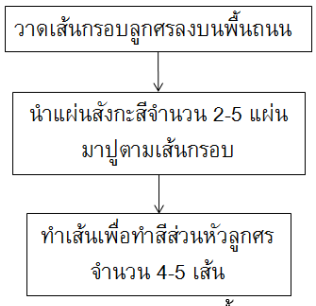
กลับ ไม่มีมาตรฐาน ตามเอกสารอ้างอิงหมายเลข 1 หน้า 38-40)

รูปที่ 1 มาตรฐานเครื่องหมายลูกศรบนผิวทาง (พบ.16)

3.2 วิธีการทำสัญลักษณ์ลูกศรบนพื้นถนน

เครื่องจักรที่ใช้ทำเส้นและลูกศรแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ ได้แก่ แบบธรรมดา (รถเข็น) และแบบขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ ส่วนสีที่ใช้จะเป็นสีเทอร์โมพลาสติก ซึ่งมีระยะเวลาในการแข็งตัวที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เท่ากับ 3 นาที [3-4] โดยเครื่องที่ใช้ทำสัญลักษณ์ลูกศรนิยมใช้แบบธรรมดา ที่มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ เครื่องต้มสี และปากไถ

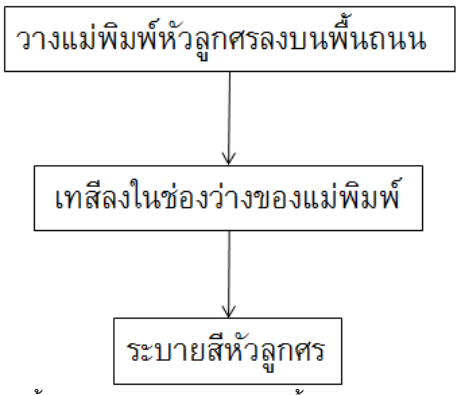
จากการศึกษาวิธีการทำสัญลักษณ์ลูกศรจราจรบนพื้นถนนบริเวณสี่แยกหลักๆ ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ลูกศรบริเวณแยกต่างๆ มีทั้งเหมือนกันและแตกต่างกัน แต่มีส่วนน้อยที่มีรูปร่างและขนาดไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่ สนข. กำหนด ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาวิธีการทำลูกศร “กลุ่มลำตัวตรง ชนิดให้รถตรงไป” เท่านั้น เนื่องจากวิธีการทำลูกศรกลุ่มนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับลูกศรชนิดอื่นๆ ได้ง่ายและลงทุนน้อย พบว่า ส่วนใหญ่มีวิธีการทำลูกศรชนิดนี้ใกล้เคียงกัน คือ เริ่มต้นจากการวาดเส้นกรอบลูกศรลงบนพื้นถนน จากนั้นนำแผ่นสังกะสีจำนวน 2-5 แผ่น (ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน) มาปูตามเส้นกรอบดังกล่าว แล้วตีเส้นบริเวณลำตัวจำนวน 1-2 เส้น และส่วนหัวจำนวน 4-5 เส้น จะได้ลูกศรหนึ่งรูปโดยใช้เวลาประมาณ 20-45 นาที โดยสรุปวิธีการทำลูกศรจราจรดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำลูกศรจราจรบนพื้นทาง (เฉพาะส่วนหัว)

3.3 การปรับลดขั้นตอนและเวลา ตามหลัก ECRS

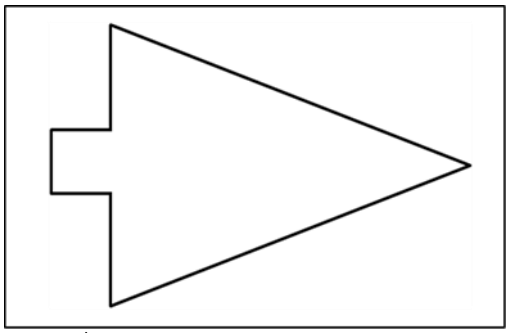
จากขนาดมาตรฐานของเครื่องหมายลูกศรบนพื้นถนนแบบลำตัวตรง ชนิดให้รถตรงไป ตรงไปหรือเลี้ยวซ้าย และตรงไปหรือเลี้ยวขวา จะมีความกว้างของลำตัวเท่ากับ 15 เซนติเมตร สามารถใช้ปากไถขนาด 15 เซนติเมตร ตีเส้นตามความยาวมาตรฐานได้เลยทันที แต่มีความยากในการทำส่วนหัวเท่านั้น ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นการทำลูกศรเฉพาะส่วนหัวเป็นหลัก เนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้เวลาในการทำนานและจำเป็นต้องปิดช่องทางการจราจรเป็นเวลานานนั่นเอง โดยลูกศรชนิดให้รถตรงไปจะมีขนาดส่วนหัวกว้างสุด 75 เซนติเมตร ความยาวรวม 205 เซนติเมตร จากนั้นอาศัยหลักการ ECRS ของการเพิ่มผลิตภาพการผลิต เพื่อปรับลดขั้นตอนและเวลาการผลิต [5-6] อันประกอบด้วย E (Eliminate) เป็นการขจัดขั้นตอนหรือวิธีการที่ไม่เป็นประโยชน์ออกให้หมด C (Combine) เป็นการรวมขั้นตอนต่างๆ หรือทำพร้อมกันเป็นขั้นตอนเดียวกัน R (Rearrange) เป็นการสลับขั้นตอนการทำงานใหม่ตามลำดับก่อน-หลัง ที่ถูกต้องเพื่อให้ทำงานได้สะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น และ S (Simplified) เป็นการปรับปรุงขั้นตอนหรือวิธีการทำงานต่างๆ ให้ง่ายและสะดวกขึ้น จะได้ผลการปรับปรุงดังนี้ คือ ขจัดขั้นตอนการวาดเส้นกรอบลูกศรลงบนพื้นถนน (E) และรวมขั้นตอนการวาดเส้นกรอบดังกล่าวกับการปูแผ่นสังกะสีรอบรูปลูกศร (C) โดยวิธีการผลิตแม่พิมพ์ลูกศรด้วยแผ่นเหล็กหรือแผ่นสังกะสี จากนั้นผลิตอุปกรณ์ช่วยระบายสีหัวลูกศรภายในแม่พิมพ์ลูกศรนั้นให้ใช้เวลาในการทำลูกศรโดยรวมลดลง (S) โดยสรุปกระบวนการทำลูกศรจราจรหลังจากปรับลดขั้นตอนตามหลัก ECRS ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำลูกศรจราจรบนพื้นทางหลังการปรับปรุง

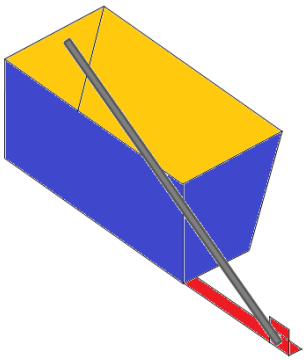
3.4 การออกแบบและผลิตหุ่นจำลองอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศร

จากกระบวนการปรับลดขั้นตอนและเวลา ตามหลักการ ECRS พบว่า ควรผลิตแม่พิมพ์ ให้มีรูปร่างและขนาดของหัวลูกศรตามมาตรฐานที่ต้องการ สำหรับส่วนลำตัวนั้นทำให้มีความยาวเพียงเล็กน้อย เพื่อใช้เป็นแนวอ้างอิงการร่วมศูนย์ของลำตัวและหัวลูกศรเท่านั้น โดยวาดเส้นและตัดเจาะแผ่นเหล็กหรือแผ่นสังกะสีให้เป็นแม่พิมพ์ลูกศร เพื่อใช้ปูบนพื้นถนนในครั้งเดียว ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกทำหุ่นจำลองแม่พิมพ์ลูกศรในมาตราส่วน 1:10 เพื่อให้สะดวกต่อการศึกษาและต้นทุนการผลิตที่มี จากการศึกษาพบว่า การใช้แม่พิมพ์ลูกศร ดังรูปที่ 4 สามารถลดเวลาในการเตรียมเส้นกรอบลูกศรบนพื้นถนนได้เท่านั้น โดยจะวางลำตัวของลูกศรบนแผ่นแม่พิมพ์ให้ทับเส้นลำตัวลูกศรบนพื้นถนนที่เตรียมไว้ แต่จะสังเกตเห็นว่าเฉพาะแม่พิมพ์ไม่สามารถช่วยลดเวลาในการทำสีหรือระบายสีหัวลูกศรได้

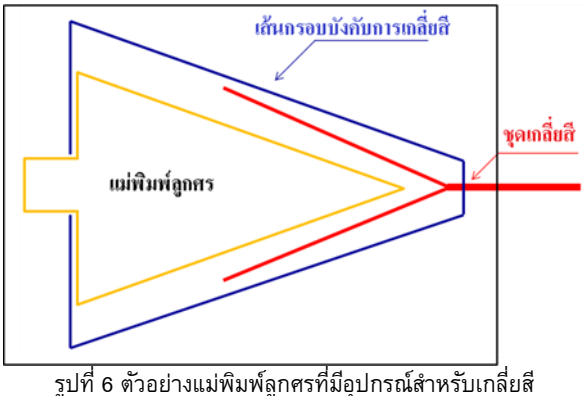


รูปที่ 4 ตัวอย่างแม่พิมพ์ลูกศร ชนิดให้รถตรงไป

ดังนั้น จึงออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการระบายสีหรือช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศร โดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบปรับขนาดของช่องเทสี และแบบไม่ปรับขนาดของช่องเทสี ซึ่งการปรับขนาดช่องเทสี ทำได้โดยการออกแบบและผลิตปากไถให้มีความกว้างเท่ากับความกว้างมากสุดของส่วนหัวลูกศร แล้วใช้คันโยกหนึ่งอันปรับความกว้างของช่องเทให้มีขนาดลดลงจากกว้างสุดไปหาแคบสุด ตามลำดับ ดังรูปที่ 5 ส่วนการไม่ปรับขนาดของช่องเทสีนั้น จะออกแบบและผลิตให้แม่พิมพ์ลูกศรมีอุปกรณ์สำหรับเกลี่ยสีให้ทั่วส่วนหัวของลูกศร ซึ่งวิธีนี้จะอาศัยการปล่อยสีจากเครื่องต้มสีโดยตรง ไม่ใช้ปากไถ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 ตัวอย่างช่องเทสีที่สามารถปรับขนาดช่องเทสีได้ บนอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศร ใช้ร่วมกับแม่พิมพ์ลูกศร



รูปที่ 6 ตัวอย่างแม่พิมพ์ลูกศรที่มีอุปกรณ์สำหรับเกลี่ยสี

สำหรับการใช้งานแม่พิมพ์ลูกศรดังรูปที่ 6 นั้น เมื่อวางแม่พิมพ์ให้เส้นลำตัวทับกันแล้ว จะเริ่มเทสีจากส่วนปลายของหัวลูกศรในปริมาณที่เหมาะสม จากนั้นผู้ปฏิบัติงานจะดันแขนเกลี่ยของชุดเกลี่ยสี ซึ่งจะมีลักษณะเป็นบานพับที่สามารถกางออกเพื่อเกลี่ยสีให้ทั่วหัวลูกศร แล้วดึงกลับเมื่อเกลี่ยเสร็จ (ขณะเกลี่ยสามารถเลื่อนเทสีตามความยาวของส่วนหัวได้) อนึ่งผู้ปฏิบัติงานสามารถเลือกทำส่วนหัวหรือลำตัวของลูกศรก่อนก็ได้ เนื่องจากส่วนลำตัวลูกศร จะใช้ปากไถขนาด 15 เซนติเมตร ตีเส้นตามความยาวมาตรฐานได้เลยทันที

3.5 แนวทางในการผลิตอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรบนพื้นถนน

การพิจารณาทางเลือกว่าควรนำเสนอวิธีการผลิตอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรจราจรบนพื้นถนนแนวทางใดน่าจะเหมาะสมกว่าอีกแนวทางหนึ่งนั้น อาศัยกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จำนวน 30 คน ทดลองใช้หุ่นจำลองทั้ง

สองแบบ โดยให้ทำสีของหัวลูกศรลงบนแผ่นกระดาษด้วยสีน้ำมันแทนสีเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากงบประมาณไม่เพียงพอ แต่สีน้ำมันมีข้อเสียคือแห้งช้า จึงทดสอบเฉพาะคุณสมบัติการระบายสีในช่องว่างของแม่พิมพ์ลูกศรของอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรเท่านั้น จากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างดังกล่าวตอบแบบสอบถาม ได้ผลการพิจารณาทางเลือกดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเลือกอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศร (คน)

หัวข้อหลัก	แบบปรับขนาดของช่องเทสี	แบบไม่ปรับขนาดของช่องเทสี
ผลิตง่าย	10	20
ติดตั้งง่าย	5	24
ใช้งานง่าย	15	24
เคลื่อนย้ายง่าย	10	20

จากตาราง พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 80 % คิดว่าอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรจราจรบนพื้นถนนแบบไม่ปรับขนาดช่องเทสีที่ออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ลูกศรให้มีอุปกรณ์สำหรับเกลี่ยสีส่วนหัวของลูกศร ซึ่งอาศัยการปล่อยสีจากเครื่องต้มสีโดยตรง และไม่ใช้ปากไถ เป็นอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรที่ติดตั้งง่ายและใช้งานง่ายกว่าอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรแบบปรับขนาดของช่องเทสี

4. สรุปผลและอภิปราย

การลดเวลาในการทำสัญลักษณ์ลูกศรบนพื้นถนนด้วยวิธีการลดขั้นตอน รวมขั้นตอน สลับขั้นตอน และทำให้ง่ายขึ้น ตามหลัก ECRS สามารถออกแบบและผลิตแม่พิมพ์ลูกศรเพื่อช่วยขจัดขั้นตอนการวาดเส้นกรอบลูกศรลงบนพื้นถนน และการปูแผ่นสังกะสีรอบรูปลูกศรลงได้ รวมถึงการผลิตอุปกรณ์ช่วยระบายสีหัวลูกศรภายในแม่พิมพ์ลูกศรนั้น จะช่วยให้การทำสัญลักษณ์ลูกศรจราจรบนพื้นถนนง่ายขึ้นและใช้เวลาโดยรวมลดลง เมื่อผลิตแม่พิมพ์ลูกศรเสร็จพบว่า เฉพาะแม่พิมพ์ไม่สามารถช่วยลดเวลาในการทำสีหรือระบายสีหัวลูกศรได้ จึงออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการระบายสีหรือช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบปรับขนาดของช่องเทสี เป็นการออกแบบและผลิตปากไถให้มีความกว้างเท่ากับความกว้างมากสุดของส่วนหัวลูกศร แล้วใช้คันโยกหนึ่งอันปรับความกว้างของช่องเทให้มีขนาดลดลงจากกว้างสุดไปหาแคบสุด และการไม่ปรับขนาดของช่องเทสี จะออกแบบและผลิตให้แม่พิมพ์ลูกศรมีอุปกรณ์สำหรับเกลี่ยสีให้ทั่วส่วนหัวของลูกศร ซึ่งวิธีนี้จะอาศัยการปล่อยสีจากเครื่องต้มสีโดยตรง และไม่ใช้ปากไถ จากนั้นพิจารณาทางเลือกว่าควรนำเสนอวิธีการผลิตอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรจราจรบนพื้นถนนแนวทางใดน่าจะเหมาะสมกว่า โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน ทดลองใช้หุ่นจำลองทั้งสองแบบ ทดสอบคุณสมบัติด้านการระบายสีในช่องว่างของแม่พิมพ์ลูกศร พบว่า 80 % ของผู้ตอบแบบสอบถาม เลือกอุปกรณ์ช่วยทำสัญลักษณ์ลูกศรจราจรบนพื้นถนนแบบไม่ปรับขนาดช่องเทสี เนื่องจากติดตั้งและใช้งานง่าย

5. ข้อเสนอแนะ

1) การทำแม่พิมพ์ลูกศร สามารถประยุกต์ใช้กับหัวลูกศรได้ทุกชนิด (10 ชนิด)

2) การทำแม่พิมพ์ลูกศรร่วมกับชุดเกลี่ยสี สามารถประยุกต์ใช้กับหัวลูกศรทุกแบบ แต่ต้องวางชุดเกลี่ยสีให้ได้ตำแหน่งที่เกลี่ยแล้วสีไม่ติดอยู่บนแม่พิมพ์มากเกินไป

3) การทำแม่พิมพ์ สามารถประยุกต์ใช้กับลูกศรที่มีลำตัวลาดเอียงได้ แต่ต้องแบ่งออกเป็นสองส่วน เนื่องจากลำตัวของลูกศรจะยาวกว่าแผ่นสังกะสี แล้วใช้ปากไถขนาด 30 เซนติเมตร ตีเส้นบนแม่พิมพ์ได้เลยทันที

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, มาตรฐานความปลอดภัยจราจรและขนส่ง, ภาคที่ 1, เล่มที่ 2, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2547

[2] กรมทางหลวง, คู่มือและมาตรฐานเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางและเครื่องหมายนำทาง, เล่มที่ 2, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2554, ข้อมูลจากhttp://ooh5.go.th/CA/CA02.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 29 ตุลาคม 2557)

[3] กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น, มาตรฐานเครื่องหมายจราจรบนพื้นทาง และมาตรฐานการป้องกันอุบัติภัยทางถนน, ข้อมูลจาก http://www. dla.go.th/work/e_book/eb1/2_6.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 29 ตุลาคม 2557)

[4] บริษัท สยามทราฟฟิค จำกัด, สีเทอร์โมพลาสติกและเครื่องตีเส้นถนน, ข้อมูลจาก http://www.siamtraffic.org (วันที่สืบค้นข้อมูล 29 ตุลาคม 2557)

[5] ปรีชา ช่างย้อม, การลดเวลาการผลิตของกระบวนการแกะสลักลวดลายลงบนไม้, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปีพุทธศักราช 2549, กรุงเทพฯ, 17-19 ธันวาคม, 2549

[6] ชนินันท์ กัญจนา และคณะ, การประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต กรณีศึกษาอุตสาหกรรมการผลิตดิน, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2557, กรุงเทพฯ, 30-31 ตุลาคม, 2557

การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตซ้ำตลับหมึกเครื่องพิมพ์เลเซอร์

Efficiency Improvement in Laser Printer Cartridge Remanufacturing Process

ภานุพงศ์ จรุงเกียรติขจร[1*] เจริญ สุนทราวาณิชย์[2] เจริญชัย โขมพัตราภรณ์[3]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ
E-mail: panuphong.j@gmail.com[1] charoen.soo@kmutt.ac.th[2] charoenchai.kho@kmutt.ac.th[3]

Panupong Jarungkiattikajorn[1*] Charoen Soontravanich[2] Charoenchai Khompatraporn[3]
Department of Production Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok
E-mail: panuphong.j@gmail.com[1] charoen.soo@kmutt.ac.th[2] charoenchai.kho@kmutt.ac.th[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณงานเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตซ้ำ โดยเริ่มจากการศึกษาขั้นตอนการผลิตซ้ำ เก็บข้อมูลสัดส่วนงานเสียและประเภทของงานเสีย โดยใช้ Pareto Chart เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ จาก Pareto Chart พบว่า ปัจจุบันสัดส่วนของเสียที่มีความสำคัญที่สุด คือ ของเสียเกี่ยวกับ DR (Developer Roller) คิดเป็น 39%ของปริมาณการผลิตและ PCR (Primary Charge Roller) คิดเป็น 24% ของปริมาณการผลิต จากการศึกษาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียคือ การทำความสะอาดยังไม่เป็นมาตรฐานและอาศัยทักษะของพนักงานเป็นหลัก ดังนั้นเพื่อขจัดปัญหาเหล่านี้ ทางผู้วิจัยได้พัฒนากระบวนการทำความสะอาดของ PCR และ DR โดยนำเครื่องจักรเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตซ้ำแทนพนักงานอย่างน้อย 2 คนหรือเป็นเงิน 32,000 บาท/เดือน หลังจากนำเครื่องจักรเข้ามาใช้เป็นเวลา 3 เดือน พบว่า จำนวนของเสียลดลง 10 % และสามารถลดค่าจ้างพนักงานได้ 2 คน หากซื้อเครื่องจักร 300,000 บาท สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 10 เดือน

คำหลัก กระบวนการผลิตซ้ำ ตลับหมึกเครื่องพิมพ์เลเซอร์ เครื่องทำความสะอาด การปรับสมดุลสายการผลิต

Abstract

The objective of this research is to reduce defects and increase efficiency in the remanufacturing process of laser printer cartridges. First, the remanufacturing process was studied. The amount of defects and their types were collected to construct the corresponding Pareto Chart. This chart suggested the priorities of these defects, and it indicated that the main types of defects were DR (Developer Roller) about 39% and PCR (Primary Charge Roller) about 24% of production. The study found that the cause of the defects was due to a lack of the cleaning standard, and currently primarily depending upon the skills of the operators. In order to overcome these causes, a cleaning machine applicable to the PCR and DR cleaning processes was developed. By using this machine, the whole remanufacturing process required 2 fewer operators, or equivalent to 32,000 baht/month. The data showed that after the machine had been used for 3 months, the defects were reduced by 10%. With this rate of saving on the wages, the 300,000 baht investment for developing and building this cleaning machine would be paid off in less than 10 months.

Keyword: Remanufacturing process, Laser printer cartridge, Cleaning machine, Line balancing

1. บทนำ

โรงงานในกรณีศึกษานี้เป็นโรงงานผลิตสินค้าประเภท Remanufacturing ตลับหมึกเลเซอร์ ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษากระบวนการผลิตตลับหมึก พบว่า ขั้นตอนการผลิตตลับหมึกมีหลายขั้นตอน เริ่มจากการถอดชิ้นส่วนของตลับหมึก ทำความสะอาดชิ้นส่วนที่สามารถนำมาใช้งานได้และเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ จากนั้นนำไปเติมผงหมึก และเข้าสู่กระบวนการประกอบตลับหมึก เมื่อประกอบเสร็จแล้วจะมีการทดสอบคุณภาพของตลับหมึก ซึ่งปัญหาที่พบหลายปัญหา เช่น PCR dot, PCR dirty, Developer roller dirty, Developer roller damage, Doctor Blade dirty, Doctor Blade damage เป็นต้น จากปัญหาที่กล่าวข้างต้นมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ซึ่งทำให้สูญเสียเวลาในการทำงาน และเนื่องจากการแก้ไขชิ้นงานจำเป็นต้องถอดชิ้นงานใหม่ ซึ่งมีโอกาสที่ก่อให้เกิดความเสียหายระหว่างการถอดชิ้นงานเพื่อทำการแก้ไขได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตตลับหมึก ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกผลิตภัณฑ์รุ่น A, B, C

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผนภาพพาเรโต

แผนภาพพาเรโต เป็นแผนภาพที่ใช้จำแนกประเภทของข้อมูล (Data Stratification) รวมถึงการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีการจำแนกประเภทและมีการสะสมตามเวลาโดยแผนภาพดังกล่าวจะใช้แสดงถึงหลักการของพาเรโต [1]

2.2 แผนภาพสาเหตุและผล

แผนภาพสาเหตุและผลหรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) เป็นแผนภาพที่ใช้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลของปัญหาที่พิจารณา โดยแผนภาพดังกล่าวจะได้มาจากการกำหนดหัวข้อของปัญหาที่ชัดเจนแล้วจึงทำการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุอย่างเป็นระบบ [2]

2.3 หลักการ ECRS

ECRS เป็นหลักการที่ใช้สำหรับการปรับปรุงงานประกอบด้วย การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และ การทำให้ง่าย (Simplify) สามารถอธิบายหลักการได้ดังนี้

- การกำจัด (Eliminate) หมายถึงการพิจารณาการทำงานปัจจุบันและดำเนินการกำจัดหรือตัดขั้นตอนงานที่ไม่จำเป็น ซึ่งเป็นความสูญเปล่าออกไป ได้แก่การผลิตมากเกินไป การรอคอย การเคลื่อนที่/เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น การทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์ การเก็บสินค้าที่มากเกินไป การเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น และของเสีย
- การรวมกัน (Combine) เป็นการลดการทำงานที่ไม่จำเป็นลงโดยการพิจารณาว่าสามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ เช่น จากเดิมเคยทำ 5 ขั้นตอนก็รวมบางขั้นตอนเข้าด้วยกัน ทำให้ขั้นตอนที่ต้องทำลดลงจากเดิม การปฏิบัติงานก็จะสามารถทำได้เร็วขึ้นและลดการเคลื่อนที่ระหว่างขั้นตอนลงได้อีกด้วย
- การจัดใหม่ (Rearrange) คือ การจัดขั้นตอนการปฏิบัติงานใหม่เพื่อลดการเคลื่อนที่หรือการรอคอยที่ไม่จำเป็น เช่น ในกระบวนการดำเนินงาน หากทำการสลับขั้นตอนที่ 2 กับ 3 ก่อนขั้นตอนที่ 2 จะทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ลดลงเป็นต้น
- การทำให้ง่าย (Simplify) หมายถึง การปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้นโดยอาจจะออกแบบจิ๊ก (jig) หรือ fixture เข้าช่วยในการทำงานเพื่อให้การทำงานสะดวกและแม่นยำมากขึ้น ซึ่งสามารถลดของเสียลงได้จึงเป็นการลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นและลดการทำงานที่ไม่จำเป็น [3]

2.4 ทบทวนวรรณกรรม

มัณยาภรณ์ ภูริปัญญาคุณและคณะ [3] ได้ศึกษาวิธีการทำงานการประกอบสินค้าประเภทก๊อกเดี่ยว (น้ำเย็น) และปรับปรุงวิธีการทำงาน เพื่อให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้หลักแนวคิด 5W1H มาใช้ในการวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานแต่ละขั้นตอน และใช้หลักแนวคิด ECRS เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงวิธีการทำงาน ผลการศึกษาพบว่า เวลาในการประกอบสินค้าก่อนปรับปรุง เท่ากับ 3.24 นาที หลังปรับปรุงเวลาลดลงเหลือ 2.44 นาที และเมื่อศึกษาการจัดสมดุลการผลิตใหม่พบว่า สามารถลดจำนวนสถานีงานจาก 3 สถานีเหลือ 2 สถานี และมีประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 84.38% เป็น 98.39% สำหรับ ประเสริฐ บุญศรีจันทร์และคณะ[4] ได้ทำการลดของเสียในกระบวนการ

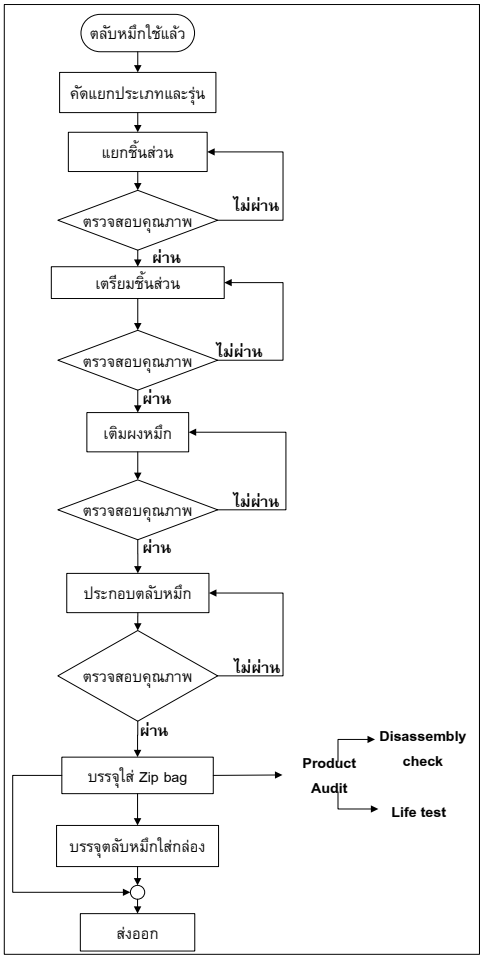
ผลิตสายล็อคประตูรถยนต์ของอุตสาหกรรมยานยนต์ พบว่าปัญหาหลักคือ การใช้อุปกรณ์เป่าลมไม่สม่ำเสมอ และพนักงานปฏิบัติงานไม่ถูกต้อง แนวทางแก้ไข ได้แก่ จัดทำชุดอุปกรณ์เป่าลมอัตโนมัติ จัดทำมาตรฐานการทำงานที่ถูกต้องและฝึกอบรมพนักงาน ผลการวิจัยพบว่าสามารถลดของเสียได้ 100 เปอร์เซ็นต์สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 8,170 บาทต่อเดือนหรือ 98,040 บาทต่อปี ในขณะที่ ณัฐวิทย์ เพชรานนท์และคณะ [5] ได้ดำเนินการศึกษาเพื่อลดปริมาณการเกิดลักษณะบกพร่องของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการประกอบแผงวงจรไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการด้วยหลักการทางสถิติ คือ วิธีการ 7QC จากผลงานวิจัยพบว่าการเกิดลักษณะบกพร่องบนตัวอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์แผงวงจรไฟฟ้า ลดลงเป็น 2,339.3 DPPM เฉลี่ยต่อเดือนในช่วงเดือน กรกฎาคม ถึง ธันวาคม 2555 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการดำเนินการและข้อมูลลักษณะบกพร่องของผลิตภัณฑ์ก่อนการดำเนินการ และ วิสัน ชารี [6] ก็ได้ทำการเพิ่มผลผลิตของกระบวนการประกอบมอเตอร์พัด-ลม เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการทำงานล่วงเวลาของพนักงาน โดยใช้หลักการการสมดุลสายการผลิตและหลักการการศึกษาการทำงาน ได้พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหามากที่สุดจะมีอยู่ 2 ปัจจัย คือ มีชิ้นงานรอเข้าสู่กระบวนการ และไม่มีมาตรฐานในการทำงาน จากผลการปรับปรุงสามารถเพิ่มกำลังการผลิตให้กับกระบวนการได้ถึงร้อยละ 23.19 และ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการได้ถึงร้อยละ 19.28

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ทางผู้วิจัยเห็นว่าสามารถนำทฤษฎีของงานวิจัยมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยฉบับนี้โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผลเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหาและประยุกต์หลักการ ECRS เป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหา

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลประเภทของเสียของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้วิจัย ในส่วนของกระบวนการผลิตตลับหมึก รุ่น A, B, C เพื่อลดปริมาณงานเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งขั้นตอนของกระบวนการผลิตตลับหมึกจะเริ่มจากการแยกชิ้นส่วน ทำความสะอาด ตรวจสอบชิ้นส่วนที่สามารถใช้งานได้หรือต้องเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่ เติมผงหมึก ประกอบชิ้นส่วน ตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์ และบรรจุใส่ถุง Zip bag หลังจากใส่ถุงZip bag แล้วจะมีการสุ่มตรวจงานอีกครั้งแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตตลับหมึก

ขั้นตอนในการประกอบงานก่อนทำการปรับปรุงเป็นดังนี้ เมื่อมีตลับหมึกเข้ามาจะทำการถอดชิ้นส่วนของตลับหมึกจากนั้นทำความสะอาดโดยการเป่าชิ้นงาน เมื่อผ่านการเป่าแล้วจะมาตรวจสอบชิ้นส่วนฮอปเปอร์,เฮ้าส์ซิ่งและทำความสะอาดชาร์จเบลด,PCR, Developer roller จากนั้นนำฮอปเปอร์ที่ผ่านการตรวจสอบมาติดซีล วางชิ้นส่วนใหม่ และเติมผงหมึก จากนั้นทำการประกอบเฮ้าส์ซิ่ง ประกอบชิ้นส่วนดัมมี่ (ดัมมี่จะใช้ทดสอบคุณภาพของชาร์จเบลดและDeveloper roller) พร้อมทั้งประกอบตัวงานและนำเข้าเครื่องเทส ตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์ พร้อมทั้งถอดชาร์จเบลดและDeveloper rollerเป่าทำ

ความสะอาด จากนั้นนำชิ้นส่วนเหล่านี้ไปประกอบกับฮอปเปอร์ และนำฮอปเปอร์กับเฮ้าส์ซิ่งมาประกอบเข้าด้วยกัน ติดชิปและแพ็คงาน แสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 ขั้นตอนการประกอบงานก่อนปรับปรุง

ในช่วงเดือนกรกฎาคม ถึง กันยายน 2557 ได้ทำการรวบรวมข้อมูล สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นแสดงดังตารางที่1

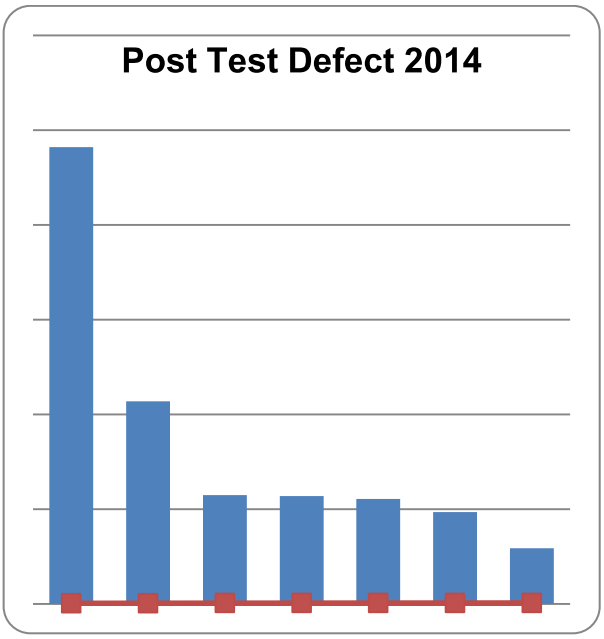
ตารางที่ 1 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ ช่วงเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนกันยายน 2557

Defect	สัดส่วนของเสีย
Developer Roller Dirty	39.31%
PCR- Dot	24.54%
OPC- Dot	10.90%

ตารางที่1 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ ช่วงเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนกันยายน 2557 (ต่อ)

Defect	สัดส่วนของเสีย
Miscellaneous	5.86%
PCR Dirty	5.80%
Charging Blade Dirty	5.65%
OPC- Contact	4.94%
Developer roller damage	3.00%

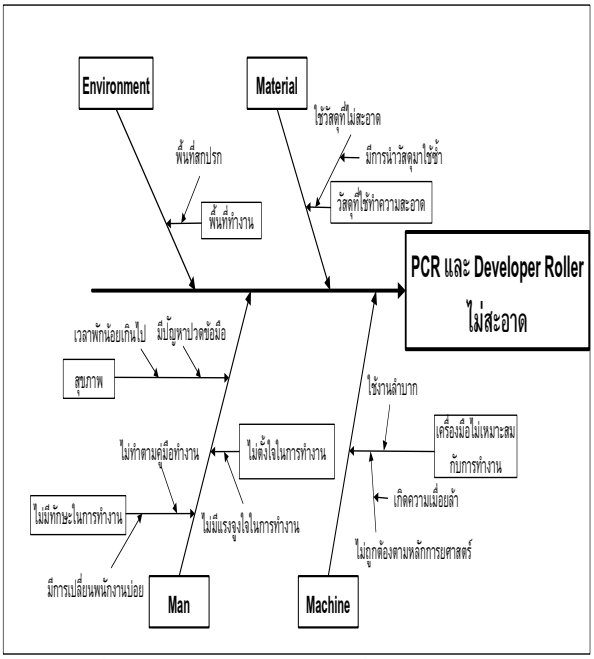
จากสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้น ทางผู้วิจัยได้จัดลำดับความสำคัญโดยใช้แผนผังพาเรโตเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ พบว่า ปัญหาหลักคือ Developer roller dirty ปัญหารองลงมาคือ PCR Dot แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังพาเรโต

3.2 การประเมินและวิเคราะห์หาสาเหตุ

จากการประเมินปัญหาข้างต้นต่อมาจะทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลาเพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา แสดงดังรูปที่ 4

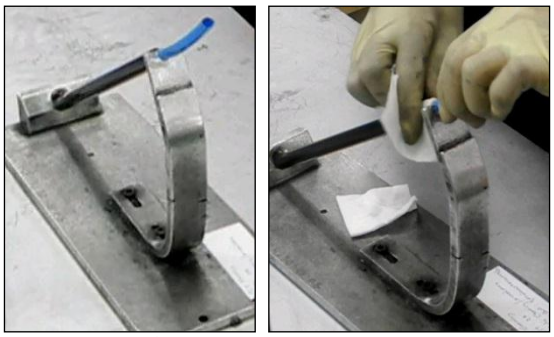


รูปที่ 4 แผนผังก้างปลาหาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย

สาเหตุหลักที่ทำให้ PCR และ Developer roller ไม่สะอาดแบ่งออกเป็น 4 ด้านคือ

1 ด้านพนักงาน พนักงานไม่ปฏิบัติตามคู่มือการทำงานเนื่องจากพนักงานมีความถนัดไม่เหมือนกัน และไม่มีทักษะในการทำงาน ส่งผลให้ชิ้นงานไม่สะอาดและเกิดข้อบกพร่องต่อตัวงาน

2 ด้านเครื่องมือ เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการทำความสะอาดไม่เหมาะสมต่อการทำงานส่งผลให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้า เพราะพนักงานต้องทำความสะอาดจำนวน 600 – 700 ชิ้นต่อวัน อีกทั้งพนักงานต้องหมุนชิ้นงานเพื่อทำความสะอาดทำให้พนักงานปวดข้อมือ ซึ่งลักษณะเครื่องมือที่ใช้ทำความสะอาดและวิธีทำความสะอาดแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 Jig และวิธีทำความสะอาด PCR

3 ด้านวัสดุทำความสะอาด พบว่าพนักงานใช้วัสดุทำความสะอาดที่สกปรกมาทำความสะอาดซ้ำส่งผลให้ชิ้นงานไม่สะอาด

4 ด้านสภาพแวดล้อม พบว่าพื้นที่ในการทำงานไม่สะอาด ส่งผลให้ชิ้นงานไม่สะอาด

จากสาเหตุดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการขจัดปัญหาด้วยการพัฒนาอุปกรณ์ในการทำความสะอาดโดยใช้หลัก ECRS เข้ามาช่วยในการพัฒนา เพื่อสร้างความเป็นมาตรฐานในการทำงาน โดยลักษณะการทำความสะอาดจะมีรูปแบบทำความสะอาดตามคู่มือปฏิบัติงาน ซึ่งการพัฒนาอุปกรณ์ทำความสะอาดมีฟังก์ชันการทำงานดังนี้

1 เมื่อกดปุ่มเริ่มทำงานจะมีระบบนิวเมติกส์ในการจับชิ้นงาน

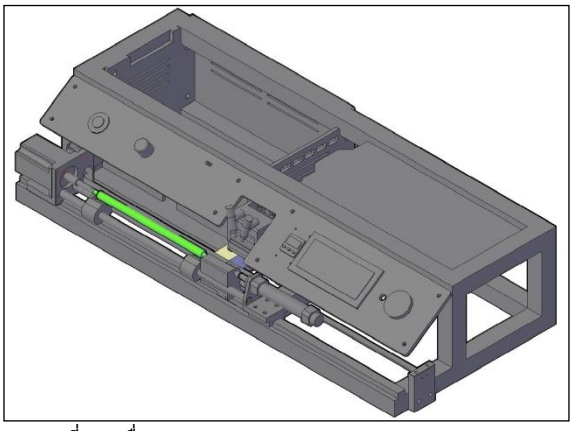
2 มอเตอร์จะเลื่อนชิ้นงานไปยังตำแหน่งเริ่มทำความสะอาด

3 เมื่อถึงตำแหน่งเริ่มทำความสะอาดมอเตอร์จะหมุนตัวชิ้นงาน

4 .ใช้กระบอกสูบเลื่อนวัสดุทำความสะอาดเข้ามาพร้อมฉีดน้ำหรือน้ำยาตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้

5 มอเตอร์จะเลื่อนตัวชิ้นงานไปทางด้านซ้ายของเครื่อง

ในการทำความสะอาดแต่ละรอบจะมีการเลื่อนวัสดุทำความสะอาดเสมอ ซึ่งลักษณะเครื่องทำความสะอาดแสดงดังรูปที่ 6 ส่วนพนักงานจะมีหน้าที่ Load/unload ชิ้นงานและยังสามารถทำกิจกรรมอื่นๆได้อีกขณะที่เครื่องทำงาน



รูปที่ 6 เครื่องทำความสะอาด PCR และ Developer roller

4. ผลการศึกษา

4.1 แนวทางในการปรับปรุงแก้ไข

เป้าหมายของการดำเนินแนวทางการปรับปรุงแก้ไข คือการกำหนดสัดส่วนของเสียประเภท Developer roller dirty ให้ลดลงจากเดิมเฉลี่ย 39% เป็น 29% ประเภท PCR dot ให้ลดลงจากเดิมเฉลี่ย 24% เป็น 14% ประเภท PCR dirty ให้ลดลงจากเดิมเฉลี่ย 6% เป็น 3% ภายในระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้แนวความคิดการทำให้เป็นมาตรฐาน

4.2 ผลการดำเนินการตามแนวทางการปรับปรุง

จากการดำเนินการปรับปรุงโดยนำเครื่องมือเข้ามาใช้ในการผลิตระหว่างเดือน ธันวาคม 2557 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2558 สัดส่วนของเสีย แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ ช่วงเดือนธันวาคม 2557 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2558

Defect	สัดส่วนของเสีย
Developer Roller Dirty	17.33%
PCR- Dot	11.38%
OPC- Dot	17.90%
Miscellaneous	21.15%
PCR Dirty	2.73%
Charging Blade Dirty	20.11%
OPC- Contact	7.40%
Developer roller damage	2.00%

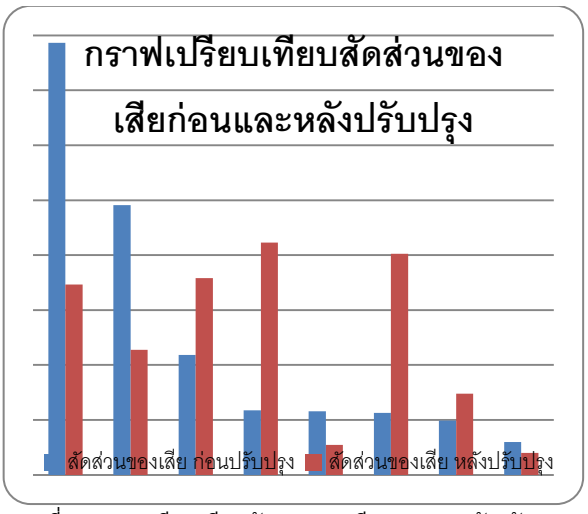
เมื่อทำการเปรียบเทียบสัดส่วนของเสีย ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 7 แสดงกราฟเปรียบเทียบสัดส่วนของก่อนและหลังปรับปรุง

ตารางที่ 3 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

Defect	สัดส่วนของเสีย	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
Developer Roller Dirty	39.31%	17.33%
PCR- Dot	24.54%	11.38%
OPC- Dot	10.90%	17.90%
Miscellaneous	5.86%	21.15%
PCR Dirty	5.80%	2.73%
Charging Blade Dirty	5.65%	20.11%

ตารางที่ 3 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง (ต่อ)

Defect	สัดส่วนของเสีย	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
OPC- Contact	4.94%	7.40%
Developer roller damage	3.00%	2.00%



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อนและหลังปรับปรุง

จากผลการปรับปรุงพบว่าปัญหาประเภท Developer roller dirty ลดลงเฉลี่ย 22% ประเภท PCR dot ลดลงเฉลี่ย 13% ประเภท PCR dirty ลดลงเฉลี่ย 3%

หลังจากทำการปรับปรุงทางผู้วิจัยได้เสนอแนวทางในการจัดสายการผลิตใหม่โดยนำเครื่องมือที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นมาใช้ร่วมด้วย โดยจะนำเครื่องมือเข้าไปใช้ในตำแหน่งประกอบเฮ้าส์ซิ่งและประกอบดัมมี่ และลดพนักงานทำความสะอาดPCR, Developer rollerและพนักงานวางชิ้นส่วนใหม่ แสดงดังรูปที่ 8

ในปัจจุบันสถานีงานในสายการผลิตเดิมมีจำนวน 15สถานี จากผลการปรับปรุงดังกล่าวเมื่อนำเครื่องเข้ามาใช้ในสายการผลิตจำนวน 2 เครื่อง ประกอบด้วย เครื่องทำความสะอาด PCR และเครื่องทำความสะอาด Developer roller ส่งผลให้สถานีงานลดลง 2 สถานี และสามารถลดพนักงานได้ จำนวน 2 คน หรือเป็นเงิน 32,000 บาท/เดือน หากซื้อเครื่องจักร 300,000 บาท สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 10 เดือน

รูปที่ 8 ขั้นตอนการประกอบงานหลังปรับปรุง

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การดำเนินการตามแนวทางการปรับปรุง เพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตตลับหมึกผลิตภัณฑ์รุ่น A, B, C ระหว่างเดือน ธันวาคม 2557 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2558 ประมาณ 15% – 20% ซึ่งลดลงได้ตามเป้าหมาย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นประโยชน์ต่อบริษัทตัวอย่างใน 2 ด้านหลัก คือ

1 ด้านการดำเนินการผลิต ปริมาณของเสียที่ลดลงสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพด้านการผลิตได้มากขึ้นเท่ากับเป็นการช่วยลดการสูญเสียระยะเวลาในการดำเนินการผลิตอีกครั้งโดยไม่จำเป็น สามารถดำเนินการผลิตและจัดส่งสินค้าให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ อีกทั้งสร้างรูปแบบการทำความสะอาดให้เป็นมาตรฐานได้ ซึ่งง่ายต่อการใช้งานของพนักงาน

2 ด้านต้นทุนการผลิต เนื่องจากการนำเครื่องจักรเข้ามาใช้สามารถลดจำนวนพนักงานได้จำนวน 2 คน ซึ่งช่วยลดค่าจ้างแรงงาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทางผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะคือ ควรมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงานร่วมกับเครื่องจักร ในผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต และมีการทำแผนบำรุงรักษาเครื่องจักรเพิ่มเติม เพื่อลดการ Breakdown ของเครื่อง ซึ่งหากเกิดเครื่อง Breakdown จะส่งผลกระทบต่อสายการผลิตเมื่อนำเครื่องจักรเข้ามาใช้ในสายการผลิตเต็มรูปแบบ

เอกสารอ้างอิง

[1] สุรพันธุ์ สุรไกรกุลและคณะ. 2553. การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการตัดกระสอบสานพลาสติก. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

[2] พิพัฒน์พงศ์ ศรีชนะและคณะ. 2555. การลดของเสียในกระบวนการผลิตอิฐบล็อก กรณีศึกษาบริษัทมาหาอาณาจักร จำกัด. ปัญหาพิเศษ สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

[3] มัณยาภรณ์ ภูริปัญญาคุณ. 2556. การปรับปรุงประสิทธิภาพในสายการประกอบก๊อกน้ำ. ปัญหาพิเศษอุตสาหกรรม ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[4] ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์. 2556. แนวทางการลดของเสียในกระบวนการผลิตสายล๊อคประตูรถยนต์. ปัญหาพิเศษอุตสาหกรรม ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[5] ณัฐวิทย์ เพชรานนท์และคณะ. 2556. การลดลักษณะบกพร่องในกระบวนการประกอบแผงวงจรไฟฟ้า.

สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

[6] วิสัน ชารี. 2550. การเพิ่มผลผลิตของสายการประกอบมอเตอร์พัดลม. โครงงานค้นคว้าอิสระ สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

การศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อผลการทดสอบด้วยการพินิจ

Study on parameters affected on visual testing

ภูชิน สีหอมไชย[1*] อาษา ประทีปเสน[2]
[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
E-mail: phuchins@gmail.com
Phuchin Seehomchai[1*] Asa Prateepasen[2]
[1,2] Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkot's University of Technology Thonburi, Bangkok
E-mail: phuchins@gmail.com

บทคัดย่อ

การทดสอบด้วยการพินิจเป็นวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลายที่มีการใช้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ถึงแม้เป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือไม่มากนักแต่สภาวะการทดสอบเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก ในงานวิจัยนี้เพื่ออธิบายถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อผลการทดสอบด้วยการพินิจซึ่งได้แก่ ความสว่างของแสง มุมมองที่ต่างกัน ระยะความห่างของชิ้นงานจากสายตา รวมถึงลักษณะปรากฏของชิ้นงานที่เป็นชิ้นงานเชื่อมประกอบขึ้นจากเหล็กและที่หล่อจากเรซิ่น ในงานวิจัยศึกษาจากการสร้างรอยความไม่ต่อเนื่องชนิดต่างๆโดยใช้เทคนิคและความรู้ทางทฤษฎีเพื่อสร้างให้เกิดรอยความไม่ต่อเนื่องที่เสมือนจริงในงานเชื่อมรวม 6 ชนิด ได้แก่ รอยร้าว โพรงอากาศ รอยกัดขอบ ความสูงของแนวเชื่อมที่ผิดปกติ การซึมลึกไม่สมบูรณ์ที่ฐาน การเว้าที่ฐาน ได้ทดลองปรับส่วนผสมและสีของเรซิ่นเพื่อให้ชิ้นที่หล่อจากเรซิ่นมีความเหมือนกับชิ้นงานต้นแบบที่ทำจากเหล็กมากที่สุด หลังจากนั้น ทดสอบตัวแปรต่างๆกับบุคลากรที่ผ่านการตรวจสายตา และผ่านการฝึกอบรมด้านการตรวจพินิจมาแล้ว โดยศึกษาผลของความสามารถในการตรวจพบรอยความไม่ต่อเนื่อง ได้ทำการปรับขนาดความสว่างออกเป็นระดับต่างในช่วง 60-1,250 ลักซ์ ปรับมุมมองที่กระทำกับระนาบชิ้นงาน และ ระยะห่างจากสายตาจนถึงมุมมองที่ระยะ 19-60 นิ้ว จากผลการวิจัยพบว่ารอยความไม่ต่อเนื่องที่สร้างขึ้นมาบนชิ้นงานมีความเสมือนจริง ชิ้นงานที่หล่อจากเรซิ่นมีลักษณะรูปร่างเหมือนกับชิ้นงานเชื่อมโลหะต้นแบบ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างชิ้นงาน อีกทั้งชิ้นงานเรซิ่นมีน้ำหนักเบาและไม่เป็นสนิม สำหรับการทดสอบพารามิเตอร์พบว่าความสว่างของแสงไฟที่สามารถมองเห็นรอยความไม่ต่อเนื่องที่มีขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 250 ลักซ์ และมองรอยความไม่ต่อเนื่องที่มีขนาดเล็กได้ครบที่ความสว่างที่ 1,000 ลักซ์ มุมที่มองเห็นรอยความไม่ต่อเนื่องคือที่ไม่ต่ำกว่า 30 องศากับแนวระนาบชิ้นงาน และสามารถมองชัดขึ้นเมื่อมองตั้งฉากกับชิ้นงาน ระยะการมองที่สามารถมองเห็นรอยความไม่ต่อเนื่องที่มีขนาดเล็กได้ดีคืออยู่ในช่วงประมาณ 19-24 นิ้ว ประโยชน์ของงานวิจัยนี้ทำให้ทราบเทคนิคในการเชื่อมที่ทำให้เกิดรอยความไม่ต่อเนื่องตามต้องการ สามารถสร้างชิ้นงานที่ทำจากเรซิ่นที่เหมาะกับการใช้เป็นชิ้นงานสำหรับฝึกความสามารถของบุคลากร และแสดงค่าสภาวะต่างๆที่เหมาะสมในการทดสอบ

คำหลัก การตรวจพินิจ/การสร้างรอยความไม่ต่อเนื่องแบบพื้นผิว/แบบหล่อจากเรซิ่น/ตัวแปรของการตรวจพินิจ

Abstract

Visual Testing (VT) is the most often implemented Nondestructive testing method. The method hardly used specific equipment but it needs high considerable amount of testing conditions. This research presents various parameters affected on VT which are luminous existence, vision angle, vision distance

and the appearance of weld specimens made of metal and resin. Six discontinuity types which are crack, porosity, undercut, excessive reinforcement, incomplete penetration and root concavity were built in weld joint based on welding technique and knowledge. The composition and color tone of resin were varied to obtain the similar specimen compare to weld metal. After that the visual parameters were tested by trained operators in term of the detection ability of the discontinuities. The luminous intensity was varied from 60-1,250 lux. The vision angle was adjusted and the vision distance was changed between 19-60 inches. The results found that the resin specimen is similar in shape to the prototype weld metal. Its benefit is cost reduction, in addition its light weight and no corrosion. From the visual parameter tests, it was found that the big size discontinuity can be detected under 250 lux while the small size can be seen under 1,000 lux. The visual angle can be inspected the discontinuity is 30 degree. It was clearly detected at the normal angle. The visual distance between 19-24 inches is the proper distance to discover the flaw. The benefits of this research are to exhibit the welding technique to build the discontinuity in weld joint and the way to make the resin specimen to use as the VT training specimen. Finally the proper visual inspection parameters were identified.

Keyword: Visual testing/ building of surface discontinuity/resin mold/visual testing parameter

1. บทนำ

ในการฝึกอบรมผู้ตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมและการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธีการตรวจพินิจ ต้องใช้เวลาฝึกอบรมเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมงตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมแห่งอเมริกา ASME B31.1 [1] และของ ASME SEC V [2] ซึ่งการฝึกอบรมต้องมีการทดสอบวัดผลการฝึกอบรมทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติและต้องผ่านเกณฑ์ไม่น้อยกว่าร้อยละแปดสิบของเวลาในการการฝึกอบรมทั้งหมด การฝึกอบรมผู้ตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อม จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีชิ้นงานสำหรับสอบภาคปฏิบัติเพื่อให้สามารถระบุได้ว่าชิ้นงานนั้นมีรอยบกพร่อง(Defect) อะไรบ้างในงานเชื่อมนั้นๆ ชิ้นงานสำหรับใช้ในการฝึกอบรมต้องสั่งซื้อและนำเข้ามาจากต่างประเทศและมีราคาสูงมาก เนื่องจากการสร้างรอยความไม่ต่อเนื่องต้องทำให้ได้เหมือนจริงมากที่สุดและที่สำคัญรอยความไม่ต่อเนื่องหรือที่นิยมเรียกว่า รอยบกพร่องนั้นต้องมีขนาดและรูปร่างที่อยู่ระหว่างเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐานต่างๆด้านการทดสอบโดยไม่ทำลาย ในอดีตมีงานวิจัยการสร้างรอยบกพร่องชนิดรอยร้าวที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่จะมองเห็นได้เมื่อใช้วิธีทดสอบโดยไม่ทำลายแบบพื้นผิว การสร้างใช้เทคนิคที่แตกต่างกัน เช่น การใช้ลวดเชื่อมที่มีค่าความต้านแรงดึง(Tensile Strength) แตกต่างกันและทำการเชื่อมชิ้นงานด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะ[3] หรือใช้วิธีการเติมลวดทองแดงเข้าไปในรอยเชื่อมเพื่อทำให้เกิดการแตกร้าวในขณะเกิดการเปลี่ยนแปรงโครงสร้างจากของเหลวเป็นของแข็ง(Solidification Crack) [4] นอกจากนั้นได้มีความพยายามที่จะสร้างแม่พิมพ์เพื่อหล่อชิ้นงานที่ทำจากเรซิ่นโดยเลือกชิ้นงานที่มีรอยบกพร่องแบบพื้นผิว เพื่อให้ชิ้นงานมีน้ำหนักเบาและไม่เป็นสนิม [5]

ในงานวิจัยนี้แสดงการสร้างรอยบกพร่องแบบพื้นผิวที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าจำนวน 6 ชนิด สร้างแบบหล่อที่ทำจากซิลิโคนเพื่อสร้างชิ้นงานที่เป็นเรซิ่นพร้อมทั้งเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ทำจากโลหะ จากนั้นทำการทดสอบตัวแปรต่างๆ ซึ่งได้แก่ ความสว่างของแสงไฟ ระยะและมุมของการมองของการทดสอบ

2.1.1 รอยแตกร้าว (Crack) ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์คใต้ฟลั๊ค(Submerge Arc Welding: SAW) [6] เลือกใช้ชิ้นงานเป็นเหล็กแผ่นเพรท โดยใช้เทคนิคการเติมลวดทองแดงเข้าไปในขณะทำการเชื่อมชิ้นงาน เพื่อให้เกิดการแตกร้าวบริเวณพื้นผิวชิ้นงานโดยอาศัยหลักของส่วนผสมทางเคมีของลวดทองแดง ซึ่งมีอัตราการหลอมเหลวและมีอัตราการเย็นตัวไม่เท่ากันทำให้เกิดการแตกร้าวในขณะเกิดการเปลี่ยนแปรงโครงสร้างจากของเหลวเป็นของแข็ง(Solidification Crack) ปริมาณการแตกร้าวขึ้นอยู่กับปริมาณของลวดทองแดงที่เติมเข้าไป

2.1.2 โพรงอากาศ (Porosity) เลือกใช้กระบวนการเชื่อมติก(Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) เลือกชิ้นงานเป็นท่อขนาด 6 นิ้ว โดยใช้เทคนิคการปรับอัตราการไหลของก๊าซอาร์กอน(Flow rate) ให้ต่ำทำให้เกิดโพลงอากาศในตำแหน่งที่กำหนดไว้ในรอยเชื่อม

2.1.3 รอยกัดขอบ (Undercut) เลือกใช้กระบวนการเชื่อมอาร์คด้วยไฟฟ้า(Shielded Metal Arc Welding: SMAW)เลือกชิ้นงานเชื่อมเป็นท่อขนาด 6 นิ้ว โดยใช้เทคนิคการปรับกระแสไฟในการเชื่อมให้สูงที่สุดและใช้อัตราการป้อนลวดเชื่อมที่ไม่ถูกต้องทำให้เกิดรอยกัดขอบในบริเวณที่กำหนดไว้ในรอยเชื่อม

2.1.4 ความสูงแนวเชื่อมที่ผิดปกติ (Reinforcement) ใช้กระบวนการเชื่อมอาร์คใต้ฟลั๊ค(Submerge Arc Welding: SAW) และเลือกใช้ชิ้นงานเป็นเหล็กแผ่นเพรท ใช้เทคนิคการปรับความเร็วในการเดินลวดเชื่อม (Travel speed) ที่ช้าเพื่อให้เกิดความสูงของรอยเชื่อมที่ผิดปกติ

2.1.5 การซึมลึกไม่สมบูรณ์ที่ฐาน (Incompleted Penetration) เลือกใช้กระบวนการเชื่อมติก(Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) เลือกชิ้นงานเป็นท่อขนาด 6 นิ้วใช้เทคนิคการเตรียมรอยต่อ(Fit-up)ไม่ถูกต้องโดยทำให้ชิ้นเกิดการเยื้องศูนย์และมีร่องสำหรับการเชื่อมในรอยที่ฐานน้อย ทำให้เกิดการซึมลึกไม่สมบูรณ์ที่ฐาน

2.1.6 การเว้าที่ฐาน (Root Concavity) เลือกใช้กระบวนการเชื่อมติก(Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) เลือกชิ้นงานเป็นท่อขนาด 6 นิ้ว ใช้เทคนิคการปรับระยะอาร์คและหัวเชื่อมให้ห่างออกมาจากชิ้นงานเชื่อมในขณะทำการเชื่อมรอยแรกที่ฐานของรอยเชื่อม

2.2 การสร้างแม่พิมพ์เพื่อสร้างชิ้นงานเรซิ่น

หลังจากได้ชิ้นงานต้นแบบเพื่อทำแม่พิมพ์แล้วก็มาถึงขั้นตอนสำคัญในการสร้างแม่พิมพ์ โดยเริ่มจากการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆในการสร้าง หลังจากนั้นก็เริ่มทาสารป้องกันการติดแน่นของซิลิโคนลงบนผิวชิ้นงานทั้งสองข้าง จากนั้นผสมยางซิลิโคน ERASTOSIL N4503 กับน้ำยาเร่งการแข็งตัว ทาให้ทั่วชิ้นงานต้นแบบทิ้งไว้ปล่อยให้แห้งประมาณ 3-4 ชั่วโมง ทำการผสมปูนพลาสเตอร์เพื่อหล่อทับลงบนยางซิลิโคนปล่อยให้แห้งประมาณ 1 ชั่วโมงจากนั้นทำการแกะปูนพลาสเตอร์และยางซิลิโคนออกจากชิ้นงานต้นแบบโดยทำการแกะแบบหล่อแม่พิมพ์ทั้งสองด้านก็จะได้แม่พิมพ์ที่พร้อมสำหรับการหล่อเรซิ่น

2.3 ตัวแปรที่มีผลต่อการตรวจพินิจ

การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ หรืออาจเรียกว่า การทดสอบด้วยสายตา เป็นการทดสอบโดยใช้ตาเปล่าหรือใช้อุปกรณ์อื่น ๆ ช่วย เช่น แว่นขยาย ใช้ทดสอบที่ผิวชิ้นงานและมักทำก่อนการทดสอบโดยไม่ทำลายวิธีอื่น ๆ บ่อยครั้งที่ชิ้นงานถูกตัดสินเป็นของเสียด้วยการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ ตัวแปรที่สำคัญในการตรวจสอบหารอยบกพร่องที่สำคัญได้แก่

2.3.1 ความสว่าง (luminous existence) ความสว่างที่ใช้ขึ้นอยู่กับขนาดของรอยความไม่ต่อเนื่องที่ต้องการหารอยความไม่ต่อเนื่องขนาดเล็กควรใช้ความสว่างไม่ต่ำกว่า 1000 ลักซ์[6] ความสว่างหาได้จากสมการหาได้จากสมการ

$$E_V = \frac{d\phi}{dA} \qquad (1)$$

โดยที่ E_V คือความสว่าง(ลักซ์: lx) ϕ คือฟลักซ์ส่องสว่าง(ลูเมน: lm) A คือพื้นที่(ตารางฟุต: ft^2)

2.3.2 ระยะการมอง ระยะการมองมีผลต่อการปรับโฟกัสของดวงตาและยังมีผลต่อความสว่างที่ลดลงตามกฎผกผันยกกำลังสอง ระยะการมองต้องไม่เกิน 24 นิ้ว ระยะที่เหมาะสมคือที่ระยะประมาณ 19 นิ้ว (6) ความสว่างของแสงที่ผิวหน้าวัตถุ E หาได้จากสมการ
ดังสมการ

$$E = \frac{I}{d^2} \qquad (2)$$

เมื่อ I คือความส่องสว่างของแหล่งกำเนิด d คือระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและผิวหน้าของวัสดุ

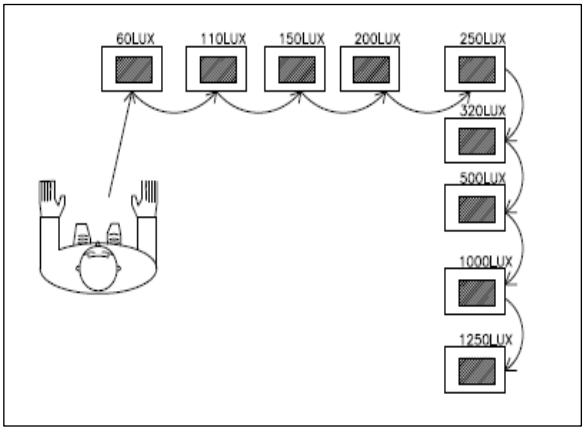
2.3.3 มุมเอียงในการมองเห็น มีผลต่อความสามารถในการมองและความสว่างที่ลดลง มุมมองที่เหมาะสมสายตาต้องทำมุมไม่ต่ำกว่า 30 องศา กับแนวระนาบของชิ้นงาน [6] ผลกระทบของมุมมองอธิบายได้ตามกฎของแลมเบริดโคซาย(Lambert cosine law) กล่าวว่าในกรณีที่แสงตกกระทบไม่ตั้งฉากกับผิวหน้าของวัสดุ ความสว่างของแสงที่ผิวหน้าของวัตถุ สามารถหาได้จากสมการ

$$E = I\cos\theta \tag{3}$$

โดยที่ θ คือมุมระหว่างเส้นที่ลากตั้งฉากระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับผิวหน้าของวัสดุกระทำกับเส้นที่ลากระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับ

เมื่อรวมกฎทั้งสองข้อเข้าด้วยกัน จะได้ว่า

$$E = \frac{I}{d^2}\cos\theta \tag{4}$$



รูปที่ 1 แสดงกฎของแลมเบริดโคซาย

3. วิธีการทดลอง

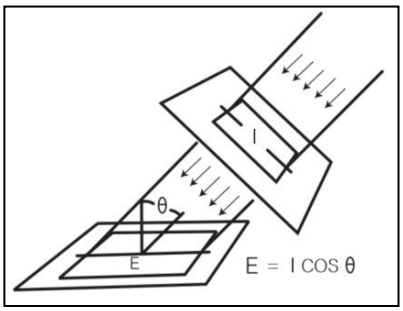
หลังจากสร้างรอยความไม่ต่อเนื่อง 6 ชนิดแล้ว และสร้างแม่พิมพ์เพื่อหล่อชิ้นงานแล้ว ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบงานที่หล่อเรซิ่นกับงานโลหะคาร์บอน และพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการตรวจพินิจ

3.1 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบงานที่หล่อเรซิ่นกับงานโลหะคาร์บอนได้ทำการเปรียบเทียบชิ้นงานที่หล่อออกมาทั้งที่เป็นแบบหล่อที่เป็นแบบท่อ และที่เป็นแบบเพลทต่อชน ทั้งด้าน ความสามารถในการมองเห็นรอยความไม่ต่อเนื่อง ขนาดรอยบกพร่อง และการบิดเบี้ยว

3,2 การทดลองเพื่อหาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการตรวจพินิจ โดยทดสอบกับผู้ที่ผ่านการฝึกอบรมด้านการตรวจพินิจจำนวน 32 ชั่วโมง ซึ่งเป็นผู้มีวุฒิการศึกษาขั้นต่ำประกาศนียบัตรวิชาชีพขั้นสูงจนถึงปริญญาโท อายุอยู่ในช่วง 24 ถึง 38 ปี ทดสอบตัวแปรที่สำคัญ 3 ประการคือ

3.2.1 ผลกระทบของความสว่าง

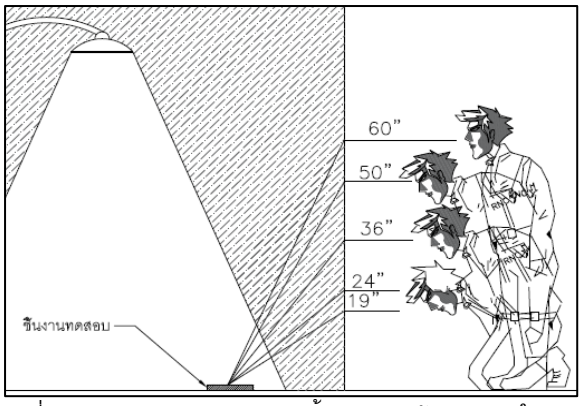
ได้ทำการตรวจรอยแตกร้าวขนาดเล็กที่วางตัวขนานกันอยู่ในแนวตามขวางในแนวเชื่อมจำนวน 10 รอย ย้ายชิ้นงานดังกล่าวไปตามสถานีซึ่งแต่ละสถานีมีความสว่างเท่ากับ 60 110 150 200 250 320 500 1,000 1,250 ลักซ์ ตามลำดับ บันทึกจำนวนรอยที่ผู้ทดสอบมองเห็นในแต่ละสถานี ความสว่างในแต่ละสถานีดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงความสว่างของแสงในแต่ละสถานีในการทดสอบ

3.2.2 ผลกระทบของระยะการมอง

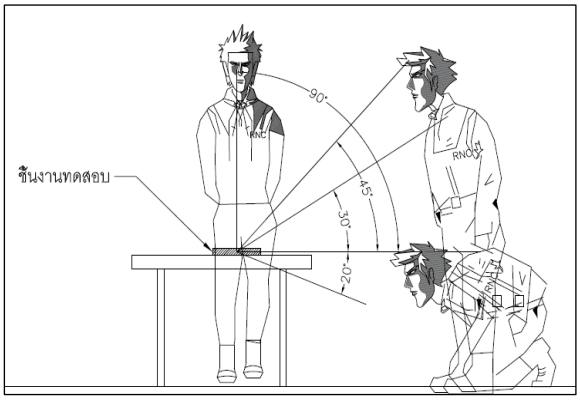
นำชิ้นงานเชื่อมที่มีรอยแตกขนาดเล็กจำนวน 4 รอยให้ผู้ทดสอบทั้ง 15 คนตรวจนับจำนวนรอยที่มองเห็น ที่ระยะห่างต่างๆ กันโดยปรับระยะห่างของการมองห่างจากชิ้นงานทดสอบที่ระยะ 19,24,36,50 และ 60 นิ้ว ตามลำดับปรับค่าความสว่างของแสงอยู่ที่ 1000 ลักซ์



รูปที่ 3 แสดงระยะห่างระหว่างชิ้นงานและผู้ตรวจสอบในการทดสอบด้วยสายตา [7]

3.2.3 ผลกระทบของมุมเอียง

กำหนดให้ผู้ทดสอบทั้ง 15 คนเริ่มมองรอยแตกร้าวตามขวางขนาดใหญ่ที่มีอยู่ในงานเชื่อมจำนวน 1 รอย กำหนดให้ระยะห่างของการมองคงที่คือ 19 นิ้ว และความสว่างของแสงคือ 1,000 ลักซ์ เริ่มการทดลองโดยให้มองจากที่มุม 0 องศา และขยับขึ้นมาจนถึงมุม 30 องศา จากนั้นให้มองที่มุม 45 และ 90 องศา ตามลำดับ



รูปที่ 4 แสดงการทดสอบที่มุมมองต่าง ๆระหว่างชิ้นงานและสายตาของผู้ทดสอบ [7]

4.ผลการทดลอง

ผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

4.1 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบงานที่หล่อเรซิ่นกับงานโลหะคาร์บอน

ชิ้นงานที่หล่อจากเรซิ่นมีลักษณะรอยบกพร่องเหมือนกับต้นแบบที่เป็นโลหะประโยชน์ที่เห็นได้ชัดเจนคือสามารถหล่อขึ้นได้หลายชิ้นที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ ทำให้สะดวกต่อการไว้ใช้เป็นอุปกรณ์การสอน มีน้ำหนักเบาทำให้ขนย้ายได้สะดวก และไม่เป็นสนิม ขนาดของรอยบกพร่องมีขนาดเล็กกว่าขนาดจริงเล็กน้อยตามขนาดของสัมประสิทธิ์การหดตัว สีของผิวชิ้นงานเรซิ่นสามารถปรับได้ตามสีที่ผสมลงไปในขณะการหล่อชิ้นงาน ข้อเสียของชิ้นงานคือชิ้นงานที่เป็นเพลทขนาดบางอาจเกิดการบิดตัว จะต้องระมัดระวังในการถอดชิ้นงานออกจากแบบ และสีของชิ้นงานไม่มันวาวเหมือนสีของโลหะ

4.2 ผลการทดลองเพื่อหาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการตรวจพินิจ

4.2.1 ผลกระทบของความสว่าง

ผู้ทดสอบทั้ง 15 คน เริ่มเห็นรอยบกพร่องที่ความสว่างไม่เท่ากัน แต่ทุกคนเห็นรอยบกพร่องได้ที่ความสว่าง 250 ลักซ์ ซึ่งที่ความเข้มนี้มีจำนวน 3 คนที่เห็นครบทั้ง 10 รอย มี 1 คนที่เห็นรอยบกพร่องเพียง 2 รอย

ที่ความเข้ม 1,000 ลักซ์ ผู้ทดสอบจะเห็นรอยบกพร่องจำนวนมากที่สุด ผู้ทดสอบเห็นครบทั้ง 10 รอย เพิ่มเป็น 6 คน ผู้ที่เห็นรอยบกพร่องน้อยที่สุดคือ 7 รอยจำนวน 4 คน แต่เมื่อเพิ่มความเข้มของแสงเป็น 1,250 ลักซ์ ไม่ทำให้เห็นรอยบกพร่องมากขึ้น แต่กลับให้เกิดการสะท้อนทำให้มองได้ยากยิ่งขึ้น แสดงให้เห็นว่าการมองเห็นจำนวนรอยบกพร่องมีผลจากความสว่างของแสง และความสามารถในการมองเห็นของผู้ทดสอบ

4.2.2 ผลกระทบของระยะการมอง

ผู้ทดสอบไม่สามารถเห็นรอยบกพร่องที่ระยะ 60 นิ้วได้ ที่ระยะ 50 นิ้วเริ่มมองเห็นรอบบกพร่องแต่ไม่ครบ 4 รอย ที่ระยะ 36 นิ้ว มีจำนวน 4 คนที่เห็นรอยบกพร่องครบ 4 รอย ผู้ทดสอบเห็นรอยบกพร่องครบ 4 รอยทุกคนที่ระยะ 19 นิ้ว โดยที่ระยะ 24 นิ้วมีผู้เห็นรอยไม่ครบทั้ง 4 รอย คือเห็น 2 รอยบกพร่อง จำนวน 1 คน

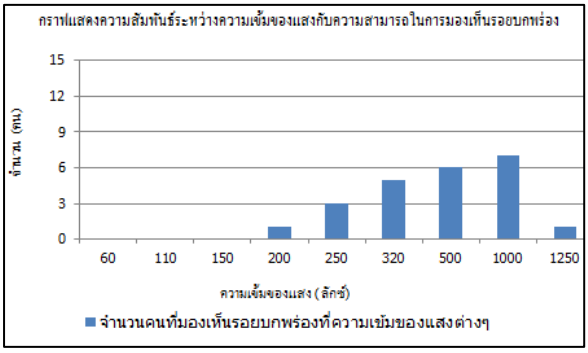
4.2.3 ผลกระทบของมุมเอียง

ผู้ทดสอบทั้ง 15 คนไม่สามารถมองเห็นรอยบกพร่องที่มุมต่ำกว่า 30 องศาได้ จะเริ่มเห็นที่มุม 30 องศา และเห็นชัดเจนขึ้นที่มุม 30 องศา

5.สรุปผลการทดลอง

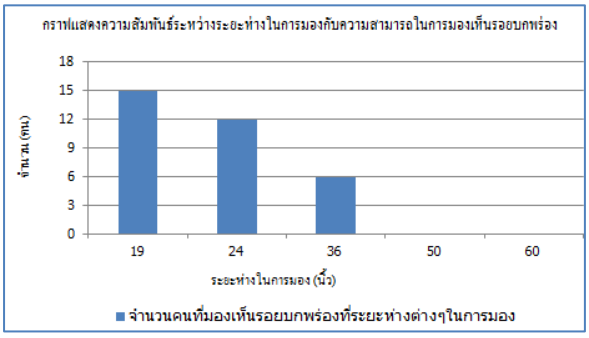
จากงานวิจัยพบว่ารอยบกพร่องที่ผิวบนชิ้นงานสามารถสร้างขึ้นมาได้โดยใช้เทคนิคการเชื่อม แม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นที่หล่อชิ้นงานจากเรซิ่นมีประโยชน์ในการใช้เป็นชิ้นงานสำหรับใช้ในการฝึกอบรม มีน้ำหนักเบา ราคาถูกและไม่เป็นสนิม แสงสว่างที่เหมาะสมในการตรวจสอบแบบพินิจ

ในการมองรอบร้าวขนาดเล็กคือ 1,000 ลักซ์



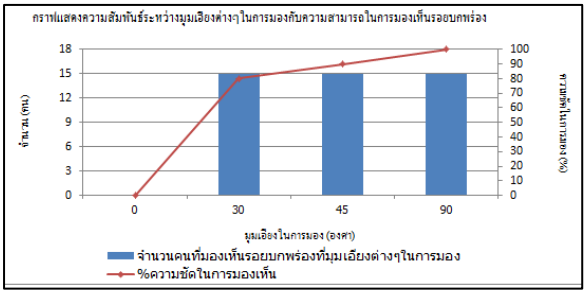
รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงกับความสามารถในการมองเห็นรอยบกพร่อง

มุมในการมองชิ้นงานทดสอบต้องไม่ต่ำกว่า 30 องศา



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างในการมองกับความสามารถในการมองเห็นรอยบกพร่อง

ระยะห่างของการมองไม่ควรเกิน 24 นิ้ว โดยระยะที่ทำให้เห็นรอยบกพร่องครบในงานวิจัยนี้คือ 19 นิ้ว



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงต่างๆในการมองกับความสามารถในการมองเห็นรอยบกพร่อง

6.เอกสารอ้างอิง

[1] ASME B31.1-2012(Revision of ASME B31.1-2010) Process Piping.

[2] ASME Section V (None Destructive Examination) 2012

[3] Dang Thien Ngon1, Phan Van Toan2, Research and proposal on welding technique for longitudinal crack defect welding, Ho Chi Minh city, Vietnam ,2015

[4] มงคล สีนะวัฒน์, 2545 การผลิตชิ้นงานทดสอบที่มีรอยบกพร่องในงานเชื่อมสำหรับการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย, งานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[5] Welding Handbook Ninth Edition Volume 2 (Welding Process, Part 1), 2009

[6] ทองเงิน มีนาม, 2550. กรณีศึกษาสร้างชิ้นงานจำลองสิ่งบกพร่องบริเวณพื้นผิวชิ้นงานเชื่อม โดยกระบวนการแม่พิมพ์แข็งตัวเร็ว,งานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[7] None Destructive Testing Handbook, Third Edition Volume 9 Visual Testing; 2010 Editor Patrick O. Moore

การจัดลำดับงานแบบผสมรุ่นเข้าสายการผลิตกระบวนการทำสี

Mixed model sequencing in painting production line

อัญชลี อินคำปา, เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อ.ทุ่งครุ จ. กรุงเทพฯ 10140 E-mail: tuanjai.som@kmutt.ac.th *

Unchalee Inkampa, Tuanjai Somboonwiwat *
Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thung Khru, Bangkok, 10140, E-mail: tuanjai.som@kmutt.ac.th *

บทคัดย่อ

กระบวนการพ่นสีของตัวถังรถยนต์และชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นกระบวนการทำงานแบบต่อเนื่องจากการชุบเคลือบสีกันสนิม (Electrode position paint ; EDP) โดยมีงานเข้ากระบวนการทุกชิ้นและส่งต่อเนื่องไปสู่กระบวนการพ่นสี (Painting process) ซึ่งแบ่งงานออกเป็น 2 กลุ่มตามเวลาการทำงานโดยแบ่งเป็นพ่นสี 1 และ 2 ตามลักษณะงาน ทำให้การดำเนินการผลิตแบบต่อเนื่องเป็นประเด็นสำคัญ มีปัญหาที่เกิดขึ้นคือการรองานของปริมาณงานการแยกเข้าแต่ละห้องพ่น ทำให้เกิดการรองานหรือไม่มีงานเข้าห้องพ่นสีบางห้อง บางช่วงเวลา ดังนั้นการจัดลำดับงานกระบวนการ EDP ไปสู่ห้องพ่นสีจึงเป็นปัญหาสำคัญ บทความนี้จึงพัฒนาวิธีการจัดลำดับการผลิตโดยการประยุกต์แบบผสมจากกระบวนการ EDP ไปสู่การพ่นสีในแต่ละห้อง โดยใช้วิธีการจัดส่งรุ่นผลิตภัณฑ์ Mix Model ด้วยอัตราคงที่ (Fixed Rate Launching) สำหรับการพ่นสีและการจัดลำดับงานเข้าสู่ EDP โดยวิธีการแก้ปัญหาการจัดลำดับงานการผลิตที่เหมาะสมซึ่งได้ประยุกต์กฎการทำงานที่จะถึงวันกำหนดส่งเร็วที่สุดก่อน (Earliest Due Date ; EDD) และวิธีการ Swap Pairwise Interchange เพื่อหาเวลารองานของเครื่องจักรน้อยที่สุด ผลการวิจัยพบว่าสามารถลดเวลารอคอย ส่งมอบงานทันความต้องการของลูกค้าและประสิทธิภาพการทำงานของฝ่ายงานพ่นสีเพิ่มขึ้น

คำหลัก การจัดลำดับงาน , สายการประกอบแบบผสม , กระบวนการพ่นสี

Abstract

Painting process of automobiles and automobile parts, which is a continuous process based on EDP (Electrode position paint; EDP). Through EDP, all work pieces will be continuously sent to the painting process. Work process can be divided into 2 groups based on the running time: Painting Room 1 and Painting Room 2. This leads to continuous operation. The problem that arises is waiting for workloads onto Painting Room. The grading process EDP to Painting Room is a major problem. Therefore, this paper aim to develop production sequencing method by applying EDP to painting process. It also applied Fixed Rate Launching for painting room and Earliest Due Date (EDD) for EDP process and Swap Pairwise Interchange for waiting time to a minimum of machine. The result found that the developed method could improve painting reduced waiting time, on time delivery, meeting customers wants and improved productivity of painting unit.

Keywords: sequencing, mixed model lines, painting process

1. บทนำ

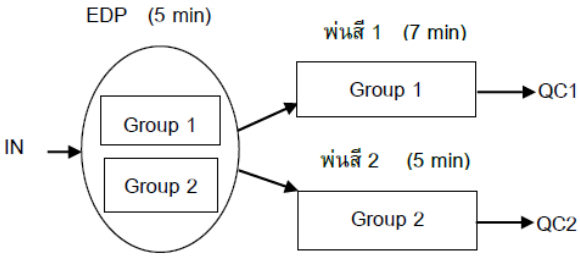
การวางแผนและจัดลำดับการผลิตเป็นบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมเนื่องจากสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าและสามารถชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตของหน่วยงานได้ ซึ่งการจัดลำดับการผลิตให้เหมาะสมกับเวลาและเครื่องจักรที่สามารถทำงานให้มีประสิทธิภาพเป็นปัจจัยสำคัญเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและยังสามารถแข่งขันกับผู้ผลิตรายอื่นได้ด้านเวลาส่งมอบและรองรับกับการเปลี่ยนแปลงของลูกค้าได้

บทความนี้มุ่งเน้นกรณีศึกษาโรงงานชุบเคลือบสีกันสนิม พ่นเคลือบสี ตัวถังรถยนต์และชิ้นส่วน โดยมีการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow Shop Scheduling) จากกระบวนการชุบสีกันสนิม(Electrode position paint ; EDP) ต่อเนื่องไปจนถึงกระบวนการพ่นสีซึ่งต้องแยกงานออกเป็น 2 ส่วนเข้ากระบวนการพ่นสี 1 และพ่นสี 2 โดยกระบวนการพ่นสีทั้ง 2 ทำงานอิสระต่อกันและใช้เวลาต่างกันแต่รับงานจากกระบวนการชุบสีกันสนิมเหมือนกัน ซึ่งการจัดลำดับการผลิตในปัจจุบันอาศัยประสบการณ์ของผู้ทำงาน พบว่ามีปัญหาที่เกิดขึ้นคือ work in process มีมากเกินพื้นที่จะสามารถจัดเก็บได้ในกระบวนการระหว่างก่อนเข้าพ่นสี Stock งานในบางช่วงเวลาและบางงานมีมากเกินไปกระบวนการตรวจสอบหลังจากพ่นสี การเดินเครื่องจักรรองานของเครื่องพ่นสีและเครื่อง EDP ส่งผลทำให้การส่งงานลูกค้าล่าช้า สาเหตุมาจากการจัดลำดับการทำงานระหว่างกระบวนการ EDPและพ่นสี ไม่สัมพันธ์กับความต้องการที่แท้จริง การกำหนดระยะเวลางานเข้าทำงานไม่สอดคล้องกัน บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดลำดับการผลิตเข้าเครื่องจักรให้เหมาะสมกับเวลาการผลิตและลดเวลาการรอคอยงานเข้าเครื่องจักรของกระบวนการผลิตฝ่ายงานสี

พงศกร(2556) ได้ออกแบบการจัดลำดับสายการตรวจสอบคุณภาพรถยนต์ขั้นสุดท้ายแบบผสมรุ่นเนื่องจากมีรถยนต์ 5 รุ่นที่ต้องการตรวจสอบพร้อมๆกันในแต่ละชั่วโมง อัตราความต้องการต่อชั่วโมงแต่ละรุ่นมีความแตกต่างกัน ส่งผลให้ปัญหาผลผลิตไม่ได้ตามเป้าหมาย โดยประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์หาความเร็วที่เหมาะสมของสายพานในการตรวจสอบออกแบบลำดับพนักงานและลำดับรถยนต์ลงสู่สายพานการตรวจสอบแบบอัตราคงที่ (Fixed rate launching) อภันตรี(2552) ได้แก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตของเลนส์ในกระบวนการ Anti-Reflection เนื่องจากความหลากหลายของขนาดชิ้นงานส่งผลให้ส่งงานล่าช้ากว่ากำหนด โดยพัฒนาวิธีการจัดตารางการผลิตโดยอาศัยหลักการฮิวริสติกมาประยุกต์ใช้โดยใช้หลักเกณฑ์ทำงานที่จะถึงวันส่งกำหนดส่งเร็วที่สุดก่อน (Earliest Due Date ; EDD) วัชรพงษ์(2556) การจัดลำดับงานแบบผสมของสายการประกอบชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยอัตราคงที่ Pamela Michele C. Cortez and Alysson M. Costa(2011) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการแก้ปัญหาไฮบริดสำหรับลำดับผสมรูปแบบสายการผลิตของคนงานคนพิการ

2. ลักษณะของปัญหา

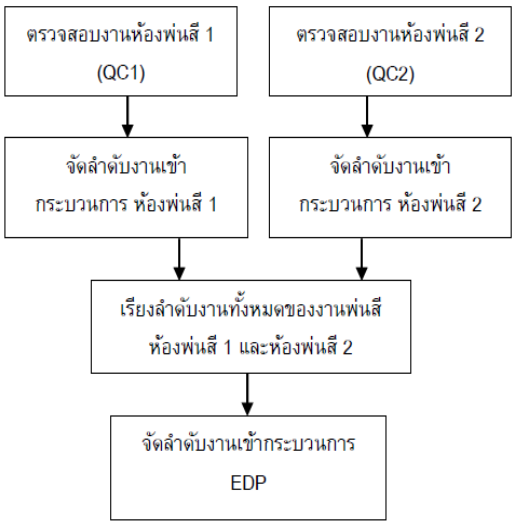
การดำเนินการในการปรับปรุงกระบวนการที่มีผลกระทบต่อกระบวนการของฝ่ายงานสี ซึ่งเป็นสาเหตุที่ไม่สามารถส่งมอบให้แก่ลูกค้าได้ตามเป้าหมาย จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าปัญหาด้านการผลิตระหว่างการจัดงานเข้าห้องพ่นสี 1, ห้องพ่นสี 2 และ EDP เป็นปัญหาด้านการจัดลำดับงานเข้ากระบวนการ ผู้ดาเนินการจึงศึกษาลักษณะและทำการวิเคราะห์สาเหตุเพื่อพัฒนาแนวทางแก้ไขปรับปรุงและจัดทำเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานให้ถูกต้องเหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของฝ่ายงานสี จากข้อมูลฝ่ายงานสีรถยนต์และชิ้นส่วนต้องผ่านกระบวนการ EDP และพ่นสีทุกรุ่น โดยมีการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow Shop Scheduling) จากกระบวนการชุบสีกันสนิมต่อเนื่องไปจนถึงกระบวนการพ่นสีซึ่งต้องแยกงานออกเป็น 2 ส่วนเข้ากระบวนการพ่นสี 1 และพ่นสี 2 โดยกระบวนการพ่นเคลือบสีทั้ง 2 ทำงานอิสระต่อกันและใช้เวลาต่างกันแต่รับงานจากกระบวนการชุบสีกันสนิมเหมือนกัน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในสายการผลิตคือผลผลิตไม่ได้ตามเป้าหมาย มีบางช่วงเวลาเครื่องจักรเดินรองาน ส่งผลถึงการส่งมอบงานให้ลูกค้าและการเปิดการทำงานล่วงเวลา



รูปที่ 1 กระบวนการทำงานของฝ่ายงานสี

3. วิธีการแก้ปัญหา

ผู้ทำการวิจัยโดยการศึกษาแบบเฟสย้อนกลับโดยเริ่มจัดการจากกระบวนการ QC1และQC2 ย้อนกลับไปพ่นสี 1 และ พ่นสี 2 สุดท้ายคือกระบวนการชุบเคลือบสี ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการจัดลำดับงาน

โดยชิ้นงานต่อ Pallet ในกระบวนการ EDP และพ่นสีมีจำนวนไม่เท่ากันดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนชิ้นงานต่อ Pallet ของแต่ละกระบวนการ

ชื่องาน	จำนวนงานต่อ Pallet		
	EDP	Spray1	Spray2
D22	1	1	-
Yan	24	8	-
F/D	2	2	
D/L	50	-	5
D/R	40	-	10
Hood	8	-	4
TKC	63	-	21
Ta	2	-	2

จากรูปที่ 2 ขั้นตอนการตรวจสอบงานเข้าห้องพ่นสี1 และห้องพ่นสี 2 ใช้การวิเคราะห์โดยหาจำนวนคนงาน ณ จุดตรวจสอบ วิเคราะห์สมดุล และ การกำหนดระยะห่างของเวลาที่ใช้ปล่อยงานเข้าสู่การตรวจสอบ (Fixed Rate Launching) จากสมการทางคณิตศาสตร์

$$T_{cf} = \frac{\frac{1}{R_p}\sum_{j=1}^{p} R_{pj}T_{wcj}}{wE_rE_b} \qquad (1)$$

จากสมการกำหนดให้

T_{cf} = เวลาล่วงไประหว่างการจัดส่ง: นาที

R_p = อัตราการผลิตรวมทุกรุ่น

R_{pj} = อัตราการผลิตของโมเดล j : หน่วย / ช.ม

T_{wcj} = เวลาการทำงานของโมเดล j: นาที / หน่วย

P = จำนวนของรุ่นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตใน ช่วงเวลา; j = 1, 2,3,…P

W = จำนวนคนงาน

E_r = ประสิทธิภาพการเคลื่อนตำแหน่ง

E_b = ประสิทธิภาพการจัดสมดุลการผลิต

ขั้นตอนการจัดลำดับงานเข้ากระบวนการห้องพ่นสี 1 และ 2 จากสมการการคำนวณหาลำดับการจัดส่งรุ่นผลิตภัณฑ์

$$\sum_{h=1}^{m}(T_{cjh} - mT_{cf})^2 + \frac{R_{pj}}{Q_{jm}} \qquad (2)$$

จากสมการกำหนดให้

T_{cjh} = รอบเวลาของการทำงานเมื่อโมเดล j ด้วยการที่โมเดล j มีตำแหน่งการส่งที่ h;นาที

R_{pj} = จำนวนของโมเดล j ที่ถูกผลิตในช่วงเวลาซึ่งเป็นอัตราการผลิตของโมเดล j; หน่วย / ชม.

m = ลำดับขั้นระหว่างช่วงเวลาที่สนใจ

Q_{jm} = จำนวนของโมเดล j ที่คงค้างการจัดส่งเพื่อทำการจัดส่งในช่วงเวลานั้นๆที่ m (หมายเลขลำดับการจัดส่ง) เพิ่มเติม; หน่วย / ชม.

และนำข้อมูลเวลาที่ต้องการเข้าห้องพ่นสีของทั้ง 2 ห้อง จัดเรียงลำดับความต้องการของเวลาจากน้อยไปมาก

ตารางที่ 2 เรียงเวลาจากที่ต้องการเข้าห้องพ่นสี 1และ 2

ลำดับ	เวลาเริ่มต้น	ชนิดงาน	จำนวนงานเข้าห้องพ่น	ห้องพ่นสี 1	ห้องพ่นสี 2
1	0	TKC	21		✓
2	0	F/D	2	✓	
3	5	Hood	4		✓
4	7.36	F/D	2	✓	
5	10	TKC	21		✓
6	14.72	Yan	8	✓	
7	15	D/L	5		✓
8	20	D/R	10		✓
9	22.08	D22	1	✓	
10	25	D/L	5		✓
11	29.44	D22	1	✓	
12	30	Hood	4		✓
13	35	TKC	21		✓
14	36.8	Yan	8	✓	
15	40	D/L	5		✓
16	44.16	D22	1	✓	
17	45	Ta	2		✓
18	50	D/L	5		✓
19	51.52	F/D	2	✓	
20	55	D/L	5		✓

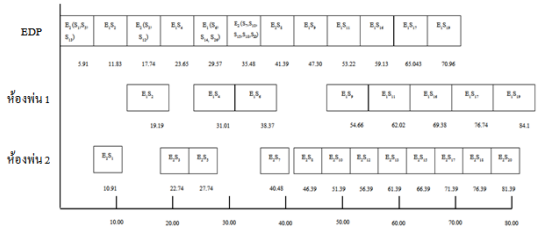
จากตารางที่ 2 เมื่อได้ลำดับเวลาที่ต้องการนำมาจัดลำดับโดยเริ่มจากกระบวนการชุบเคลือบสีโดยจัดลำดับจากเวลาที่ต้องการโดยวิธีการ Earliest Due Date: EDD และแสดงรายละเอียดตารางการผลิตโดยใช้แผนภูมิแกนต์

โดยกำหนด

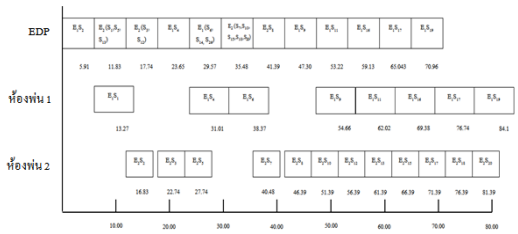
E_1 = งานผ่านกระบวนการ EDPประเภทของห้องพ่นสี 1

E_2 = งานผ่านกระบวนการ EDPประเภทของห้องพ่นสี 2

$S_1,S_2,S_3,\ldots,S_{20}$ = ลำดับการเข้าห้องพ่นสี1และ2



รูปที่ 4 แผนภูมิแกนต์จัดลำดับเข้ากระบวนการชุบเคลือบสีแบบที่ 1



รูปที่ 5 แผนภูมิแกนต์จัดลำดับเข้ากระบวนการชุบเคลือบสีแบบที่ 2

4. ผลการวิจัย

บทความนี้นี้ได้จำแนกปัญหาที่ทำการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนของกระบวนการพ่นสีใช้ปัญหาจากกรณีศึกษาพบว่าหากจัดลำดับการผลิตตามบทความนี้สามารถลดเวลารอคอยงานห้องพ่นสี 1 จากเวลาที่สูญเสีย 36% ลดลงเหลือ 10.8 % และห้องพ่นสี 2 จากเวลาที่สูญเสีย 12% ลดลงเหลือ 4.8% และกระกระบวนการเคลือบชุบสีทำการทดลองโดยใช้กฎ EDD โดยนำเวลาที่ห้องพ่นสี 1 และ 2 ต้องการมาเรียงจากเวลาที่ต้องการก่อนเป็นลำดับต้น แต่มีเวลาที่ต้องการตรงกันคือลำดับที่ 1 และ 2 จึงนำมาหาค่า Waiting Time น้อยที่สุดโดยวิธีการ Swap Pairwise Interchange เมื่อเรียงลำดับเข้ากระบวนการชุบเคลือบสีแบบที่1 โดยการจัดลำดับงานได้ดังนี้

$E_2S_1 \rightarrow E_1S_2 \rightarrow E_2S_3 \rightarrow E_1S_4 \rightarrow E_2S_5 \rightarrow E_1S_6 \rightarrow E_2S_7 \rightarrow E_1S_8 \rightarrow E_1S_9 \rightarrow E_2S_{10} \rightarrow E_1S_{11} \rightarrow E_2S_{12} \rightarrow E_2S_{13} \rightarrow E_1S_{14} \rightarrow E_2S_{15} \rightarrow E_1S_{16} \rightarrow E_2S_{17} \rightarrow E_2S_{18} \rightarrow E_1S_{19} \rightarrow E_2S_{20}$

พบ Waiting Time ของห้องพ่นสีรวมกันทั้ง 2 ห้องคือ

เวลา 45.88 นาที เมื่อเรียงลำดับเข้ากระบวนการชุบเคลือบสีแบบที่2 โดยการจัดลำดับงานได้ดังนี้

$E_1S_1 \rightarrow E_2S_2 \rightarrow E_2S_3 \rightarrow E_1S_4 \rightarrow E_2S_5 \rightarrow E_1S_6 \rightarrow E_2S_7 \rightarrow E_1S_8 \rightarrow E_1S_9 \rightarrow E_2S_{10} \rightarrow E_1S_{11} \rightarrow E_2S_{12} \rightarrow E_2S_{13} \rightarrow E_1S_{14} \rightarrow E_2S_{15} \rightarrow E_1S_{16} \rightarrow E_2S_{17} \rightarrow E_2S_{18} \rightarrow E_1S_{19} \rightarrow E_2S_{20}$

พบ Waiting Time ของห้องพ่นสีรวมกันทั้ง 2 ห้องคือ เวลา 46.61 นาที

5. สรุป

บทความใช้วิธีการแก้ปัญหาโดยวิธีการจัดส่งรุ่นผลิตภัณฑ์ Mix Model ด้วยอัตราคงที่ (Fixed Rate Launching) สำหรับการพ่นสีจากวิธีการทำงานแบบเดิมที่ไม่มีแบบแผนอาศัยประสบการณ์ของผู้ทำงาน และการจัดลำดับงานเข้าสู่กระบวนการชุบเคลือบสีกันสนิม โดยวิธีการEarliest Due Date และวิธีการ Swap Pairwise Interchange เพื่อหาเวลารองานของเครื่องจักรน้อยที่สุด จากวิธีการทำงานแบบเดิมคือ First Come First Serve ซึ่งสามารถลดเวลาการรอคอยงานเข้าของเครื่องจักรทั้งระบบฝ่ายงานสีได้จาก 27% ลดลงเหลือ 6.8% คิดเป็น 74.81%

เอกสารอ้างอิง

[1] พิภพ ลลิตาภรณ์,2545,ระบบการวางแผนและควบคุม การผลิต,พิมพ์ครั้งที่ 12,สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ,หน้า 327-643. [2] กิตติ อินทรานนท์, การยศาสตร์, สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548

[2] ปารเมศ ชุติมา,2556,เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน,บริษัท แอคทีฟ พริ้นท์ จำกัด, กรุงเทพฯ,หน้า87-111.

[3] แสนศักดิ์ เหล่าพร,2553,การจัดลำดับรถยนต์แบบผสมรุ่นเข้าสู่สถานีตรวจสอบขั้นสุดท้ายแบบผันแปร,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,หน้า63-97.

[4] เอกราช สาทรานนท์,2552,การจัดลำดับงานแบบผสมของสายการประกอบแบบขนานด้วยอัตราคงที่, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,หน้า58-96.

[5] วัชรพงษ์ สารบุญเรือง,2556,การจัดลำดับงานแบบผสมของสายการประกอบชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยอัตราคงที่,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,หน้า38-69.

[6] พงศกร วินิจสร,2556,การออกแบบการจัดลำดับสายการตรวจสอบคุณภาพรถยนต์ขั้นสุดท้ายแบบผสมรุ่น,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,หน้า37-75.

[7] อภันตรี สาหร่าย ,2552,การจัดตารางการผลิตเลนส์ในกระบวนการ Anti-Reflection,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,หน้า24-56.

[8] กัญชลา สุดตาชาติ, อิวริสติกสำหรับการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนาน กรณีมีเวลาติดตั้งเครื่องจักรและมีข้อจำกัดของเครื่องจักร , วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่5 ฉบับที่2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2552

[9] Pamela Michele C. Cortez and Alysson M. Costa., " A mathematical model and a hybrid heuristic for sequencing mixed-model assembly lineswith disabled workers ",ข้อมูลจาก http://www.ms.unimelb.edu.au/~acosta/articles/conf-cortez11mathematical.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 เมษายน 2558)

การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตหีบศพไทยชนิดหนึ่งชั้นผ้าด้วยเทคนิคตัวยึดจับ

Increasing Efficiency of Cloth Thai Coffin Production by Using Fixture Technique

เฉลิมเกียรติ ศรีศิลา[1*] และ วชิราภรณ์ นพคุณ[1]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
E-mail: Srisila@hotmail.com[*]

Chalermkiet Srisila[1*] and Wachiraporn Noppakun[1]
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakhonratchasima, 30000
E-mail: Srisila@hotmail.com[*]

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตหีบศพไทยชนิดหนึ่งชั้นผ้า จากการศึกษาพบว่า กระบวนการผลิตหีบศพไทยชนิดหนึ่งชั้นผ้าแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ การเลื่อยไม้ การประกอบ การพ่นสี และการตกแต่งติดลาย ข้อมูลด้านเวลาที่ใช้ในการทำงานชี้ว่า ขั้นตอนการประกอบใช้เวลานานมาก ทำให้เกิดคอขวดในการผลิตโดยรวม ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำปัญหาดังกล่าวมาดำเนินการแก้ไข เริ่มจากการศึกษาขั้นตอนการประกอบหีบศพอย่างละเอียด การสังเกต และจับเวลาหาขั้นตอนการประกอบที่เป็นปัญหา การวิเคราะห์หาสาเหตุจากแผนภูมิก้างปลา ตลอดจนดำเนินการแก้ไขปรับปรุงด้วยเทคนิคการใช้ตัวจับยึดเข้าช่วยโดยสร้างโต๊ะที่ติดตั้งอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสำหรับช่วยทำงานใน 7 ขั้นตอน จาก 11 ขั้นตอน ของขั้นตอนการประกอบ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดเวลาในการประกอบหีบศพจากของเดิมลงอย่างน้อย 50% ผลการดำเนินงาน สามารถลดเวลาในขั้นตอนการประกอบหีบศพลง 57.40% จากเดิมใช้เวลาในการประกอบหีบศพ 45.94 นาที เหลือ 19.57 นาที

คำสำคัญ หีบศพไทย, เทคนิคตัวจับยึด, การผลิตหีบศพ

Abstract

The objective of this project was to increase the efficiency in the production of cloth Thai coffin. The 4-step procedures found in this study were wood sawing, assembly, spraying and decorative designs. The data showed that time spent in the process of the coffin takes assembly very long. This causes bottleneck in overall production process. From the problems found, they were resolved. To begin with, the detail of coffin assembly was studied. Steps of the problems were observed and measured. The causes were analyzed from fish bone. By using Fixture Technique, a table with a fixture was made in order to run 7 steps from 11 steps of the assembly process. The target was to reduce the time in the coffin at least 50%. The result show that it can reduce the time in the process of the coffin down 57.40%, from 45.94 minutes to 19.57 minutes.

Keywords: Thai Coffin, Fixture Technique, Production of Coffin.

1. บทนำ

เมื่อมีการเสียชีวิตเกิดขึ้น ญาติผู้ตายจะมีพิธีไว้อาลัยศพ อุปกรณ์ที่จำเป็นอันดับแรกคือหีบศพสำหรับบรรจุผู้เสียชีวิต หีบศพของในประเทศไทย ในปัจจุบันนิยมใช้ไม้อัดมาเลื่อยตัดเป็นแผ่นประกอบโลง ภายนอกอาจใช้โลงที่มีลวดลายครอบอีกชั้นหนึ่งเพื่อความสวยงาม แต่เมื่อจะนำไปเผาหรือฝัง ก็จะถอดโลงชั้นนอกออก(วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2015 [1]) หีบศพทั่วๆ ไปมี 3 ประเภท ได้แก่ หีบศพไทย หีบศพจีน และหีบศพคริสต์ วัสดุที่ใช้ในการผลิตหีบศพทั่วไปนิยมใช้ไม้ยางมากที่สุด ร้อยละ 35 รองลงมา ได้แก่ ไม้อัด ร้อยละ 20 ขนาดของหีบศพขึ้นอยู่กับขนาดร่างกายของศพ โดยทั่วไปยาวมาตรฐาน 1.80 เมตร และกว้างตั้งแต่ 18 นิ้ว 20 นิ้ว และ 22 นิ้ว ตามลำดับ (ศิรินันท์ กิตติสุขสถิตและวนิพพล มหาอาชา, 2549 [2]) ลักษณะของหีบศพมี 3 แบบ คือ แบบธรรมดาไม่เน้นลวดลาย แบบที่ 2 หีบศพมีสีสันจากการนำกระดาษสติ๊กเกอร์ หรือผ้ามาติดเป็นลวดลาย หีบศพชนิดนี้มีการออกแบบให้นำไปใช้คู่กับโลงเย็นได้ และแบบที่ 3 โลงศพโครงสร้างขนาดใหญ่ลักษณะคล้ายโครงสร้างบ้าน สำหรับความนิยมของผู้ซื้อหีบศพ พบว่าญาติผู้เสียชีวิตซื้อหีบศพไทยมากที่สุดร้อยละ 39 รองลงมาร้อยละ 36 ซื้อหีบศพจีน ราคาของหีบศพชนิดถูกจะมีราคาอยู่ระหว่าง 800 – 1,500 บาท และชนิดแพงจะมีราคาอยู่ระหว่าง 4,500 – 8,000 บาท (วิศรุต วงศ์เปียง, 2554 [3]) จากจำนวนคนตายของคนไทย ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาราคาขายหีบศพโดยเฉลี่ยประมาณ 4,500 บาทต่อโลง ธุรกิจขายโลงศพแต่ละปี จึงก่อให้เกิดรายได้ที่มีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 1,400 ล้านบาท (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2549 [4]) ธุรกิจขายโลงศพจึงเป็นธุรกิจที่สำคัญและน่าสนใจทำได้ทุกจังหวัดทุกอำเภอ จากการเข้าไปศึกษาข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษาซึ่งเป็นผู้ผลิตหีบศพแบบไทยชนิด 1 ชั้นผ้าเพื่อจำหน่ายในจังหวัดนครราชสีมาและบุรีรัมย์ พบว่า กระบวนการผลิตหีบศพยังใช้วิธีการผลิตแบบดั้งเดิมอยู่ขาดการนำเอาเทคโนโลยีมาสนับสนุน ทำให้ได้ผลผลิตต่ำ ต้นทุนสูง และใช้แรงงานมาก นอกจากนี้ลักษณะการบริหารงานยังไม่มีรูปแบบที่แน่นอน สอดคล้องกับข้อมูลของผู้วิจัยเดิมที่มีอยู่คือ การผลิตหีบศพ เป็นธุรกิจเฉพาะไม่ค่อยมีนักวิชาการเข้าไปเกี่ยวข้อง อันอาจเกิดจากความเชื่อและความกลัวว่าหีบศพเป็นสิ่งอัปมงคล ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับคู่แข่งในอนาคต คณะผู้วิจัยจึงขอนำเสนอโครงการวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตหีบศพไทยชนิดหนึ่งชั้นผ้าด้วยเทคนิคตัวยึดจับ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือเพื่อลดเวลาในผลิตหีบศพลง โดยมีขอบเขตหลักคือลดเวลาการผลิตในขั้นตอนการประกอบอย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์

2. วิธีการวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูลสภาพปัจจุบันและปัญหา

ผู้วิจัยได้เข้าไปศึกษาข้อมูลพบว่า หีบศพ 1 ชั้นผ้ามีขั้นตอนการผลิตทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ

2.1.1 การเตรียมชิ้นส่วน กระทำโดยเลื่อยไม้ให้ได้ขนาดก่อนทำการประกอบ ไม้ที่ใช้ในการเลื่อยเป็นไม้อัดชานอ้อยขนาดหนา 8 มิลลิเมตร ชิ้นส่วนที่ต้องเลื่อยเตรียมมีทั้งหมด 15 แบบ วิธีการคือยกไม้ขึ้นบนโต๊ะและใช้เลื่อยวงเดือนซอยตัด ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ลักษณะการเลื่อยเตรียมชิ้นส่วนไม้ทำหีบศพ

2.1.2 การประกอบหีบศพ เป็นการนำไม้ชิ้นส่วนที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาประกอบเข้าด้วยกันทีละชิ้นด้วยกาวลาเท็กซ์และปืนลมยิงตะปู ชิ้นส่วนที่นำมาประกอบมีทั้งหมด 38 ชิ้น มีขั้นตอนการประกอบรวมทั้งสิ้น 10 ขั้นตอน และใช้คนงานช่วยกันจำนวน 2 คน ลักษณะของการประกอบแสดงดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 การประกอบหีบศพ

2.1.3 ขั้นตอนการทำสี เป็นการนำหีบศพที่เสร็จสิ้นจากขั้นตอนการประกอบมาพ่นสีเพื่อความสวยงามและรักษาเนื้อไม้ให้คงทน การพ่นสีหีบศพแสดงดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 แสดงการพ่นสีหีบศพ

2.1.4 การตกแต่งและติดลาย เป็นขั้นตอนสุดท้ายกระทำโดยนำหีบศพที่ได้จากการทำสี มาตกแต่งติดลวดลายต่างๆ สิ่งที่ใช้ในการตกแต่งหีบศพ ได้แก่ ผ้าลาย ลูกไม้ ลายเทพพนม พลาสติกลายโลง ที่นอน ลักษณะการตกแต่งและการติดลายหีบศพแสดงดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 แสดงการตกแต่งและการติดลายหีบศพ

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา พบว่า มียอดการผลิตเฉลี่ย 120 หีบต่อเดือน เวลาการทำงานของแต่ละขั้นตอนแสดงดังตารางที่ 1

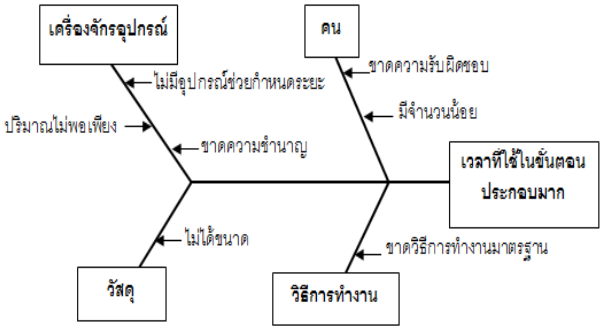
ตารางที่ 1 แสดงเวลาในการผลิตหีบศพต่อ 1 หีบในแต่ละขั้นตอนของบริษัทกรณีศึกษา

ขั้นตอนที่	ขั้นตอนการผลิต	เวลา (นาที)
1	การเตรียมชิ้นส่วน	26.48
2	การประกอบหีบศพ	45.94
3	การทำสี	28.10
4	การตกแต่งและติดลาย	28.21

จากตารางที่ 1 พบว่า หีบศพใช้เวลาในการประกอบมาก หากทำการปรับปรุงให้เร็วขึ้นจะสามารถเพิ่มจำนวนของการผลิตหีบศพโดยรวมได้

2.2 แนวความคิดในการแก้ไข

คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์หาสาเหตุของความล่าช้าด้วยแผนผังก้างปลา ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนผังก้าวปลาวิเคราะห์สาเหตุของความล่าช้าในขั้นตอนของการประกอบหีบศพ

จากสาเหตุที่รวบรวมในแผนผังก้างปลาคณะผู้วิจัยได้สรุปผลแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เป็นไปได้ คือ ต้องจัดทำอุปกรณ์จับยึดชิ้นส่วนในการประกอบหีบศพ

2.3 การดำเนินการจัดสร้างอุปกรณ์จับยึด

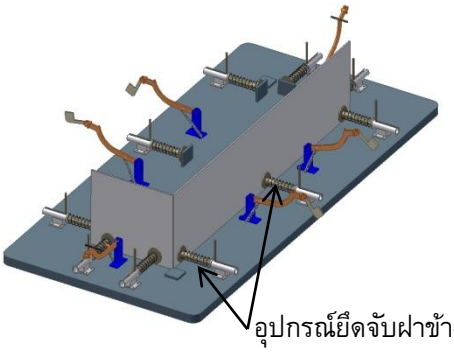
คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลอย่างละเอียด โดยใช้ขนาดตัวอย่าง 30 หีบศพ พบว่า ขั้นตอนการประกอบหีบศพมีทั้งหมด 10 ขั้นตอน เวลาในการประกอบเฉลี่ยต่อหีบในแต่ละขั้นตอนของพนักงานแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประกอบหีบศพหนึ่งหีบของพนักงานก่อนปรับปรุง

ขั้นตอนการประกอบ	เวลา (นาที)
ประกอบฝาหน้าหลังกับฝาข้าง	7.68
ประกอบฝาพื้นล่าง	4.59
เสริมพื้นแนวนอน	6.61
ประกอบฐาน	6.47
ประกอบเสริมพื้นแนวตั้ง	2.76
ประกอบขาตั้งสามเหลี่ยม	4.84
ประกอบคิ้วบนด้านนอก	5.64
ประกอบคิ้วบนด้านใน	5.82
ประกอบฝาบน	1.01
ตรวจสอบคุณภาพ	0.52
รวม	45.94

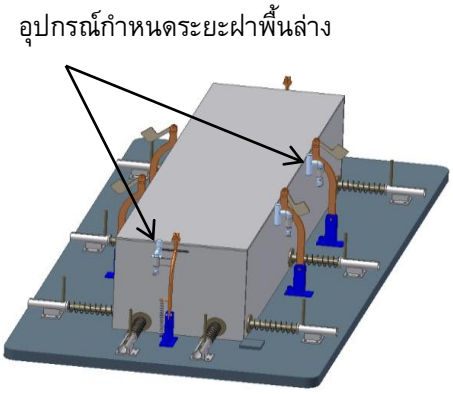
จากขั้นตอนการประกอบหีบศพทั้ง 10 ขั้นตอน คณะผู้วิจัยได้นำเอาอุปกรณ์ช่วยจับยึดงานมาช่วยในขั้นตอนของการประกอบหีบศพ 7 ขั้นตอน ดังนี้

2.3.1 ขั้นตอนการประกอบฝาข้างกับฝาหน้า-หลัง ได้ออกแบบการสร้างอุปกรณ์ช่วยประกอบโดยใช้แคมป์ล๊อกเข้ามาช่วย ดังแสดงในรูปที่ 6



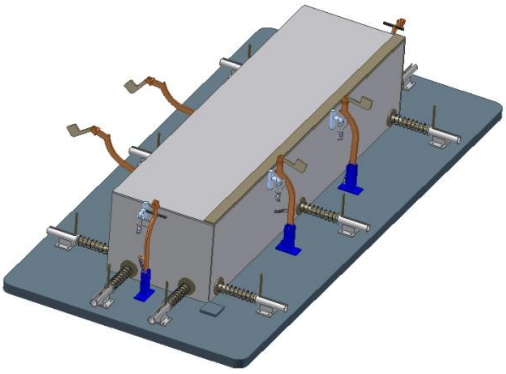
รูปที่ 6 แสดงการประกอบฝาข้างกับฝาหน้า-หลัง

2.3.2 ขั้นตอนการประกอบฝาพื้นล่าง ได้ออกแบบตัวกั้นกำหนดระยะเข้ามาช่วยในการประกอบ ดังรูปที่ 7



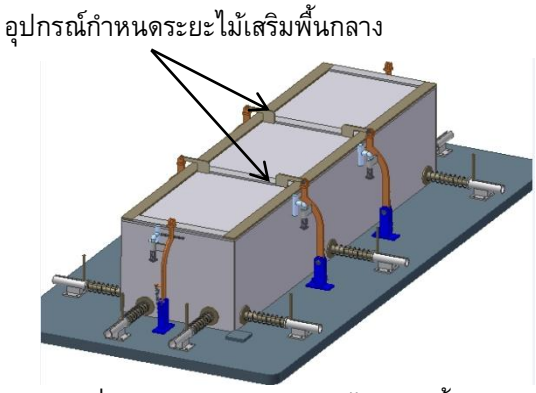
รูปที่ 7 แสดงการประกอบฝาล่างหีบศพ

2.3.3 ขั้นตอนการประกอบไม้เสริมพื้นด้านข้าง ได้ออกแบบให้ใช้ตัวกำหนดระยะเดียวกันกับฝาพื้นล่าง ดังรูปที่ 8



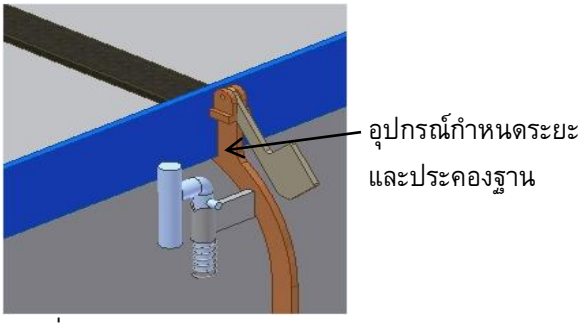
รูปที่ 8 แสดงการประกอบไม้เสริมพื้นแนวนอน

2.3.4 ขั้นตอนการประกอบไม้เสริมพื้นกลาง ได้ออกแบบใช้ตัวกำหนดระยะ ดังแสดงรูปที่ 9



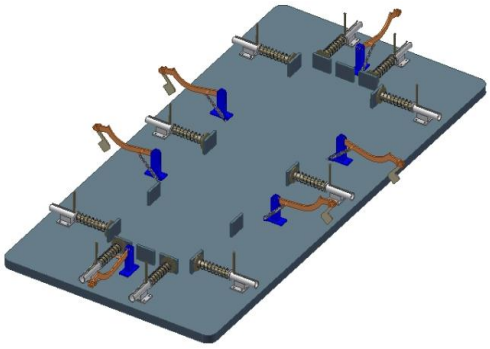
รูปที่ 9 แสดงตัวกำหนดระยะไม้เสริมพื้นกลาง

2.3.5 ขั้นตอนการประกอบฐาน ได้ออกแบบตัวกำหนดระยะของไม้เสริมพื้นกลางให้มีตัวยกประคองและกำหนดระยะฐาน ดังแสดงในรูปที่ 10



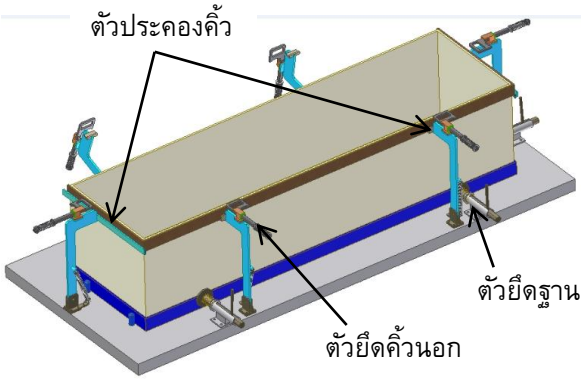
รูปที่ 10 แสดงลักษณะตัวกำหนดระยะและประคองฐาน

จากขั้นตอนที่การประกอบฝาถึงขั้นตอนการประกอบฐานจะใช้ตัวจับยึดชุดที่ 1 ดังรูปที่ 11



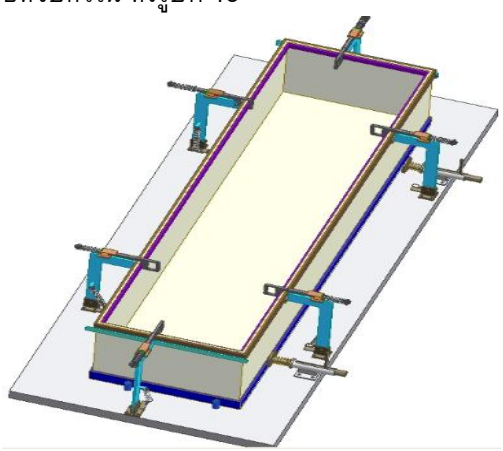
รูปที่ 11 แสดงตัวจับยึดหีบศพชุดที่ 1

2.3.6 ขั้นตอนการประกอบคิ้วบนด้านนอก ได้ออกแบบตัวยึดฐาน ตัวกำหนดระยะคิ้วนอก ดังรูปที่ 12



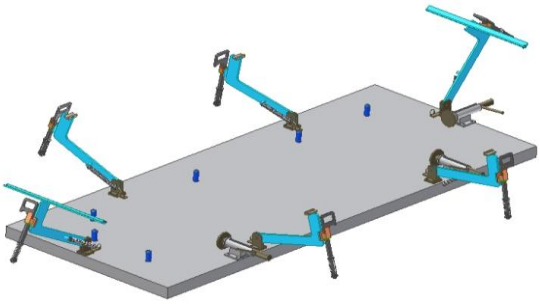
รูปที่ 12 แสดงลักษณะตัวประคองและยึดคิ้วนอก

2.3.7 การประกอบคิ้วบนด้านใน ได้กำหนดให้ใช้ร่วมกับชุดประคองคิ้วนอก โดยเพิ่มอุปกรณ์สปริงประคองและยึดจับคิ้วใน ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงลักษณะตัวประคองและยึดคิ้วใน

การประกอบคิ้วจะใช้ตัวจับยึดชุดที่ 2 ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงตัวจับยึดหีบศพชุดที่ 2

นอกจากนี้ลักษณะของการประกอบหีบศพเดิมประกอบบนพื้น ทำให้ต้องก้มเงยบ่อยๆ ในการประกอบอาจเป็นสาเหตุทำให้เมื่อยล้าได้ง่ายจึงได้ออกแบบให้มีการประกอบบนพื้นยกสูงจากพื้นประมาณ 40 เซนติเมตร

หลังจากสร้างเสร็จ ลักษณะของโต๊ะประกอบแสดงได้ดังรูปที่ 15

รูปที่ 15 แสดงโต๊ะประกอบหีบศพที่สร้างเรียบร้อยแล้ว

ราคาในการสร้างโต๊ะประกอบหีบศพ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดวัสดุที่ใช้และราคาของโต๊ะประกอบหีบศพ

รายการ	**จำนวน (หน่วย)**	**ราคา (บาท)**	**รวม (บาท)**
เหล็กแผ่น 1200*2400*3 มม.	1 แผ่น	1,250	1,250
เหล็กกล่อง 40*100*1.5 มม.	2 เส้น	270	540
เหล็กเส้น 50*6000*5 มม.	2 เส้น	340	680
ชุดยึดพร้อมสปริง	6 ชุด	800	4,800
ล้อ ø 6” มีเบรค	4 ล้อ	240	960
น๊อต ø 8 มม.	10 ตัว	5	50
น๊อต ø 12 มม.	20 ตัว	10	200
สี 2.8 ลิตร	2 กระป๋อง	500	1,000
ค่าดำเนินการ			2,500
รวม			11,980

2.4 ทดลองจับเวลาในการประกอบ

2.4.1 ฝึกพนักงานประกอบเดิมให้เรียนรู้อุปกรณ์และขั้นตอนการประกอบหีบศพบนโต๊ะประกอบที่สร้างจนเข้าใจและมีทักษะ ใช้เวลาประมาณ 7 วัน

2.4.2 ทำการจับเวลาในการประกอบหีบศพ ใช้ขนาดตัวอย่าง 30 หีบ

2.4.3. หาค่าเฉลี่ยของเวลาในการประกอบหีบศพ

3. ข้อมูลการวิจัย

ผลการทดลองจับเวลาโดยใช้ขนาดตัวอย่าง 30 หีบศพ ได้เวลาเฉลี่ยในการประกอบหีบศพหนึ่งหีบหลังการปรับปรุง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงเวลาเฉลี่ยการประกอบหีบศพหนึ่งหีบหลังการปรับปรุง

ขั้นตอนการประกอบ	เวลา (นาที)
ประกอบฝาหน้าหลังกับฝาข้าง	1.99
ประกอบฝาพื้นล่าง	2.35
เสริมพื้นแนวนอน	1.68
ประกอบฐาน	2.26
ประกอบเสริมพื้นแนวตั้ง	1.76
ประกอบขาตั้งสามเหลี่ยม	3.46
ประกอบคิ้วบนด้านนอก	2.09
ประกอบคิ้วบนด้านใน	2.45
ประกอบฝาบน	1.01
ตรวจสอบคุณภาพ	0.52
รวม	19.57

4. วิเคราะห์ผลการวิจัย

จากข้อมูลเวลาเฉลี่ยของการประกอบหีบศพก่อนการปรับปรุงในตารางที่ 2 เท่ากับ 45.94 นาที และข้อมูลเวลาเฉลี่ยของการประกอบหีบศพหลังการปรับปรุงในตารางที่ 4 เท่ากับ 19.57 นาที นำเวลาเฉลี่ยมาหาเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของเวลา ดังนี้

เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของเวลาที่ใช้ในการประกอบหีบศพ

= (เวลาที่ใช้เดิม-เวลาที่ใช้ใหม่)*100/เวลาที่ใช้เดิม

= (45.94-19.57)*100/45.94 เปอร์เซ็นต์

= 57.40 เปอร์เซ็นต์

5.สรุปผลการวิจัย

5.1 ผลสรุปประสิทธิภาพด้านเวลาในการผลิต

5.1.1 ข้อมูลการใช้เวลาในขั้นตอนการประกอบหีบศพการปรับปรุงใช้เวลาทั้งหมด 45.94 นาทีต่อหีบ

5.1.2 ข้อมูลการใช้เวลาในขั้นตอนการประกอบหีบศพหลังการปรับปรุง ใช้เวลาทั้งหมด 19.57 วินาที

5.1.3 สามารถลดเวลาในขั้นตอนการประกอบหีบศพตลอดการดำเนินงานลง 57.40 เปอร์เซ็นต์

5.2 ผลสรุปด้านค่าใช้จ่าย

5.2.1 ค่าใช้จ่ายในการสร้างโต๊ะอุปกรณ์จับยึดรวม 11,980 บาท

5.2.2 สามารถลดพนักงานประกอบหีบศพได้ 1 คน คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ 108,000 บาทต่อปี

6. ข้อเสนอแนะการวิจัย

ควรมีบำรุงรักษาโต๊ะอุปกรณ์จับยึดอย่างสม่ำเสมอโดยเฉพาะสปริงกดที่เป็นอุปกรณ์สำคัญในการจับยึดและสามารถเสื่อมสภาพได้ ซึ่งคณะผู้วิจัยคาดว่าจะมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเฉลี่ยประมาณ 2,500 บาทต่อปี และควรพัฒนาการผลิตหีบศพโดยนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่ด้านเครื่องจักรเข้ามาช่วย จะทำให้ผลผลิตที่ได้รวดเร็ว แน่นอน และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

7. บรรณานุกรม

[1] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, หีบศพ, ข้อมูลจาก http://th.wikipedia.org/wiki (วันที่สืบค้นข้อมูล (1 ตุลาคม 2557)

[2] ศิรินันท์ กิตติสุขสถิต และวนิพพล มหาอาชา, ธุรกิจที่เกี่ยวเนื่องกับการตาย, สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล, 2549

[3] วิศรุต วงศ์เปียง, การศึกษาปัญหาและวิเคราะห์แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตในธุรกิจบรรจุภัณฑ์จากกระดาษลูกฟูก กรณีศึกษาบริษัท AAA จำกัด, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2554

[4] ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, ธุรกิจงานศพ, 2549

อิทธิพลของดายที่มีผิวระนาบเอียง ในการตัดเจาะด้วยพันช์ที่มีผิวระนาบตรงสำหรับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด JAC590RN

Influence of Die Inclined Plane on Piecing Process with Flat Punch for High Strength Steel Sheet Grade JAC590RN

ชำนิ ทองมาก[1*] พงศกร หลีตระกูล[2] กุลชาติ จุลเพ็ญ[3]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล[1]
ถ.รังสิต – นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
โทร. 0-2549-3444 โทรสาร. 0-2549-3442 E-mail:tapdm_chamni@thairung.co.th[1*]

Chamni Thongmark[1*], Pongsakorn Leetrakul[2], Kunlachart Junlapen[3]
[1,2,3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi Tel. 0-2549-3444 Fax. 0-2549-3442,
E-mail: tapdm_chamni@thairung.co.th[1*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของดายที่มีผิวระนาบเอียง ทำการตัดเจาะด้วยพันช์ที่มีผิวระนาบตรงตัดลงบนเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด JAC590RN (JIS) เป็นวัสดุสำหรับผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยมุ่งเน้นการศึกษาเปรียบเทียบรอยตัด ที่เกิดจากระนาบดายเอียงทำมุมกับแนวระนาบที่มุม 0, 5 และ 15 องศา ช่องว่างระหว่างคมตัดต่างกัน 4 ระดับคือ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ โดยความหนาของวัสดุอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร ทำการตัดเจาะรูกลม โดยใช้พันช์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร กำหนดความเร็วในการตัดที่ 20 มิลลิเมตร/วินาที จากผลการทดลองพบว่า องศาของระนาบดายเอียงมีผลอย่างชัดเจนต่อคุณภาพของขอบตัด ระนาบเอียงที่เหมาะสมในการตัดมากที่สุดคือ ระนาบดายที่ 0 องศา และระยะช่องว่างของคมตัดที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 15 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ เมื่อใช้ระนาบดายเอียงมากกว่า 5 องศา ส่วนประกอบของขอบตัด โดยรอบชิ้นงานจะมีความแตกต่างกัน เนื่องจาก องศาที่เพิ่มขึ้นทำให้พื้นที่สัมผัสของพันช์ตรงกับชิ้นงานที่เอียงตามผิวดายมีน้อยลง ส่งผลให้เกิดรอยตัดเฉือนในเนื้อชิ้นงานมากขึ้น จากความเค้นที่เกิดเพียงจุดเดียวบนชิ้นงาน และส่งผลทำให้มีครีบมากขึ้น แต่ที่ระนาบเอียง 0 องศา ช่องว่างระหว่างคมตัดที่น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ ส่งผลให้มีส่วนของระยะของส่วนตัดเฉือนของขอบตัดมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการสึกหรอของคมตัดพันช์เร็วขึ้น และเมื่อใช้ช่องว่างระหว่างคมตัด 20 เปอร์เซ็นต์ส่งผลทำให้ขอบตัดเกิดส่วนโค้งมนและส่วนฉีกขาดที่มากขึ้น

คำหลัก กระบวนการตัดเฉือน, เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง, ขอบตัดชิ้นงาน

Abstract

This research study for shearing process of direct punch on die inclined plane for high strength steel sheet grade JAC590RN (JIS). This material used in automotive part industrial. Shearing process on die angle of 0, 5 and 15 degree. Clearance of punch and die at 5%, 10%, 15% and 20% of material thickness. Material thicknesses are 1 mm. Punch diameter 25 mm. Cutting speed 20 mm/second. Result from experiment is angle of die inclined has effect to cutting surface quality. Best angle of cutting is 0

degree and clearance of punch and die at 15% of material thickness. If clearance of punch and die less than 10% of material thickness effect to increase distance of shearing surface in another hand reduce lifetime of punch and die. When increase clearance of punch and die to 20% of material thickness effect to increase die roll and fracture surface. In case die inclined plane 5 degree has effect to increase shearing surface and reduce fracture surface and no burr. When increase degree of die inclined plane to 15 degree has effect to increase shearing surface, reduce fracture surface and increase burr.

Keywords: Shearing process, High strength steel, Cutting edge.

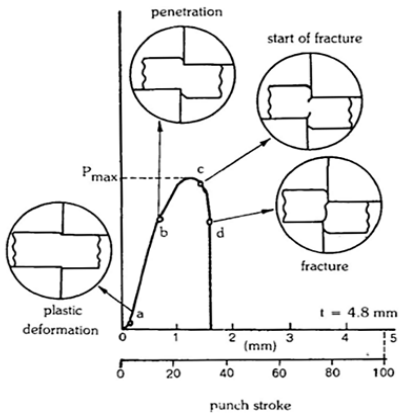
1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์มีความพยายามที่จะทำให้รถยนต์มีน้ำหนักเบาลงเพื่อลดอัตราการใช้เชื้อเพลิง แต่ยังคงต้องรักษาความแข็งแรงของชิ้นส่วนไว้ เหล็กแผ่นทนแรงดึงสูง (High Strength Steel) จึงถูกเลือกมาใช้แทนเหล็กคาร์บอนต่ำ เนื่องจากเหล็กแผ่นทนแรงดึงสูงมีคุณสมบัติทางกลที่ดีกว่า ส่งผลกระทบถึงอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์ ตั้งแต่ต้นกระบวนการ คือ การจัดเตรียมแผ่นเปล่า(Blanking) การตัดเจาะ (Piercing) จนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการของการปั๊มตัดที่การตัดขาดหรือการตัดขอบ(Cutting/Trimming) ซึ่งส่วนประกอบที่ได้จากกระบวนการตัด คือ ส่วนโค้งมน ส่วนเรียบตรง ส่วนฉีกขาด และครีบคม เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการบวนการตัด ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ส่วนที่ทำให้เกิดต้นทุนสูญเปล่าในกระบวนการผลิตคือ ส่วนครีบคม ที่จะต้องใช้แรงงานคนในการกำจัดด้วยวิธีการเจียรนัยครีบคมหรือแม้แต่วิธีการตะไบ เพื่อลดรอยครีบคมที่เกิดขึ้นซึ่งส่งผลด้านความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานและอาจทำให้มีผลกระทบต่อการประกอบชิ้นส่วนอื่นๆ ในด้านคุณภาพของชิ้นงานที่จะต้องนำไปประกอบกันจะต้องคำนึงถึงส่วนเรียบตรงของขอบตัด ซึ่งต้องการส่วนนี้มากเพราะจะใช้ในการประกอบชิ้นส่วนได้ดี จึงได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ทำการศึกษาคุณภาพของรอยตัดมากมาย เช่น ทำการศึกษาอิทธิพลของช่องว่างของแม่พิมพ์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการศึกหรอของแม่พิมพ์ตัด[1] กรณีศึกษาการลดครีบและรอยแตกในการตัดขึ้นรูปแผ่นชิ้นงาน [2]การศึกษาอิทธิพลของแรงปลดชิ้นงานที่มีผลต่อการสึกหรอในงานแม่พิมพ์ตัด[3]แต่ยังไม่มีการวิจัยในส่วนขององศาของระนาบการตัด ซึ่ง ในอุตสาหกรรมปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนยานยนต์ การลดกระบวนการในการผลิตเป็นส่วนสำคัญเป็นอย่างมากเนื่องจาก เมื่อมีองศาในการตัด ทำให้ต้องเพิ่มต้นทุนในการทำแม่พิมพ์ มากขึ้น ซึ่งองศาของชิ้นงานในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ ต้องเพิ่มชิ้นส่วนที่เรียกว่า CAM UNIT เพื่อที่จะทำงานในองศาต่างๆได้ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่สูง และต้นทุนในการบำรุงรักษามากตามไปด้วย ดังนั้น ถ้าสามารถตัดชิ้นงานในระนาบเอียงได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงาน จะเป็นการช่วยลดต้นทุนในอุตสาหกรรมได้ด้วย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กลไกการตัด (Blanking Mechanism)

กระบวนการตัดในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปโลหะเพื่อทำเป็นสินค้าสำเร็จรูปนั้น เป็นขั้นตอนที่ง่ายที่สุดได้ถูกทำขึ้นมาก่อนเพื่อนำชิ้นงานที่ได้ไปทำในขั้นตอนต่อไป หรือแม้แต่การควบคุมขนาดของชิ้นงานสำเร็จรูปก่อนที่จะนำไปเข้าสู่งานประกอบชิ้นส่วน โดยมีกระบวนการตัดเฉือนหลักๆ 3 กระบวนการด้วยกัน คือ การตัดแผ่นเปล่า(Blanking) การตัดเจาะ(Piercing) และการตัดขอบ(Trimming) ซึ่งกระบวนการตัดเฉือนทั้ง 3 แบบ ใช้คมตัดของพันช์และดาย กดลงที่ชิ้นงาน ทำให้เกิดแรงเฉือน โดยแรงที่เท่ากันอยู่ตรงข้ามกัน ตัดผ่านช่องว่างเล็กๆ เรียกว่า ช่องว่างระหว่างคมตัด(Clearance) ขั้นตอนของการตัดโลหะแผ่น เริ่มจากพันช์ลงมาสัมผัสที่ชิ้นงาน และกดลงมาในดายผ่านช่องว่างระหว่างคมตัดจนเลยจุดความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Strength) จนวัสดุเกิดการฉีกขาดออกจากกัน[4] ดังแสดงในรูปที่ 1



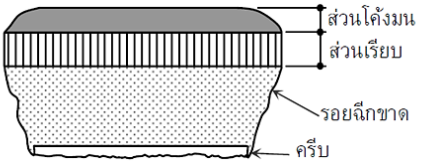
จากรูป
a = พันช์เริ่มกดลงบนเนื้อโลหะอยู่ในช่วยขีดจำกัดความยืดหยุ่น
b = พันช์เคลื่อนที่กดลงบนชิ้นงานจนเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรของวัสดุ
c = โลหะเริ่มฉีกขาด
d = การฉีกขาดอย่างต่อเนื่องของเนื้อโลหะ

รูปที่ 1 แสดงสี่ขั้นตอนที่โลหะฉีกขาดออกจากกัน[4]

2.2 ขอบของชิ้นงานที่ได้จากการตัด (Cutting Edge of Blanking)

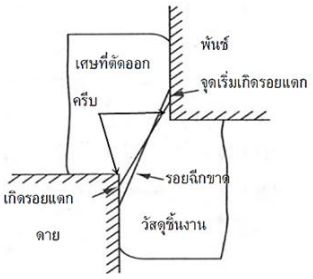
การตัดวัสดุชิ้นงานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

อย่างถาวร จนกระทั่งเกิดการฉีกขาดของวัสดุ ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนโค้งมน(Die Roll) ส่วนเรียบตรงหรือส่วนการตัดเฉือน (Shear Surface) ส่วนการฉีกขาด(Fracture Zone) และส่วนครีบคม(Burr) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขอบของชิ้นงานที่ได้จากการตัดโดยทั่วไป

ส่วนโค้งมน (Die Roll) เกิดจากเมื่อพันช์กดลงไปในชิ้นงานจะเกิดความเค้นดึงขึ้นที่ด้านข้างของพันช์และดาย เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างพันช์และดาย ชิ้นงานเริ่มเคลื่อนที่ตามแรงดึงเข้าสู่ดาย ในทางกลับกันจะเกิดแรงอัดบริเวณด้านหน้าของพันช์ และผิวบนของดาย เมื่อชิ้นงานไหลเข้าสู่ตัวดายตามแรงกดของพันช์แรงอัดจะเพิ่มขึ้นจนวัสดุขาดออกจากกันเกิดเป็นส่วนเรียบตรง และจะแตกหักออกจากกันในบริเวณเหนือคมตัดพันช์ เนื่องจากเกิดความเค้นสูงสุดที่บริเวณนั้น[5] เมื่อวัสดุแตกหักส่วนของการฉีกขาดจะวิ่งมาบรรจบกันพอดีแต่เนื้อส่วนที่อยู่ด้านข้างของคมตัดยังคงเหลืออยู่ส่วนนี้เองที่เรียกว่า ครีบคม(Burr) ดังแสดงในรูปที่ 3

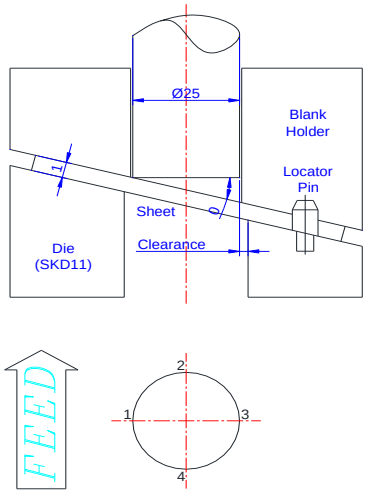


รูปที่ 3 กลไกการเกิดครีบ[6]

3. วิธีการและเงื่อนไขในการทดลอง

3.1 แม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลอง

แม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลองออกแบบให้ดายมีระนาบมุมเอียง(θ) ทำมุมกับแนวระนาบที่มุม θ = 0, 5 และ 15 องศา ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยชุดดายสวมติดกับแผ่นจับยึดดาย (Die Plate) และแผ่นจับยึดชิ้นงาน(Striper Pad) สามารถถอดเปลี่ยนตามองศาในระนาบที่กำหนดได้ ช่องว่างระหว่างคมตัด (C) ต่างกัน 4 ระดับคือ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ โดยความหนาของวัสดุอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร ทำการตัดเจาะรูกลมโดยใช้พันช์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ความแข็งของคมตัดพันช์และดายอยู่ที่ 58-60 HRC กำหนดความเร็วในการตัดที่ 20 มิลลิเมตร/วินาที ทำการตัดโดยไม่ใช้สารหล่อลื่น วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด JAC590RN ความหนา 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4 แสดงลักษณะการเอียงขององศาดาย และทิศทางการป้อนชิ้นงานในตำแหน่งต่างๆ

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 4 ได้ทำการออกแบบแม่พิมพ์ตัดที่ใช้ในการทดลองนี้ และทำการตัดด้วยเครื่องปั๊มไฮดรอลิคขนาด 30 ตัน จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการตัดมาทำการตรวจสอบและเปรียบเทียบขอบตัดของชิ้นงาน ซึ่งประกอบด้วยการวัดระยะส่วนโค้งมน ส่วนเรียบตรง ส่วนฉีกขาด และครีบคม ใช้กล้อง Digital Microscope วัดชิ้นงานด้วยกำลังขยาย 50 เท่า

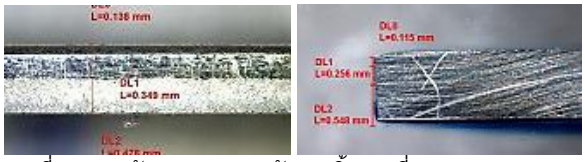
4. ผลและการวิเคราะห์

ในกระบวนการตัดเจาะโดยทั่วไปจะนิยมใช้ระนาบดายปกติอยู่ที่ระนาบ θ = 0 องศา ดังนั้นในการตรวจสอบคุณภาพของขอบตัดเบื้องต้นของวัสดุชิ้นงานชนิดนี้ จึงจำเป็นต้องหาอิทธิพลของช่องว่างระหว่างคมตัด เพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับคุณภาพขอบตัดเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระนาบเอียงของดาย

4.1 อิทธิพลของช่องว่างระหว่างคมตัดที่มีผลกับคุณภาพของขอบตัด

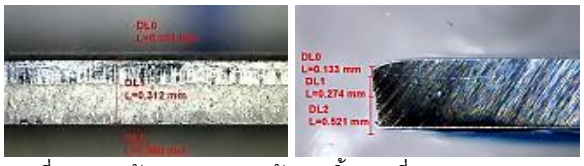
จากรูปที่ 5,6,7 และ 8 แสดงให้เห็นว่า ช่องว่าง

ระหว่างคมตัด C= 5,10,15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ ในระนาบดายที่ θ= 0 องศา สามารถตัดชิ้นงานออกมาได้ดี โดยไม่เกิดครีบคมของชิ้นงาน และไม่เกิดรอยตัดเฉือนชั้นที่สอง เมื่อทำการเพิ่มช่องว่างระหว่างคมตัดพันช์และดาย จะทำให้สัดส่วนของขอบตัดเปลี่ยนไป ช่องว่างระหว่างคมตัดที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดส่วนโค้งมนที่มากขึ้น ส่วนเรียบตรงน้อยลง และส่วนการฉีกขาดจะเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 9

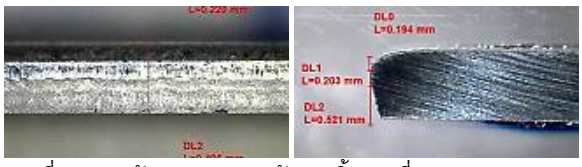


รูปที่ 5 แสดงสัดส่วนของขอบตัดของชิ้นงานที่ช่องว่างระหว่างคมตัด 5 % ของความหนาวัสดุ มุมคมตัดดาย 0 องศา

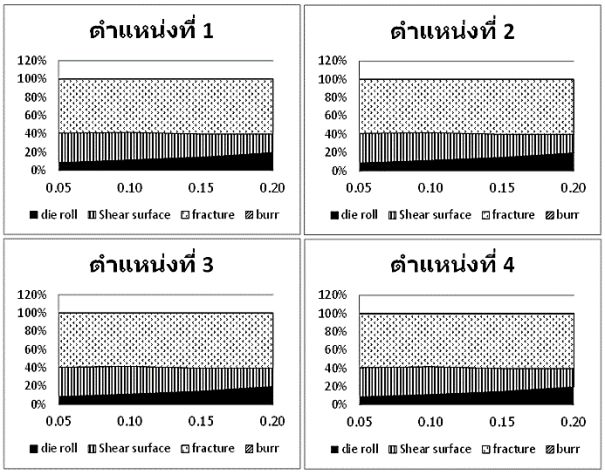
รูปที่ 6 แสดงสัดส่วนของขอบตัดของชิ้นงานที่ช่องว่างระหว่างคมตัด 10 % ของความหนาวัสดุ มุมคมตัดดาย 0 องศา



รูปที่ 7 แสดงสัดส่วนของขอบตัดของชิ้นงานที่ช่องว่างระหว่างคมตัด 15 % ของความหนาวัสดุ มุมคมตัดดาย 0 องศา



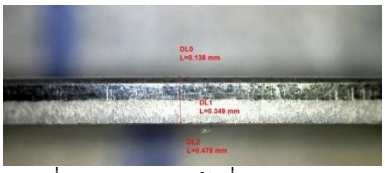
รูปที่ 8 แสดงสัดส่วนของขอบตัดของชิ้นงานที่ช่องว่างระหว่างคมตัด 20 % ของความหนาวัสดุ มุมคมตัดดาย 0 องศา



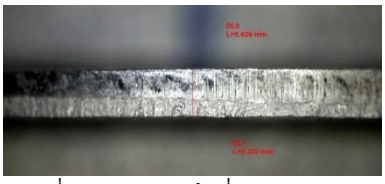
รูปที่ 9 แสดงสัดส่วนของขอบตัดของชิ้นงาน มุมคมตัดดาย 0 องศา ในตำแหน่งต่างๆ

4.2 อิทธิพลของระนาบดายเอียงที่มีผลกับคุณภาพของขอบตัด

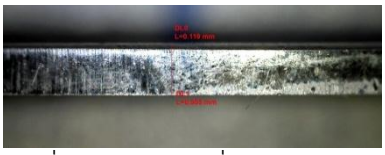
จากการทดลองตัดเจาะชิ้นงานที่ระนาบดายเอียงต่างๆ พบว่าคุณภาพของขอบตัดที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในทุกระยะของช่องว่างระหว่างคมตัด ดังแสดงในรูปที่ 10,11 และ 12 เนื่องจากกลไกการตัดเฉือนในชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงโดยชิ้นงานจะเริ่มต้นถูกตัดเฉือนจากตำแหน่งที่ 1 และสิ้นสุดของการตัดเฉือนในตำแหน่งที่ 3 เกิดขึ้นไม่พร้อมกัน (ดูภาพประกอบในรูปที่ 4) ทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงทิศทาง การเริ่มเกิดรอยแตกในเนื้อวัสดุเป็นไปได้ยากขึ้น ส่งผลทำให้มีระยะการตัดเฉือนในเนื้อชิ้นงานมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าองศาของระนาบดายมีผลอย่างชัดเจนต่อคุณภาพของขอบตัดชิ้นงาน ดังนั้น เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาคุณภาพขอบตัดของชิ้นงานในอุตสาหกรรม จึงต้องมีการหาองศาและช่องว่างระหว่างคมตัดที่เหมาะสมโดยการเปรียบเทียบคุณภาพของขอบตัดในส่วนโค้งมน ส่วนเรียบตรง ส่วนฉีกขาด และครีบคมที่เกิดจากกระบวนการตัดเฉือน



รูปที่ 10 แสดงขอบตัดที่ระนาบ 0 องศา ช่องว่างระหว่างคมตัด 5 เปอร์เซ็นต์

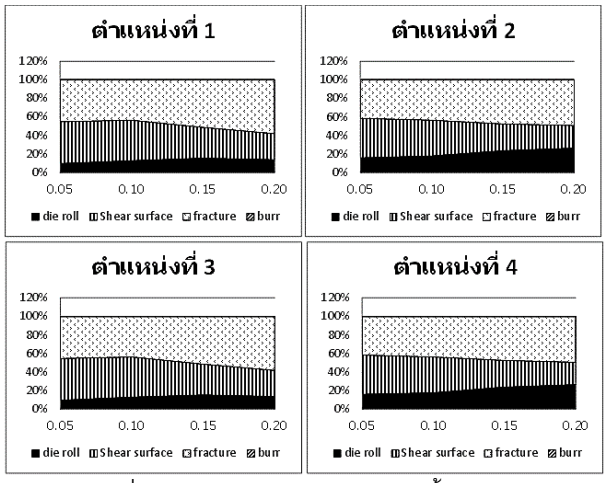


รูปที่ 11 แสดงขอบตัดที่ระนาบ 5 องศา
ช่องว่างระหว่างคมตัด 5 เปอร์เซ็นต์



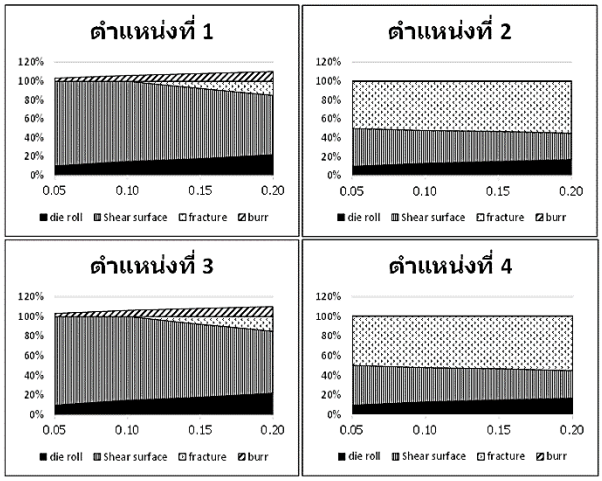
รูปที่ 12 แสดงขอบตัดที่ระนาบ 15 องศา
ช่องว่างระหว่างคมตัด 5 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 13 แสดงสัดส่วนของขอบตัดของชิ้นงานที่ระนาบดาย θ= 5 องศา เมื่อเปรียบเทียบกับระนาบดายที่ 0 องศา (รูปที่ 9) ที่ระยะช่องว่างระหว่างคมตัด 5 เปอร์เซนต์ของความหนาชิ้นงาน พบว่าในตำแหน่งที่ 1 และ 3 ขอบตัดมีการเปลี่ยนแปลงของระยะตัดเฉือนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ถ้าใช้ระยะช่องว่างระหว่างคมตัดมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนตำแหน่งการตัดเฉือนที่ 2 และ 4 เป็นจุดการตัดเฉือนที่อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของแม่พิมพ์พอดี ทำให้คุณภาพขอบตัดใกล้เคียงกับการตัดในระนาบดายที่ 0 องศา



รูปที่ 13 แสดงสัดส่วนของขอบตัดของชิ้นงาน
มุมคมตัดดาย 5 องศา ในตำแหน่งต่างๆ

จากนั้นทำการตัดชิ้นงานที่ระนาบดาย θ = 15 องศา ดังแสดงในรูปที่ 14 พบว่าที่ระยะช่องว่างระหว่างคมตัด 5 เปอร์เซนต์ของความหนาชิ้นงาน ในตำแหน่งที่ 1 และ 3 ขอบตัดมีการเปลี่ยนแปลงของระยะตัดเฉือนเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก และเมื่อใช้ระยะช่องว่างระหว่างคมตัดมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ขอบตัดจะมีระยะการตัดเฉือนลดลงแต่จะเกิดครีบสูงขึ้น ชิ้นงานที่ได้จากการตัดเกิดการแอ่นตัวมีการดัดโค้งเปลี่ยนรูป (รูปที่ 15) เนื่องจากการตัดเฉือนที่เกิดขึ้นไม่พร้อมกันอันเนื่องจากระนาบเอียงของดาย ทำให้ผิวหน้าพันช์ในจังหวะที่กดลงมาในดายทำหน้าที่เหมือนเป็นการกดดัดแผ่นชิ้นงานให้ไหลตามลงมาก่อนที่คมตัดพันช์ในตำแหน่งที่ 3 ทำการตัดสิ้นสุดลง



รูปที่ 14 แสดงสัดส่วนของขอบตัดของชิ้นงาน
มุมคมตัดดาย 15 องศา ในตำแหน่งต่างๆ

รูปที่ 15 แสดงการแอ่นตัวของชิ้นงาน
มุมคมตัดดาย 15 องศา C= 20% ของความหนาวัสดุ

4.3 ความสัมพันธ์ของระนาบดายกับช่องว่างระหว่างคมตัด

องศาการตัดของระนาบดายที่เพิ่มขึ้นตามรูปที่ 4 ส่งผลกระทบให้ช่องว่างระหว่างคมตัดน้อยลงเนื่องจากการเอียงองศา ทำให้ชิ้นงานมีความหนาเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงช่องว่างของคมตัดพันช์และดายที่ระนาบต่างกัน

θ \ %C	T(mm.)	5.00%	10.00%	15.00%	20.00%
0	1	5.00%	10.00%	15.00%	20.00%
5	1.004	4.98%	9.96%	14.94%	19.92%
15	1.035	4.83%	9.65%	14.48%	19.30%

เมื่อช่องว่างระหว่างคมตัดน้อยลง องค์ประกอบของขอบตัดจะได้รับผลกระทบโดยตรง เนื่องจากแรงเค้นที่พันช์กดลงบนชิ้นงานเพียงจุดเดียว ในตำแหน่งที่1 ผ่านคมตัดดายมีระยะที่น้อยลง ส่งผลให้ เกิดการส่วนการตัดเฉือนที่มากขึ้น และจะค่อยๆลดน้อยลง เมื่อพันช์กดลงถึงตำแหน่งกึ่งกลางชิ้นงาน ในตำแหน่งที่ 2และ4 จากนั้นส่วนตัดเฉือนจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงเค้นจะเพิ่มขึ้นจากเนื้อที่ของชิ้นงานในการตัดน้อยลงในจุดสุดท้ายของการตัดในตำแหน่งที่ 3 ส่วนประกอบของขอบตัดแต่ละจุดมีค่าไม่เท่ากัน ตามรูปที่ 13 และ รูปที่ 14

5. สรุป

จากการทดลองกระบวนการตัดเฉือนเพื่อหาอิทธิพลของระนาบดายเอียงที่มีผลต่อขอบตัดของชิ้นงาน โดยใช้ช่องว่างระหว่างคมตัดต่างๆกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. องศาของระนาบดายเอียงมีผลอย่างชัดเจนต่อคุณภาพของขอบตัด ระนาบเอียงที่เหมาะสมในการตัดมากที่สุดคือ ระนาบดายที่ 0 องศา และระยะช่องว่างของคมตัดที่เหมาะสมที่สุด อยู่ที่ 15 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ เมื่อใช้ระนาบดายเอียงมากกว่า 5 องศา ส่วนประกอบของขอบตัด ซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนโค้งมน ส่วนเรียบตรง ส่วนฉีกขาด และส่วนครีบคม โดยรอบชิ้นงานจะมีความแตกต่างกัน เกิดรอยตัดเฉือนในเนื้อชิ้นงานมากขึ้น แต่ส่งผลทำให้มีครีบคมมากขึ้นเช่นกัน เนื่องจาก องศาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กลไกการตัดเฉือนในเนื้อวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงทุกช่องว่างระหว่างคมตัดและช่องว่างระหว่างคมตัดมีผลอย่างชัดเจนต่อคุณภาพของขอบตัด

2. ระนาบดายเอียง 0 องศา ช่องว่างระหว่างคมตัดที่น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ ส่งผลให้มีระยะของส่วนตัดเฉือนมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการสึกหรอของคมตัดพันช์เร็วขึ้น และเมื่อใช้ช่องว่างระหว่างคมตัด 20 เปอร์เซ็นต์ส่งผลทำให้ขอบตัดเกิดส่วนโค้งมนและรอยฉีกขาดที่มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนชุดแม่พิมพ์และวัสดุเครื่องมือในการทดลอง อุปกรณ์เก็บผลการทดลอง จากบริษัท ไทยออโต้ เพรสพาร์ท จำกัด รวมถึงพนักงานช่างแม่พิมพ์ ที่ช่วยทำแม่พิมพ์และชิ้นงาน คือ นายสมชาย สุธรรมมา นายเอกสิทธิ์ อยู่โภชนา และนักศึกษาช่วยเก็บข้อมูล คือ นายเจตริน ศรีคำพา นายเอกรัตน์ ทองรวม และนายโสภณ นิลเพ็ชร์

เอกสารอ้างอิง

[1] ณัฐศักดิ์ พรพุฒิศิริ, การศึกษาอิทธิพลของช่องว่างคมตัดระหว่างพันช์และดายที่มีผลต่อพฤติกรรม การสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด, 2545.

[2] กิตติ โชคเลิศพัฒนา, กรณีศึกษาการลดครีบและรอยแตกในการตัดขึ้นรูปแผ่นชิ้นงาน, 2550.

[3] กุลชาติ จุลเพ็ญ, "อิทธิพลของการสึกหรอในงานแม่พิมพ์ตัดที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน," 18-20 ตุลาคม 2547 จังหวัด-ขอนแก่น การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18

[4] ชาญชัย ทรัพยากรณ์ และคณะ, "การออกแบบแม่พิมพ์," pp. 9-16, 2534.

[5] Donalk F. Eary and Edward A. Reed, "Techniques of Pressworking Sheet Metal," 1974.

[6] วารุณี เปรมานนท์, "แม่พิมพ์โลหะแผ่น," p. 72, 2557.

ผลกระทบของปัจจัยในกระบวนการกลึงที่มีผลต่อความหยาบผิวและความกลมของชิ้นงานเหล็กเหนียว SS400

EFFECT OF TURNING FACTORS ON ROUGHNESS AND CIRCULARITY OF SS400 MILD STEEL

อดิศร กิจพยุง* สุจินต์ วุฒิชัยวัฒน์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ. นครปฐม 73000 E-mail: adisorn_ie5@yahoo.co.th*

Adisorn Kitphayung* Sujin Woottichaiwat
Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Silpakorn University, Muang, Nakornpathom, 73000, E-mail: adisorn_ie5@yahoo.co.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีความนิยมใช้เหล็กเหนียว ss400 เป็นวัสดุหลักในการผลิตชิ้นงานกลึงในงานอุตสาหกรรม แต่มักพบปัญหาความหยาบผิวและความกลมของชิ้นงานไม่ได้มาตรฐาน ที่มีสาเหตุมาจากปัจจัยในกระบวนการกลึง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะเหมาะสมของปัจจัยในกระบวนการกลึง 3 ปัจจัยได้แก่ รัศมีปลายคมตัดของเม็ดมีด ความเร็วตัดและอัตราป้อน ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองที่มีผลต่อความหยาบผิวและความกลมของชิ้นงานตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่า รัศมีปลายคมตัด อัตราป้อน และ ผลกระทบร่วมระหว่างรัศมีปลายคมตัดกับความเร็วตัดมีผลต่อความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนรัศมีปลายคมตัด ความเร็วตัดและอัตราป้อนเป็นปัจจัยที่ไม่มีผลต่อค่าความกลมของชิ้นงาน

คำสำคัญ : การกลึง ความหยาบผิว ความกลม

Abstract

Nowadays mild steel ss400 has been used popularity in the turning work of industrial parts. However roughness and circularity problems are frequently found. Therefore the objective of this research is to optimize the turning factors of nose radius, cutting speed and feed rate affecting on surface roughness and circularity of the sample specimens using DOE. And found that nose radius, feed rate and nose radius with cutting speed are affecting on circularity. And almost of factors are not affecting on circularity.

Keyword : turning, surface roughness, circularity

1. บทนำ

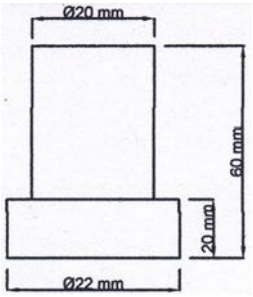
ปัจจุบันในวงการอุตสาหกรรมต่างๆได้มีการใช้เหล็กเหนียว ss400 เพื่อนำมาแปรรูปเป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล ส่วนประกอบของรถยนต์ และอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆภายในครัวเรือน เหล็กเหนียว SS400 จึงเป็นวัสดุที่มีความต้องการในภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ในกระบวนการแปรรูปหรือการผลิตนั้นมักพบกับปัญหาบางอย่าง เช่น ความหยาบผิว และ ความกลม

ความหยาบผิวเกิดขึ้นจากรูปร่างของวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงาน และกรรมวิธีการขึ้นรูป ความหยาบของพื้นผิวมีความสำคัญต่อการใช้งานหลายๆอย่าง เช่น แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิว การสึกหรอจากการเสียดสี ความสวยงาม ความรู้สึกในการสัมผัส ความสามารถในการป้องกันการรั่วซึม ค่าความหยาบของพื้นผิวนั้นมีผลโดยตรงต่อความเงามันของผิวชิ้นงาน

ความกลมจะคล้ายกับความเป็นทรงกระบอก แต่เราจะสนใจเฉพาะตำแหน่งในแต่ละระนาบที่ตัดตั้งฉากกับแนวแกนเท่านั้น ความกลมมีผลต่อการประกอบชิ้นงานเข้าด้วยกันในลักษณะของเพลาและรูคว้าน

สาเหตุของปัญหาพบว่า เม็ดมีดกลึง ความเร็วตัด ความลึกและอัตราการป้อนที่ไม่สัมพันธ์กับขนาดของชิ้นงาน จากการศึกษาข้อมูลของผลงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องก่อนหน้านี้ (คมพันธ์ ชมสมุทร,2554) พบว่าปัจจัยที่สำคัญทั้งหมดในการกลึงชิ้นงานจะมีองค์ประกอบต่างๆที่เกี่ยวข้องในกระบวนการทำงานหลายประการที่เป็นสาเหตุทำให้การกลึงปอกชิ้นงานไม่ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการโดยเฉพาะคุณภาพของชิ้นงาน จึงได้มีการศึกษาองค์ประกอบเหล่านั้น เพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพการกลึงปอกชิ้นงานให้ดีขึ้น โดยองค์ประกอบของกระบวนการกลึงปอกชิ้นงาน ที่สำคัญทั้งหมดประกอบด้วยเงื่อนไขของ ประสิทธิภาพของเครื่องจักร ประสิทธิภาพของผู้ควบคุมเครื่องจักร ความเร็วตัด ความเร็วรอบ อัตราป้อน ความลึกป้อน การระบายความร้อนที่หน้าคมตัดของเม็ดมีด คมตัด วิธีการจับยึดชิ้นงาน ส่วนประกอบของวัสดุ ความหนาของเม็ดมีด เกรดของเม็ดมีด อายุของการสึกหรอ มุมตัด กำลัง การหักเศษ รัศมีปลายมีด

ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจศึกษาปัจจัยของกระบวนการกลึง อันได้แก่ รัศมีปลายคมตัดของเม็ดมีด ความเร็วตัด และ อัตราป้อน ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง คือ ความหยาบผิวและความกลมของชิ้นงานเหล็กเหนียว ss400 โดยใช้เม็ดมีด cermet และการออกแบบการทดลอง(Design of experiment) ที่กำหนดสภาพแวดล้อมในการผลิต คือขนาดของชิ้นงานมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 22 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 60 มิลลิเมตร และความลึกป้อนเท่ากับ 1 มิลลิเมตร เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุด ดังในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพขนาดชิ้นงาน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและกรรมวิธีการกลึง

2.1 ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการกลึง

$$V = \frac{\pi d n}{1000} \qquad (1)$$

V คือ ความเร็วตัด เป็นเมตรต่อนาที
d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน เป็นมิลลิเมตร
n คือ ความเร็วรอบของเครื่องกลึง เป็นรอบต่อนาที

ความเร็วตัด (Cutting Speed) หมายถึงความเร็วที่คมมีดตัด ตัดหรือปาดผิวโลหะออกเมื่อชิ้นงานหมุนไปครอบ 1 รอบ ซึ่งมีดตัดจะต้องปาดผิวโลหะออกเป็นเส้นยาวเท่ากับเส้นรอบวงของชิ้นงานพอดี หน่วยวัดความเร็วตัดคิดเป็นเมตรต่อนาทีดังสมการที่ (1)

ตัวอย่างเช่นชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. ดังนั้น เส้นรอบวงของชิ้นงานจะเท่ากับ 3.14 x 20 เท่ากับ 62.8 มิลลิเมตรหรือ .0628 เมตร และถ้าชิ้นงานหมุนด้วยความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ดังนั้น ความเร็วตัดจะเท่ากับ 0.0628 x 500 = 31.40 เมตรต่อนาที

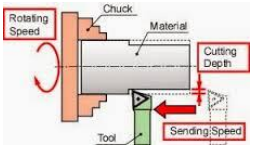
2.2 กรรมวิธีการกลึง

การกลึงเป็นกระบวนการแปรรูปโลหะ อโลหะ

หรือวัสดุต่างๆ โดยการตัดเฉือนเนื้อวัสดุตรงส่วนที่ไม่ต้องการออกทิ้งไป และเหลือส่วนที่ต้องการเก็บไว้ตามรูปแบบต่างๆที่ต้องการ การกลึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม ทั้งเพื่อในการผลิตและเพื่อการซ่อมบำรุงรักษา หลักในการแปรรูปวัสดุคือ ให้ชิ้นงานหมุนรอบตัวเองอยู่กับที่และมีดจะเป็นตัวเดินเข้าหาชิ้นงานเพื่อทำการตัดเฉือน

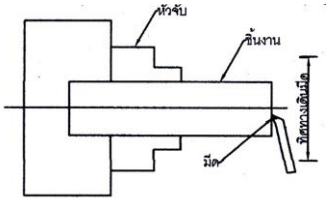
วิธีการกลึงมีอยู่ 2 ลักษณะคือ การกลึงปลอก และ การกลึงปาดหน้า

การกลึงปอก คือการเดินมีดให้ตัดเฉือนเนื้อวัสดุออกตามแนวขนานกับรางของเครื่องกลึง ดังในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ภาพการเดินมีดให้ตัดเฉือนเนื้อวัสดุออกตามแนวขนานกับรางของเครื่องกลึง

การกลึงปาดหน้า คือการเดินมีดตัดให้ตัดเฉือนวัสดุออกตามแนวขวางกับรางของเครื่องกลึง ดังในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ภาพการเดินมีดให้ตัดเฉือนเนื้อวัสดุออกตามแนวขวางกับรางของเครื่องกลึง

3. วิธีดำเนินการทดลอง

1) นำชิ้นงานเหล็กเหนียว SS400 เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 22 มิลลิเมตร ความยาว 60 มิลลิเมตร มาทำการกลึงปอกให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรและความยาว 40 มิลลิเมตร โดยใช้รัศมีปลายคมตัดของเม็ดมีด 3 ขนาดคือ 0.2 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วตัด 3 ระดับคือ 49 66และ 94 เมตรต่อนาที ใช้อัตราป้อน 3 ระดับคือ 0.065 0.075 และ 0.082 มิลลิเมตรต่อรอบ ใช้ความลึกป้อนคงที่คือ1 มิลลิเมตร และใช้น้ำยาหล่อเย็นเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการกลึงเพื่อผลิตชิ้นงานที่จะนำไปวิจัย ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางลำดับขั้นตอนของปัจจัยที่ใช้ในการกลึง

ระดับที่	รัศมีปลายคมตัด (มม.)	ความเร็วตัด (ม. / นาที)	อัตราป้อน (มม. / รอบ)
1	0.2	49	0.065
2	0.2	49	0.075
3	0.2	49	0.082
4	0.2	66	0.065
5	0.2	66	0.075
6	0.2	66	0.082
7	0.2	94	0.065
8	0.2	94	0.075
9	0.2	94	0.082
10	0.4	49	0.065
11	0.4	49	0.075
12	0.4	49	0.082
13	0.4	66	0.065
14	0.4	66	0.075
15	0.4	66	0.082
16	0.4	94	0.065
17	0.4	94	0.075
18	0.4	94	0.082
19	0.8	49	0.065
20	0.8	49	0.075
21	0.8	49	0.082
22	0.8	66	0.065
23	0.8	66	0.075
24	0.8	66	0.082
25	0.8	94	0.065
26	0.8	94	0.075
27	0.8	94	0.082

2) ใช้เครื่องวัดค่าความหยาบผิว รุ่น SJ-201 Mitutoyo ใช้เครื่องวัดความกลม รุ่น Beyond-Crysta C500 Mitutoyo

3) หลังจากได้ค่าตอบสนองแล้วนำค่าทั้งหมดมาวิเคราะห์เชิงสถิติโดยใช้โปรแกรม minitab14 เพื่อหาว่ามีปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อความหยาบผิวและความกลมของชิ้นงาน

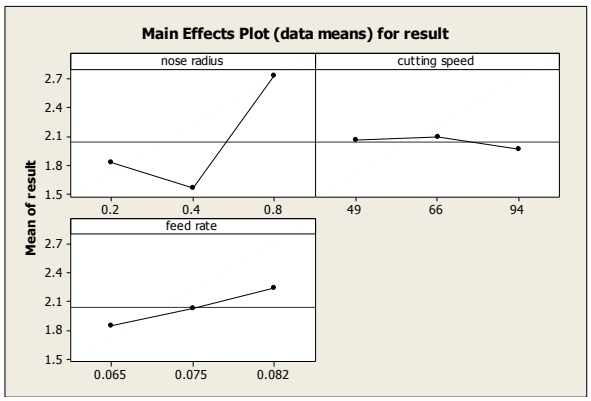
4) ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลของความหยาบผิวโดยโปรแกรม minitab14 คือเข้าสู่เมนูหลัก เลือก STAT > DOE > FACTORIAL > ANALYZE FACTORIAL DESIGN จากนั้นจะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ เลือกค่า Responses เลือกกดปุ่ม OK จะได้ค่า Analysis of Variance for result ดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวจากโปรแกรม minitab14

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	20.1651	20.1651	10.0826	57.90	0.000
B	2	0.2701	0.2701	0.1350	0.78	0.466
C	2	2.1482	2.1482	1.0741	6.17	0.004
A*B	4	1.8379	1.8379	0.4595	2.64	0.044
A*C	4	1.2333	1.2333	0.3083	1.77	0.148
B*C	4	0.3121	0.3121	0.0780	0.45	0.773
A*B*C	8	1.1728	1.1728	0.1466	0.84	0.570

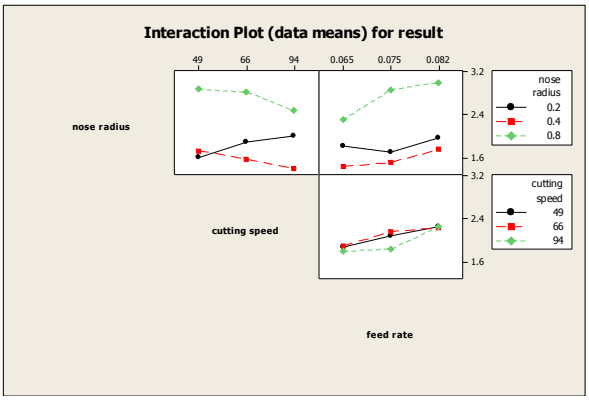
หมายเหตุ A คือ รัศมีปลายคมตัด
B คือ ความเร็วตัด
C คือ อัตราป้อน
$P \leq 0.05$

วิเคราะห์ค่า p จากตารางที่ 2 พิจารณาได้ว่ามีรัศมีปลายคมตัด อัตราป้อน และ ผลกระทบร่วมระหว่างรัศมีปลายคมตัดกับความเร็วตัดมีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงว่ามีผลต่อค่าความหยาบผิว



ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่าผลกระทบของปัจจัยหลักทั้งสาม

อ้างอิงจากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่ารัศมีปลายคมตัดของเม็ดมีด และ อัตราป้อน มีผลต่อค่าความหยาบผิว ดังนั้นจากกราฟของภาพที่ 4 สามารถอธิบายได้ว่าขนาดรัศมีปลายคมตัดของเม็ดมีดที่เหมาะสมที่สุดคือขนาด 0.4 มิลลิเมตรและอัตราป้อนที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.065 มิลลิเมตรต่อรอบ เหตุผลเพราะว่าปัจจัยใดมีค่าต่ำที่สุดจะทำให้ผิวของชิ้นงานออกมาดี



ภาพที่ 5 กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยร่วมทั้งสามคือ รัศมีปลายคมตัด ความเร็วตัดและอัตราป้อน

อ้างอิงจากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าผลกระทบร่วมระหว่างรัศมีปลายคมตัดและความเร็วตัด มีผลต่อค่าความหยาบผิว ดังนั้นจากกราฟของภาพที่ 5 สามารถอธิบายได้ว่าให้ใช้รัศมีปลายคมตัดของเม็ดมีดที่มีขนาด 0.4 มิลลิเมตรและความเร็วตัดอยู่ที่ 94 เมตรต่อนาที เหตุเพราะว่าเป็นจุดที่ต่ำที่สุดของกราฟ

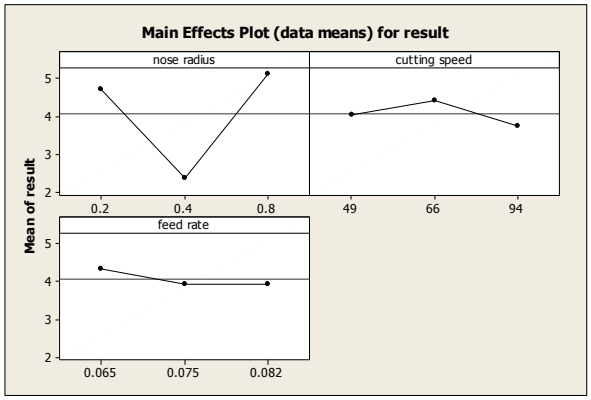
5) ขั้นตอนการหาสมการถดถอยของข้อมูลความหยาบผิวโดยโปรแกรม minitab14 คือเข้าสู่เมนูหลัก เลือก STAT > REGRESSION > REGRESSION จากนั้นจะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ เลือกค่า Responses เลือกค่า Predictor เลือกกดปุ่ม OK จะได้ The regression equation is Roughness $Y = 0.955 + 7.07 A^2 - 4.87A + 23C - 0.0101 AB$

6) ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลของความกลมโดยโปรแกรม minitab14 คือเข้าสู่เมนูหลัก เลือก STAT > DOE > FACTORIAL > ANALYZE FACTORIAL DESIGN จากนั้นจะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ เลือกค่า Responses เลือกกดปุ่ม OK จะได้ค่า Analysis of Variance for result ดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความกลม จากโปรแกรม minitab14

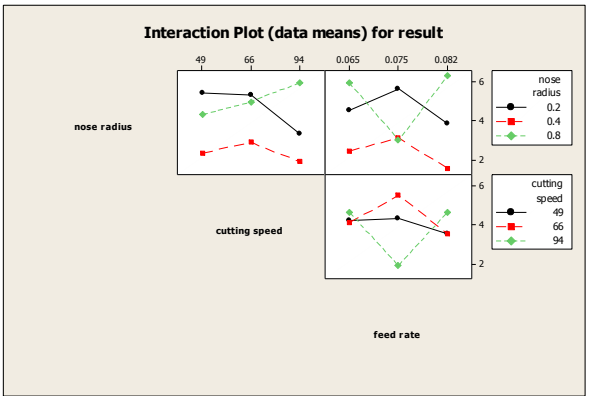
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	118.10	118.10	59.05	2.99	0.059
B	2	6.02	6.02	3.01	0.15	0.859
C	2	2.99	2.99	1.49	0.08	0.927
A*B	4	36.57	36.57	9.14	0.46	0.762
A*C	4	83.16	83.16	20.79	1.05	0.389
B*C	4	65.68	65.68	16.42	0.83	0.511
A*B*C	8	192.17	192.17	24.02	1.22	0.307

วิเคราะห์ค่า p จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าไม่มีปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าทุกปัจจัยไม่มีผลต่อค่าความกลม



ภาพที่ 6 กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยหลักทั้งสาม

อ้างอิงจากตารางที่ 3 ที่มีผลวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าไม่มีปัจจัยใดมีผลต่อค่าความกลม แต่จากกราฟของภาพที่ 6 บ่งบอกว่าควรใช้รัศมีปลายคมตัดของเม็ดมีดที่ 0.4 มิลลิเมตร ความเร็วตัดเท่ากับ 94 เมตรต่อนาทีและอัตราป้อนที่ 0.075 หรือ 0.082 มิลลิเมตรต่อรอบ (ให้เลือกใช้ 0.082 เพราะจะใช้เวลาในการกลึงน้อยกว่า) จึงจะได้ค่าความกลมที่ดีที่สุด



ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่าของผลกระทบร่วมระหว่าง รัศมีปลายคมตัด ความเร็วตัดและอัตราป้อน

ถึงแม้จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยใดๆมีผลต่อค่าความกลม แต่จากกราฟของภาพที่ 7 อธิบายว่าให้ใช้รัศมีปลายคมตัดของเม็ดมีดที่มีขนาดเท่ากับ 0.4 มิลลิเมตร ความเร็วตัดที่ 94 เมตรต่อนาทีและอัตราป้อน 0.082 มิลลิเมตรต่อรอบ ซึ่งอาจจะให้ค่าความกลมที่ดีที่สุด

4. ผลการทดลอง

1) ปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงานคือ รัศมีปลายคมตัด อัตราป้อน และ ผลกระทบร่วมระหว่างรัศมีปลายคมตัดกับความเร็วตัด เพราะพบว่าค่า p ต่ำกว่า 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 2

2) ปัจจัยที่มีผลต่อความกลมของชิ้นงาน ผลจากการทดลองทำให้เราทราบว่าปัจจัยทั้งสาม คือ รัศมีปลายคมตัด ความเร็วตัดและอัตราป้อนไม่มีผลกระทบต่อความกลมของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 3 คือพิจารณาจากค่า p ในตารางไม่พบว่ามีค่าของปัจจัยใดมีค่าต่ำกว่า 0.05

5. สรุปและวิจารณ์ผล

1) สรุป ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าปัจจัยและระดับของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการกลึงชิ้นงานตามตัวอย่าง ที่ให้ค่าความหยาบผิวที่ดีที่สุดคือสภาวะที่ต้องใช้เม็ดมีดที่มีรัศมีปลายคมตัด 0.4 มิลลิเมตร

ความเร็วตัดที่ 94 เมตรต่อนาที ส่วนอัตราป้อนคือ 0.065 มิลลิเมตรต่อรอบ และในส่วนของความกลม ปัจจัยทั้งสามคือรัศมีปลายคมตัด ความเร็วตัดและอัตราป้อนไม่มีผลกระทบต่อค่าความกลมของชิ้นงาน

2) วิจารณ์ผล จากการดำเนินการทดลองตามหลักของการออกแบบการทดลอง ซึ่งผลที่ได้ปรากฏออกมาคือปัจจัยทั้งสามมีผลกระทบต่อความหยาบผิวของชิ้นงานแต่ไม่มีผลกระทบต่อความกลมของชิ้นงาน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้สันนิฐานว่าชิ้นงานที่ใช้ทดลองเป็นชิ้นงานที่สั้นและปัจจัยทั้งสาม รวมถึงระดับของปัจจัยทั้งสามที่ใช้ค่อนข้างจะมีความเหมาะสมกัน โดยจากหลักการและประสบการณ์จะพบว่าปัจจัยต่าง ๆเช่นรัศมีปลายคมตัดของเม็ดมีด ความเร็วตัด อัตราป้อน ความลึกป้อน วัสดุที่ใช้ทำเม็ดมีด มุมคายเศษและมุมหลบของเม็ดมีด รูปทรงขนาดของชิ้นงานทั้งความโตและความยาว รวมถึงชนิดของวัสดุ จะมีผลต่อทั้งความหยาบผิวและความกลมของชิ้นงานทั้งสิ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] คมพันธ์ ชมสมุทร. 2554. การศึกษาเงื่อนไขการตัดที่ส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงานและอายุการใช้งานเม็ดมีด ด้วยวิธี
ทากูชิและพื้นผิวตอบสนอง, วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] ประสาน แสงเขียว 2553.การศึกษาอิทธิพลของเครื่องมือตัดในกระบวนการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304, วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[3] พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ วราคม เนิดน้อย และ เทิดศักดิ์ ใจงาม, 2552, การตรวจสอบสภาวะของมีดตัดด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เขตหนองจอก กรุงเทพฯ

[4] สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ และ ชาญณรงค์ รุ่งเรือง, 2554, การพัฒนาระบบการตรวจติดตามภายในกระบวนการตัดและการพยากรณ์สำหรับผิวชิ้นงานตัดบนเครื่องกลึงซีเอ็นซี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปทุมวัน กรุงเทพฯ

[5] วิมล บุญรอด และ ธเนศ รัตนวิไล, 2555, อิทธิพลของปัจจัยในการกลึงปอกต่อความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวจากการกลึงปาดหน้าเหล็ก AISI 4140 ด้วยเครื่องกลึง CNC

Parameters for Surface Roughness to facing AISI 4140 Steel By CNC Turning Machine.

กุลยุทธ บุญเซ่ง* ชัยยุทธ มีงาม
โปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อ.เมือง จ.สงขลา 90000
E-mail: Kulyuth.bo@skru.ac.th

Kulyuth boonseng* Chaiyoot Meengam
Program of Engineering, Faculty of Industrial technology, Songkhla Rajabhat University, Muang Songkhla
E-mail: Kulyuth.bo@skru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความขรุขระของผิวจากการกลึงเหล็ก AISI 4140 ด้วยเครื่องกลึง ซี เอ็น ซี ผลิตภัณฑ์จากการกลึงปาดผิวดังกล่าวนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นส่วนอุปกรณ์สำหรับขุดเจาะน้ำมัน มีปัจจัยในการทดลอง คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะป้อนลึก โดยกำหนดค่า ความเร็วตัด 100-300 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.1-0.3 มิลลิเมตร/รอบ และระยะป้อนลึก 0.2-0.8 มิลลิเมตร จากการทดลองเบื้องต้นมี 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิว คือ อัตราป้อนและระยะป้อนลึก นำปัจจัยทั้งสองมาออกแบบการทดลองแบบเต็มรูป แล้วทำการทดลองใหม่ พบว่าอัตราป้อนและระยะป้อนลึกส่งผลต่อค่าความขรุขระผิว ซึ่งจะมีความผันแปรโดยตรงต่อกัน จากผลการวิเคราะห์สามารถกำหนดสภาวะการตัดด้วยสมการ จากเงื่อนไขการทดลองที่สภาวะความเร็วตัด 300 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.1-0.3 มิลลิเมตร/รอบ และระยะป้อนลึก 0.2-0.8 มิลลิเมตร และทำการทดลองเพื่อยืนยันผลทดสอบสมมติฐานด้วยการทดสอบแบบ t พบว่า p-vale มีค่าเท่ากับ 0.898 จึงมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

คำหลัก ความขรุขระผิว, อัตราป้อน, ระยะป้อนลึก, เครื่องกลึง ซี เอ็น ซี, เหล็กกล้า AISI 4140.

Abstract

The purpose of this research is to investigate the effect of main factors on the surface roughness in AISI 4140 Steel by CNC Turning Machine. The steel products are usually employed in oil drilling industry. The main factors is velocity of cut, feed rate, and depth of cut by controlling the cutting speed in the range of 100-300 m/min, the feed rate of 0.1-0.3 mm/rev. and the depth of cut of 0.2-0.8 mm. The experiment showed that two factors that affect the surface roughness are feed rate and depth of cut. Both factors lead to a general full factorial design. Then a new trial enter the feed rate and depth of cut affect the surface roughness. From the result of analysis, the cutting condition could be explained by an equation, within the speed of 300 m/min, feed rate of 0.1-0.3 mm/rev, and the depth of cut of 0.2-0.8 mm. The confirmation was calculated With Hypothesis t-testing found that p-vale is equal to 0.898, so there was no significant difference. The level of significance 0.05

Keywords: Surface Roughness (Ra), Feed Rate, Depth of Cut, CNC Turning Machine, AISI 4140 steel.

1. บทนำ

ประเทศไทยมีทรัพยากรธรรมชาติ ก๊าซและน้ำมันอยู่ในอ่าวไทยปริมาณมาก มีกระบวนการนำขึ้นมาแปรรูปเพื่อการใช้งาน จังหวัดสงขลาเป็นแหล่งหนึ่งที่มีอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขุดเจาะน้ำมัน (Oilfield Services) เป็นจำนวนมาก ถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีการเติบโต สร้างงานและรายได้ให้กับคนในภาคใต้ โดยบริษัทที่ประกอบกิจการลักษณะนี้จะทำหน้าที่ผลิตชิ้นส่วนเพื่อสนับสนุนกระบวนการขุดเจาะน้ำมัน วัสดุหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิต คือ เหล็กกล้า AISI 4140 จะนำมาใช้เป็นชิ้นส่วนของเพลาและสลักเกลียวต่างๆ เพราะมีคุณสมบัติทางกลที่ดีมีความแข็งแรงสูง [1] แต่ก่อนนำไปใช้งานจะมีการขึ้นรูป (Machine) ด้วยเครื่องกลึง (Lathe) เพื่อตัดเฉือนเนื้อวัสดุให้ขาดออกจากเนื้อเดิม ได้ชิ้นงานที่มีขนาดตามแบบกำหนด และได้ความขรุขระผิวตามต้องการ วิธีการหนึ่งที่นำมาใช้ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานในอุตสาหกรรมน้ำมัน (Oil Industrial) คือ การกลึงปาดหน้า ซึ่งเป็นกรรมวิธีเบื้องต้นของการขึ้นรูปชิ้นงาน ส่งผลให้มีปริมาณงานที่ต้องผลิตเป็นจำนวนมาก บวกกับความต้องการด้านประสิทธิภาพ (Efficiency) ความเที่ยงตรง (Precision) และคุณภาพ (Quality) จึงมีการนำเครื่องกลึง ซี เอ็น ซี (CNC Turning Machine) มาใช้ในกระบวนการผลิต เป็นการตอบโจทย์อุตสาหกรรมประเภทนี้ได้เป็นอย่างดี

การใช้เครื่องกลึง ซี เอ็น ซี ช่วยในการทำงาน มีความจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยสำคัญต่างๆ เพื่อควบคุมสภาวะการทำงานให้เหมาะสม เพราะจะส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงาน กระบวนการผลิต ความเที่ยงตรง รวมไปถึงการสึกหรอ (Wear) ของเครื่องมือตัดที่จะเกิดขึ้น นำไปสู่การสูญเสียเวลาและต้นทุนในการผลิต โดยจะมีตัวแปรสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณา ได้แก่ ความเร็วตัด (Cutting Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) ระยะป้อนลึก (Depth of Cut) [2] ซึ่งการกำหนดปัจจัยดังกล่าวในการใช้งานนั้นจะต้องมีความสัมพันธ์ที่เหมาะสมต่อกัน จึงจะผลิตงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้คุณภาพผิวสำเร็จที่ดี [3,4] เป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวชิ้นงาน (Surface Roughness) และมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ [5] นอกจากนั้นยังมีตัวแปรอื่นๆ เช่น มีดกลึง (Cutting Tool) ประเภทของชิ้นงาน (Work Piece) ที่จะนำมาทำการตัดเฉือน [6] ก็เป็นปัจจัยที่จะส่งผลต่อความขรุขระผิวได้อีกเช่นกัน

ดังนั้นเพื่อความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือในการทดลอง จึงนำวิธีการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมมาใช้ ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมและถูกนำมาใช้สำหรับการออกแบบ วางแผน และวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยหลักการทางสถิติ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสม ถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ [7] และสามารถลดต้นทุนในกระบวนการทดลองอีกด้วย

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นนำไปสู่การวิจัยเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการกลึงปาดหน้าเหล็ก AISI 4140 ที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวชิ้นงาน ด้วยเม็ดมีดคาร์ไบด์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์กับงานอุตสาหกรรมน้ำมันและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง สำหรับการเลือกใช้สภาวะการกลึงให้เหมาะ เพื่อลดต้นทุนการผลิต ประหยัดเวลา และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลต่อไป

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

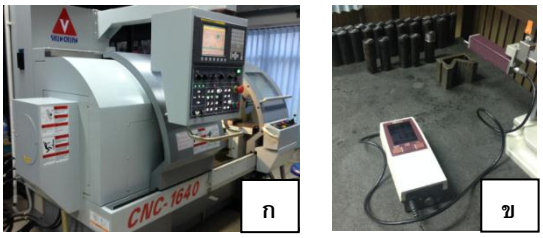
เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยจึงกำหนดวิธีการ ขั้นตอน กระบวนการดำเนินงาน เตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ ออกแบบการทดลอง และวิเคราะห์ผล สำหรับการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความขรุขระผิวเหล็ก AISI 4140 โดยใช้เครื่องกลึง ซี เอ็น ซี มีลำดับขั้นตอนดังนี้

2.1 เครื่องจักร เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

1) เครื่องเลื่อย (Sawing Machine)

2) เครื่องกลึง (Lathe Machine)

3) เครื่องกลึง ซี เอ็น ซี ใช้ทดลองศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขรุขระผิวในการกลึงชิ้นงานเหล็ก AISI 4140 เครื่องหมายการค้า SHUN CHUAN รุ่น CNC-1640 ดังรูปที่ 1 (ก)



รูปที่ 1 เครื่องมือและอุปกรณ์
(ก) เครื่องกลึง ซี เอ็น ซี (SHUN CHUAN รุ่น CNC-1640)
(ข) เครื่องวัดความขรุขระผิว (Mitutoyo รุ่น SJ 210)

4) เครื่องวัดความขรุขระผิว (Surface Roughness Machine) เครื่องหมายการค้า Mittutoyo รุ่น SJ 210 ดังรูปที่ 1 (ข)

5) เม็ดมีดคาร์ไบด์ (Carbide Tool) มีเครื่องหมายการค้า Kennametal รุ่น KC 9125 ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 เม็ดมีดคาร์ไบด์ Kennametal รุ่น KC9125

6) เหล็ก AISI 4140 รายละเอียดส่วนผสมทางเคมี แสดงดังตารางที่ 1

7) น้ำมันหล่อเย็น (Coolant) แบบกึ่งสังเคราะห์

8) โปรแกรม Minitab R.16 ช่วยวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมี (% โดยน้ำหนัก) ของเหล็กกล้า AISI 4140 [8]

Materials (%)	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Fe%
AISI 4140	0.41	0.21	0.83	0.025	0.027	0.91	0.18	Bal.

2.2 วิธีดำเนินการทดลอง

ผู้วิจัยกำหนดแนวทางและวิธีการทดลองมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1) เตรียมชิ้นงานทดลอง

2) เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องกลึง ซี เอ็น ซี ทดสอบกลึงชิ้นงาน ปรับแก้คำสั่งโปรแกรมให้มีการทำงานได้อย่างสมบูรณ์ และทดลองปัจจัยเบื้องต้นของช่วงระดับปัจจัยต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในการทดลอง โดยมีปัจจัยหลัก (Main Effect) คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะป้อนลึก ซึ่งการพิจารณาปัจจัยควบคุมจะคำนึงถึงคุณสมบัติของเม็ดมีดประกอบ

3) หาขนาดสิ่งตัวอย่างในการกลึง ใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีนัยสำคัญ 5% ทดลองจากปัจจัยควบคุมที่ความเร็วตัด 200 เมตร/นาที อัตราการป้อน 0.2 มิลลิเมตร/รอบ และระยะป้อนลึกในการกลึง 0.5 มิลลิเมตร ทดลองซ้ำในสภาวะการกลึง 10 ครั้ง ได้ค่าความขรุขระผิวนำมาคำนวณหาจำนวนครั้งของการทดลอง

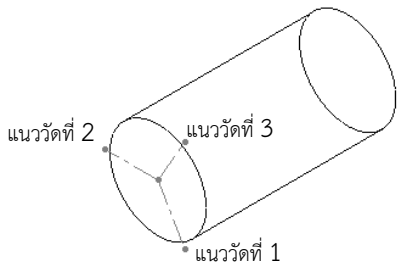
4) ทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความขรุขระผิว ด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 [9-12] ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำผลที่ได้มาคำนวณค่าทางสถิติและวิเคราะห์ผลการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระดับนัยสำคัญ 5 % กำหนดปัจจัยหลัก คือ ความเร็วตัด(C) มี 2 ระดับ คือ 100 เมตร/นาที 300 เมตร/นาที อัตราการป้อน(F) มี 2 ระดับ คือ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ 0.3 มิลลิเมตร/รอบ และระยะป้อนลึก(D) มี 2 ระดับคือ 0.2 มิลลิเมตร 0.8 มิลลิเมตร จากการออกแบบการทดลองได้ 8 สภาวะ และเพื่อลดความแปรปรวนของตัวแปรจึงกำหนดลำดับสภาวะการทดลองโดยใช้วิธีการสุ่มแบบธรรมดา

5) จากปัจจัยการทดลองเบื้องต้นที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวนำมาออกแบบการทดลอง คำนวณค่าทางสถิติและวิเคราะห์ผล โดยใช้วิธีการทดลองแบบเต็มรูป (General Full Factorial Design)

6) สร้างสมการทำนายค่าความขรุขระผิวที่ได้จากการกลึงเหล็ก AISI 4140

7) ทดลองยืนยันผลจากสมการทำนาย นำผลที่ได้จากการทดลองมาทดสอบสมมติฐานด้วยการทดสอบแบบ t

การวัดความขรุขระผิวจะกำหนดจุดวัด 3 จุดต่อชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 3 [13] เพื่อลดความผิดพราดในขั้นตอนการวัด ซึ่งตำแหน่งของการวัดจะทำมุม 120 องศาต่อกัน และนำผลความขรุขระผิวที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย



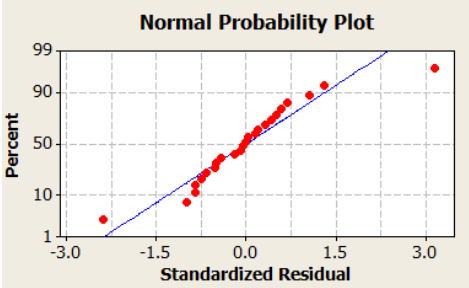
รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดความขรุขระผิว

3. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองที่ 1 การหาขนาดของสิ่งตัวอย่างในการทดลองด้วยการใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระดับนัยสำคัญ 5% เก็บข้อมูลซ้ำในสภาวะการกลึงจำนวน 10 ครั้ง ผลการประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.5 มีกำลังในการทดสอบ (Power of Test; 1-β) เท่ากับ 0.99571 ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จะต้องใช้ขนาดสิ่งตัวอย่าง 3 ซ้ำ

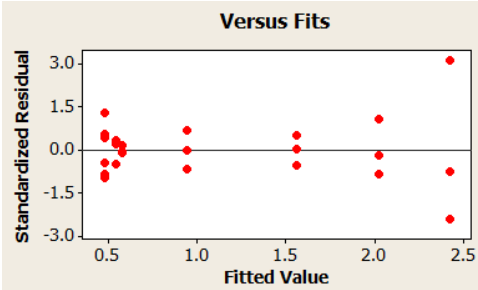
ผลการทดลองที่ 2 การตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยพิจารณาคุณสมบัติ 3 ประการ คือ (1)การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) (2) การตรวจสอบความอิสระของข้อมูล (Independence Test) และ (3) การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability Test) หากผลที่ได้มีความเป็นปกติ มีความอิสระ และมีความเสถียรภาพของข้อมูล แสดงว่าการทดลองมีความเหมาะสมสามารถนำไปใช้วิเคราะห์สัมประสิทธิของการตัดสินใจและวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

(1) การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลจากตรวจสอบส่วนตกค้างว่ามีการกระจายแบบแจกแจงปกติหรือไม่ โดยพิจารณาจากรูปที่ 4 พบว่า ข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวตามแนวเส้น ไม่แสดงสิ่งผิดปกติให้เห็น [9,12] แสดงว่าส่วนตกค้างของความขรุขระที่ได้จากการกลึง มีการแจกแจงเป็นแบบปกติ



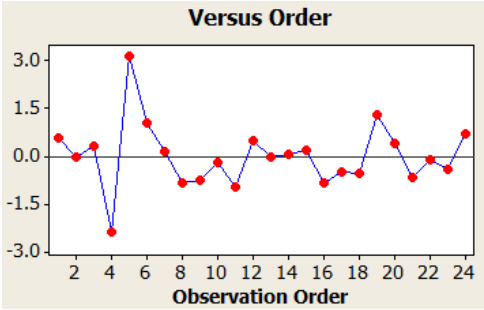
รูปที่ 4 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง

(2) การตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้างโดยใช้แผนภูมิการกระจายเพื่อสังเกตลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่ามีรูปแบบอิสระหรือไม่ จากการพิจารณารูปที่ 5 พบว่าส่วนตกค้างของค่าความขรุขระผิวจากการกลึง มีการกระจายตัวของข้อมูลไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบได้ มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ [9,12] แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5 แผนภูมิกระจายส่วนตกค้างในแต่ละระดับของปัจจัย

(3) การตรวจสอบความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ดังรูปที่ 6 พบว่าส่วนตกค้างของค่าความขรุขระผิวจากการทดลอง มีการกระจายของส่วนตกค้างในแต่ระดับของปัจจัยอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ ไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ [9,12] แสดงได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระจากค่าส่วนตกค้าง จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 ส่วน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลจากการทดลองสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ผลต่อไปได้



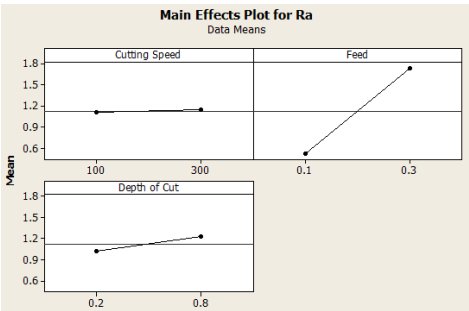
รูปที่ 6 แผนภูมิกระจายส่วนตกค้างกับลำดับของข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากตารางที่ 2 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 98.90% แปลความได้ว่าปัจจัยทั้ง 3 คือ ความเร็วตัด อัตราป้อน และระยะป้อนลึกมีผลกระทบต่อค่าความขรุขระผิวสูงถึง 98.90 % อีก 1.10 % เป็นผลจากปัจจัยที่ไม่สามารถอธิบายได้ว่าความผันแปรที่เกิดมาจากปัจจัยดังกล่าวหรือเกิดจากความคลาดเคลื่อนอื่นๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ และค่า Adjusted R^2 มีค่าเท่ากับ 98.42% จะใกล้เคียงกับ R^2 แสดงได้ว่าจำนวนข้อมูลในการทดลองมีปริมาณที่เพียงพอ[9] เมื่อวิเคราะห์ ANOVA (Analysis of Variance) ที่ระดับ นัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่าความเร็วตัดมีค่า p-value เท่ากับ 0.239 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 แปลความได้ว่าค่าความเร็วตัดไม่มีผลกระทบต่อค่าความขรุขระผิว แต่อัตราป้อนและระยะป้อนลึกมีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าทั้งสองปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อค่าความขรุขระผิว [9-12]

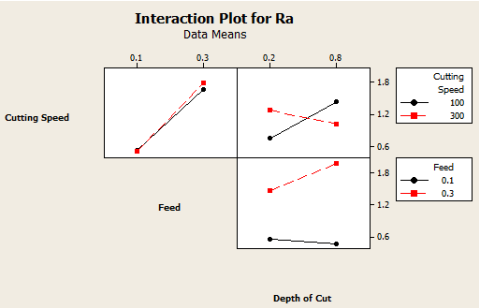
ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระผิว

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1.1251	0.01902	159.16	0.000
C	0.0233	0.01902	1.22	0.239
F	0.6077	0.01902	31.95	0.000
D	0.1068	0.01902	5.61	0.000
C * F	0.0305	0.01902	1.60	0.128
C * D	-0.2373	0.01902	-12.48	0.000
F*D	0.1467	0.01902	7.71	0.000
C*F*D	0.2473	0.01902	-13.01	0.000
S = 0.0931676 R^2 = 98.90% R^2(adj) = 98.42%				

และเมื่อพิจารณาผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่มีต่อความขรุขระผิว พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อลดอัตราป้อน แสดงดังรูปที่ 7 ที่อัตราป้อน 0.3 มิลลิเมตร/รอบ เมื่อปรับลดเป็น 0.1 มิลลิเมตร/รอบ ค่าความขรุขระผิวลดลงด้วย เนื่องจากที่อัตราป้อนน้อยเม็ดมีดจะมีการรับแรงในการตัดเฉือนน้อย และที่อัตราป้อนสูงเม็ดมีดก็จะรับแรงในการตัดเฉือนสูงขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบต่อความเร็วในการตัดเฉือน ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเม็ดมีดส่งผลกระทบต่อความขรุขระผิวชิ้นงาน [14] ส่วนระยะป้อนลึกก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน คือ เมื่อลดระยะป้อนลึกจาก 0.8 มิลลิเมตร เป็น 0.2 มิลลิเมตร ความขรุขระจะลดลง เพราะระยะป้อนลึกเป็นตัวกำหนดพื้นที่สัมผัสระหว่างเม็ดมีดกับชิ้นงาน หากมีพื้นที่สัมผัสมากขึ้นก็จะเกิดการเสียดสีสูงทำให้เกิดความร้อนที่ปลายมีดเพิ่มขึ้น นำไปสู่การเสียหายของเม็ดมีดส่งผลต่อความขรุขระผิว [15,16] และความเร็วตัดก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน เมื่อลดความเร็วตัดจาก 300 เมตร/นาที เป็น 100 เมตร/นาที ค่าความขรุขระผิวก็จะลดลงเช่นกันแต่มีความแตกต่างกันไม่มากแสดงดังรูปที่ 7 เพราะการใช้คำสั่งควบคุมโปรแกรมการทำงานของเครื่องกลึง ซี เอ็น ซี ให้ความเร็วรอบหมุนแปรผกผันตามขนาดความโต ณ ตำแหน่งที่มีดตัดเฉือนชิ้นงาน คือ เมื่อขนาดความโตชิ้นงานเพิ่มขึ้นความเร็วรอบจะช้าลง และเมื่อความโตชิ้นงานเล็กลงความเร็วรอบก็จะสูงขึ้น ส่งผลให้ลดแรงปะทะระหว่างเม็ดมีดกับชิ้นงาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์



รูปที่ 7 ผลกระทบของแต่ละปัจจัยหลักต่อความขรุขระผิว

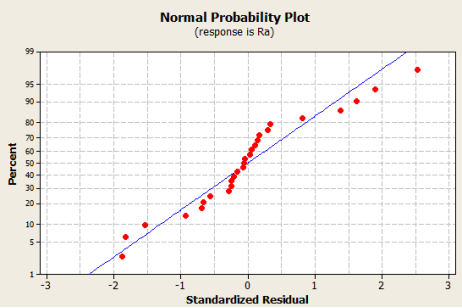


รูปที่ 8 ผลกระทบการปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่อความขรุขระผิว

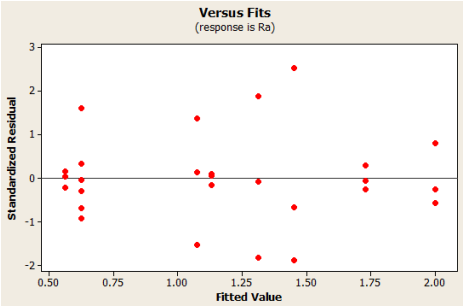
จากผลการวิเคราะห์ปัจจัยหลักของการทดลองเบื้องต้นพบว่าอัตราป้อน และระยะป้อนลึก เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวของการกลึงเหล็ก AISI 4140 ดังนั้นจึงนำปัจจัยทั้งสองไปใช้ออกแบบการทดลองต่อไป

ผลการทดลองที่ 3 นำปัจจัยทั้ง 2 คือ อัตราป้อนและระยะป้อนลึก มาออกแบบการทดลอง โดยกำหนดอัตราป้อน 3 ระดับ คือ 0.1, 0.2, 0.3 มิลลิเมตร/รอบ และกำหนดระยะป้อนลึก 3 ระดับ คือ 0.2, 0.5, 0.8 มิลลิเมตร และใช้ความเร็วตัดคงที่ 300 เมตร/นาที

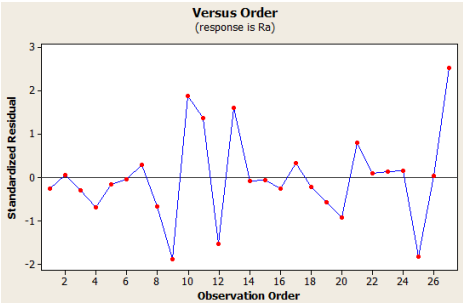
จากผลการทดลองนำข้อมูลมาตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง โดยพิจารณาจาก (1)การแจกแจงแบบปกติ (2)มีความอิสระต่อกัน และ (3)มีความเสถียรภาพของความแปรปรวนหรือไม่ เพื่อยืนยันความเพียงพอและความน่าเชื่อถือของการทดลอง จากการพิจารณาความเป็นปกติของข้อมูลโดยการตรวจสอบส่วนตกค้างว่ามีการกระจายแบบแจกแจงปกติหรือไม่ โดยพิจารณาจากรูปที่ 9 พบว่า ข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวตามแนวเส้นและไม่พบค่าผิดปกติที่เกิดขึ้น[9-12] แสดงได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ ส่วนการพิจารณาความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้างโดยใช้แผนภูมิการกระจายเพื่อสังเกตค่าลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่ามีความเป็นอิสระหรือไม่ โดยพิจารณาจากรูปที่ 10 พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ไม่สามารถประมาณรูปแบบได้ มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ [9-12] แสดงว่าความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้างมีอิสระต่อกัน และตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนจากส่วนตกค้าง โดยพิจารณาจากรูปที่ 11 พบว่าการกระจายของส่วนตกค้างในแต่ระดับของปัจจัยมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ [9-12] แสดงว่าส่วนตกค้างมีความเสถียรของความแปรปรวน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ผลต่อได้



รูปที่ 9 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง



รูปที่ 10 แผนภูมิการกระจ่ายส่วนตกค้างในแต่ละระดับของปัจจัย



รูปที่ 11 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างกับลำดับของข้อมูล

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 99.12 % และค่า Adjust R^2 มีค่าเท่ากับ 98.73 % ซึ่งแปลความได้ว่าปัจจัยทั้ง 2 คือ อัตราป้อน และระยะป้อนลึกมีผลกระทบต่อความขรุขระผิวสูงถึง 99.12 % อีก 0.88 % เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถอธิบายได้ว่า ความผันแปรที่เกิดมาจากปัจจัยดังกล่าวหรือเกิดจากความคลาดเคลื่อนอื่นๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ และค่า Adjusted R^2 มีค่าเท่ากับ 98.73 % ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกบค่า R^2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนข้อมูลในการทดลองมีปริมาณที่เพียงพอ [9]

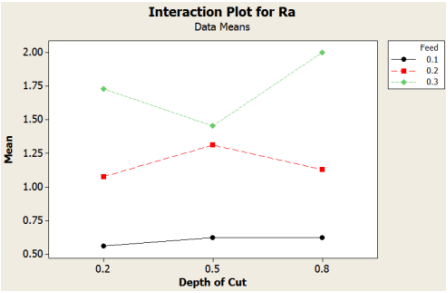
ดังนั้นความผันแปรของความขรุขระผิวส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้จากปัจจัยหลัก คือ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก จึงนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความขรุขระผิว

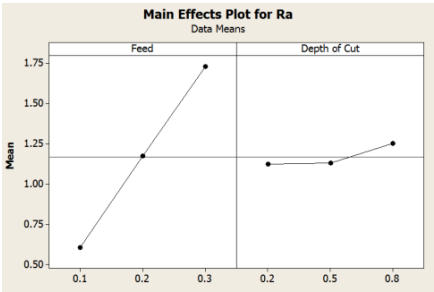
Sourch	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
F	2	5.68212	5.6821	2.8411	927.33	0.000
D	2	0.09383	0.0938	0.0469	15.31	0.000
F*D	4		0.4536	0.1134	37.01	0.000
Error	18		0.0552	0.0031		
Total	26					

S = 0.0553507 R-Sq = 99.12% R-Sq(adj) = 98.73%

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความขรุขระผิว จากตารางที่ 3 พบว่าปัจจัยอิทธิผลหลัก คือ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก รวมถึงปัจจัยร่วมระหว่างอัตราป้อนที่มีความสัมพันธ์กับอัตราป้อนลึก จะมีอิทธิผลต่อความขรุขระผิวอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า p-vale เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ทั้ง 3 ปัจจัย และจากรูปที่ 12 และรูปที่ 13 มีแนวโน้มว่าเมื่อลดอัตราป้อนและระยะป้อนลึกลง จะส่งผลให้ความขรุขระผิวลดลงด้วย และในทางกลับกันหากเพิ่มอัตราป้อนและระยะป้อนลึกขึ้นก็จะมีแนวโน้มค่าความขรุขระผิวที่สูงขึ้นเช่นกัน

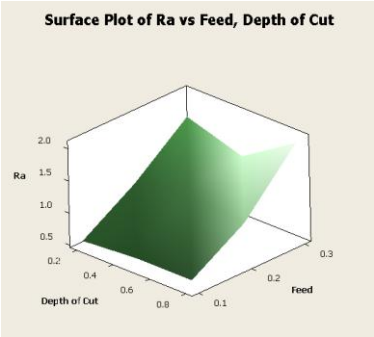


รูปที่ 12 ผลกระทบของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อนกับระยะป้อนลึกต่อความขรุขระผิว



รูปที่ 13 ผลความขรุขระผิวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยหลัก

ผลการทดลองที่ 4 จากการวิเคราะห์สมการถดถอยที่มีผลต่อความขรุขระผิว นำมาสร้างสมการทำนายผลกราฟพื้นผิวของความขรุขระ แสดงดังรูปที่ 14 พบว่าที่สภาวะความเร็วตัด 300 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.1 มิลลิเมตร/รอบ และระยะป้อนลึก 0.2 มิลลิเมตร จะให้ความขรุขระผิวต่ำสุดเท่ากับ 0.553 ไมโครเมตร และได้สมการทำนายสำหรับปัจจัยการกลึงเหล็ก AISI 4140 ของค่าความขรุขระผิว แสดงดังสมการที่ (1)



รูปที่ 14 กราฟพื้นผิวของความขรุขระ

สมการที่ 1

$$Ra = -0.0621667 + 5.61833\ \text{Feed Rate} + 0.214259 * \text{Depth of Cut} \quad (1)$$

เมื่อ Ra คือ ความขรุขระผิว (ไมโครเมตร)
Feed Rate คือ อัตราป้อน (มิลลิเมตร/รอบ)
Depth of Cut คือ ระยะป้อนลึก (มิลลิเมตร)

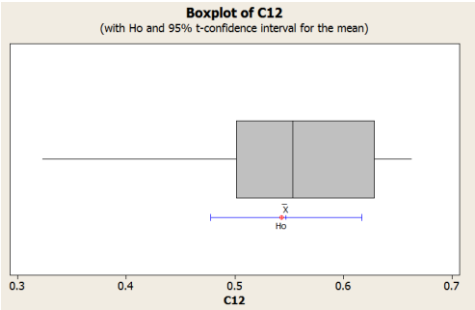
ผลการทดลองที่ 5 เพื่อยืนยันผลจากสมการที่ 1 จึงกำหนดสภาวะการทดลองที่ ความเร็วตัด 300 เมตร/นาที อัตราป้อนที่ระดับ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ และระยะป้อนลึกที่ 0.2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าสภาวะที่อยู่ในช่วงขอบเขตที่กำหนดในการทดลอง และทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ผลการทดลองพบว่า มีค่าเฉลี่ยของค่าความขรุขระผิวเท่ากับ 0.5471 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0972 เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานด้วยการทดสอบแบบ t ของการทดลองเพื่อยืนยันผล พบว่า p-vale มีค่าเท่ากับ 0.898 แสดงดังรูปที่ 15 แปลความว่าความขรุขระผิวจากการทดลองและสมการทำนายมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ความเชื่อมั่น 95 % โดยมีค่าความขรุขระผิวอยู่ระหว่าง 0.4776-0.6166 แสดง Boxplot ดังรูปที่ 16 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสมการดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการทำนายผลการทดลองความขรุขระผิวได้

One-Sample T: Surface Roughness (Ra)

Test of mu = 0.543 vs not = 0.543

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
C12	10	0.5471	0.0972	0.0307	(0.4776, 0.6166)	0.13	0.898

รูปที่ 15 การวิเคราะห์ One–Sample T-test ความขรุขระผิวเพื่อยืนยันผลการทดลอง



รูปที่ 16 รูป Boxplot แสดงค่าความขรุขระช่วงยืนยันผลการทดลอง

4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาอิทธิผลของตัวแปรที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวจากการกลึงปาดหน้าเหล็ก AISI 4140 โดยใช้เครื่องกลึง ซี เอ็น ซี ด้วยใบมีดคาร์ไบด์ นำมาออกแบบการทดลองแบบเต็มรูป พบว่าอัตราป้อน และระยะป้อนลึกมีผลต่อความขรุขระผิว โดยทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน หากลดอัตราป้อนและระยะป้อนลง จะส่งผลให้ความขรุขระลดลงด้วย สามารถแสดงในรูปของสมการทำนายความขรุขระผิวที่ได้จากการกลึง คือ ความขรุขระผิว = -0.0621667 + 5.61833 Feed + 0.214259 Depth of Cut โดยมีค่าสัมประสิทธิของการตัดสินใจเท่ากับ 99.12 % จากการทดลองที่อัตราป้อนระดับ 0.1 มิลลิเมตร/รอบ ระยะป้อนลึก 0.2 มิลลิเมตร และความเร็วตัด 300 เมตร/นาที จะให้ค่าความขรุขระผิวต่ำสุด เท่ากับ 0.553 ไมโครเมตร เมื่อทดลองเพื่อยืนยันผลที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ได้ค่า p-value เท่ากับ 0.898 แสดงได้ว่าค่าความขรุขระผิวที่ได้จากสมการกับการทดลองในสภาวะกำหนดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และขอขอบคุณโปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง ตลอดจนผู้ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

[1] วิมล อินทร์แก้ว และ วีรวุธ รักจิตต์. “คู่มือการเลือกใช้เหล็ก” บริษัท โอเรียนทอล สเปเชี่ยนสตีล จำกัด. หน้า 7.

[2] สมเสียง จันทาสี และศิริชัย ปั้นสมสกุล. (2557.) “การทำนายความหยาบผิวในงานกัดเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11 โดยใช้ตัวแบบสมการถดถอย.” วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 19(6), 843-859.

[3] M.Y. Wang, H.Y. Chang. Experimental study of surface roughness in slot end milling AL2014-T6. International Journal of Machine Tools and Manufacture .Vol. 44, no.1 (2004), pp 51-57.

[4] G.T.,Smith, Advanced Machining. (1988.) The Handbook of cutting Technology. Department of Engineering and Naval Architecture Southampton. Institute of Higher Education. Southampton.

[5] M.P.Groover, M.P. (1996.) Fundamentals Of Modern Manufacturing, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ (Now Published By John Wiley, New York)

[6] G.G. Ye, S.F. Xue, W. Ma, M.Q. Jiang, Z. Ling, X.H. Tong, L.H. Dai. (2011.) Cutting AISI 1045 steel at very high speeds, International Journal of Machine Tools & Manufacture.

[7] Thomas, M.., Beauchamp, Y., Youssef, Y.A & Masounave, J (1997.) An experimental design for surface roughness and built-up edge formation in lathe dry turning. Int. J. Qual. Sci.Vol.2 No.3, pp.167–180.

[8] Genel, Kenan Demirkol, Mehmet Gülmez, Turgut, (2000.) Corrosion fatigue behaviour of ion nitrided AISI 4140 steel. Materials Science and Engineering. Vol. 288 No.1, pp.91–100.

[9] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2548.) สถิติสำหรับงาน

วิศวกรรมเล่ม 2 ประมวลผลด้วย Minitab. พิมพ์ครั้งที่ 6, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรงเทพฯ.

[10] ปราเมศ ชุติมา, (2545.) การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรงเทพฯ.

[11] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2551.) การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์ท้อป. กรุงเทพฯ.

[12] D. C. Montgomery, (2009.) Design and Analysis of Experiments. 7th edition. John Wiley & Sons Inc.

[13] วิมล บุญรอด และธเนศ รัตนวิไล. (2555.) “อิทธิผลของปัจจัยในการกลึงปอกต่อความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง” วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. 23(4), 71-77.

[14] R. Schmitt, Y. Cai and A. Pavim (2012.) Machine Vision System for Inspecting Flank Wear on Cutting Tools, Int. J. on Control System and Instrumentation, Vol. 03, No. 01.

[15] บรรจง เฟื่องฟู และสมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล. (2554.) “คุณภาพความเรียบพื้นผิววัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์ NAK 80 จากกรรมวิธีการกัดขึ้นรูป” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2554.

[16] BADRU DOJA and D.K.SINGH. (2012.) Analysis and Effect of Process Parameters on Surface Roughness and Tool Flank Wear in Facing Operation, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 1 Issue 4.

การเชื่อมความต้านทานแบบจุดต่ำแบบต่างความหนาของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400

Dissimilar thickness resistance spot welding of duplex stainless steel AISI 2205 and low carbon steel SS400

มัลลิกา วิริยาภิรมย์ จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบ จ. อุบลราชธานี 34190 E-mail: M.wiriyapirom@gmail.com jariyaporn.s@ubu.ac.th*

Mullika Wiriyapirom, Jariyaporn Onwong*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University,
Warinchamrab, Ubonratchathani, 34190, E-mail: M.wiriyapirom@gmail.com jariyaporn.s@ubu.ac.th*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความหนาวัสดุสำหรับการเชื่อมแบบต่อเกยของวัสดุต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด AISI 2205 และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด SS400 ด้วยการเชื่อมความต้านทานแบบจุด ปัจจัยที่พิจารณาประกอบด้วย 4 ปัจจัยคือ กระแสเชื่อม ระยะเวลาเชื่อม แรงกดจากหัวอิเล็คโทรด และความหนาของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ แต่ละปัจจัยพิจารณา 3 ระดับ ความหนาของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำกำหนดคงที่ 1.8 มิลลิเมตร ออกแบบการทดลองแบบทากูชิ $L_{27}(3^4)$ เพื่อหาพารามิเตอร์ของโครงสร้างมหาภาคประกอบด้วย อัตราการหลอมละลาย อัตราการยุบตัว และเส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อม ผลการวิเคราะห์ด้วยความแปรปรวนแบบทากูชิพบว่า อัตราการหลอมละลายได้รับอิทธิพลจากความหนาสูงสุด อัตราการหลอมละลายสูงสุด 72.83% เมื่อเชื่อมด้วยแรงกดจากอิเลคโตรดขนาด 1.2 กิโลนิวตัน กระแสเชื่อม 12 กิโลแอมแปร์ เวลาเชื่อม 60 รอบ ความหนาของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ 2.2 มิลลิเมตร ความหนามีอิทธิพลอันดับที่ 2 ต่ออัตราการยุบตัวรองจากกรแสเชื่อม อัตราการยุบตัวต่ำสุดที่ 1.75 % เมื่อเชื่อม แรงกด 1.6 กิโลนิวตัน กระแสเชื่อม 8 กิโลแอมแปร์ 50 รอบ ความหนาของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ 2.2 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรอยเชื่อมสูงสุด 8.07 มิลลิเมตรเมื่อเชื่อมด้วยแรงกด 1.2 กิโลนิวตัน กระแสเชื่อม 12 กิโลแอมแปร์ เวลาเชื่อม 60 รอบ ความหนาของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ 2.0 มิลลิเมตร และพบว่าความหนาไม่มีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อม

คำหลัก เชื่อมความต้านทานแบบจุด เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 อัตราการการยุบตัว อัตราการหลอมละลาย ความหนา

Abstract

This study presented the influence of thicknesses on lab joint of dissimilar joints between duplex stainless steel AISI 2205 and low carbon steel SS400 by resistance spot welding. Four factors; welding current, welding time, electrode force and duplex stainless plate thicknesses were considers. The thickness of low carbon plate was fixed constant at 1.8 mm. The L_{27} (3^4) Taguchi experimental design was applied to determine three macrostructure parameters; melting rate, indentation rate and nuggets diameters. The results from experiments and ANOVA analysis shown that melting rate was affected from duplex

stainless plate thickness. The maximum melting rate was 72.83% at the electrode force 1.2 kN., welding current 1.2 kA., welding time 60 cycles and duplex stainless thickness was 2.2 mm. The thickness of duplex stainless showed the second highest effect to indentation rate. The minimum indentation rate was 1.75 % at the electrode force 1.6 kN., welding current 8 kA., welding time 50 cycles and duplex stainless thickness was 2.2 mm. The maximum nugget diameter was 8.07 mm at the electrode force 1.2 kN, current 1.2 kA, weld time 50 cycles and duplex stainless thickness 2.0 mm. The analysis also shown that there was no effect from duplex stainless thickness to the nugget diameter.

Keywords: Resistant spot welding, Stainless duplex AISI 2205, Indentation rate, Melting rate, Thickness

1. บทนำ

การเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Resistant spot welding: RSW) เป็นกระบวนการเชื่อมที่สามารถประกอบชิ้นงานได้อย่างรวดเร็วทำให้มีอัตราการผลิตสูง มีผลกระทบทางความร้อนต่อการผิดรูปของชิ้นงานน้อย ปราศจากวัสดุประสานจึงสามารถควบคุมคุณภาพได้ดีกว่าการเชื่อมวิธีการอื่นและเป็นเทคนิคที่ลดอันตรายจากการก่อตัวของสารประกอบระหว่างโลหะของแนวเชื่อม ผิวงานหลังการเชื่อมเนียนเรียบมีความแข็งแรงต่อจุดเพียงพอต่อการรับแรง สามารถเชื่อมได้กับวัสดุชนิดเดียวกันและวัสดุต่างชนิด จึงได้รับความนิยมและนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรมโดยอย่างยิ่งอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมต่อเรือ และอุตสาหกรรมการบินที่มีการเชื่อมประกอบตัวถังและโครงสร้างมากถึง 3000 – 7000 จุด ดังนั้นคุณภาพและประสิทธิภาพของการเชื่อมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความทนทานและความปลอดภัย

การเชื่อมเริ่มจากวางแผ่นโลหะที่ต้องการเชื่อมระหว่างอิเลคโตรดบนและอิเลคโตรดล่าง แรงกดจะส่งผ่านจากอิเลคโตรดบนเพื่อลดความต้านทานสัมผัสระหว่างแผ่นเหล็กต่อแผ่นเหล็ก และแผ่นเหล็กต่ออิเลคโตรด วัสดุที่มีความแข็งแรงมากต้องใช้กระแสเชื่อมสูงเพื่อให้เกิดความร้อนเพียงพอต่อการหลอมวัสดุและเชื่อมต่อระหว่างแผ่นโลหะ คุณภาพงานเชื่อมควบคุมด้วยกระแสเชื่อม เวลาเชื่อม แรงกดจากอิเลคโตรด รูปทรงอิเลคโตรด ชนิดของอิเลคโตรดและปริมาณความร้อนสมการแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณความร้อน ความต้านทาน กระแสการเชื่อมและเวลาเชื่อมของการเชื่อมความต้านทาน แสดงในสมการที่ (1)

$$H = I^2 Rt \qquad (1)$$

เมื่อ H คือปริมาณความร้อนสำหรับการเชื่อม (จูล) I คือกระแสการเชื่อม (แอมแปร์) R คือความต้านทานของชิ้นงาน (โอห์ม) และ t คือเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน (วินาที)

การศึกษาการเชื่อมวัสดุชนิดเดียวกันมีรายงานอย่างแพร่หลาย เมื่อการเชื่อมวัสดุต่างชนิดได้รับความสนใจเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับอุตสาหกรรม จึงมีประเด็นการศึกษาเพิ่มเติมเช่น ความเหมาะสมของกระแสและเวลาเชื่อม เทคนิคการสมดุลความร้อน เนื่องจากสมบัติการนำความร้อนที่แตกต่างกันของวัสดุ การสมดุลทางความร้อนของขนาดอิเลคโตรด ระยะห่างระหว่างแผ่นเหล็กต่อแผ่นเหล็กหรือระยะห่างระหว่างแผ่นเหล็กต่ออิเลคโตรด เป็นต้น [1]

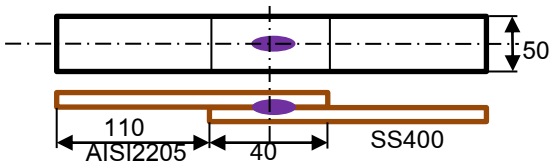
เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 เป็นวัสดุในกลุ่มของดูเพล็กซ์ที่ได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดทั้งในอุตสาหกรรมต่อเรือ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมยาและเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นต้น การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 ต้องระมัดระวังเพื่อให้คงสมดุลของเฟสออสเทนไนท์และเฟอร์ไรท์ที่เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุ ความรู้ความเข้าใจเรื่องคุณภาพงานเชื่อมในอุตสาหกรรมต่าง ๆมีความต้องการสูงขึ้นตามความหลากหลายด้านการออกแบบนอกจากการเชื่อมกับวัสดุต่างชนิดแล้ว การประยุกต์ใช้ต่างความหนาก็มีปริมาณมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาเพื่อสร้างความเข้าใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมในทางอุตสาหกรรม [2]

โครงสร้างมหภาคมีอิทธิพลสำคัญต่อคุณภาพงานเชื่อมความต้านทานแบบจุด การเพิ่มความลึกของรอยกดเป็นการเพิ่มตำแหน่งความเค้นของวัสดุนำไปสู่จุดเริ่มต้น

ของรอยแตกและการเสียหายได้ การศึกษาโครงสร้างมหภาคจึงสามารถเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อม อย่างไรก็ตามรายงานการศึกษา โครงสร้างมหภาคสำหรับการเชื่อมวัสดุต่างชนิดแบบต่างความหนามีรายงานอย่างจำกัด [3] และยังไม่พบรายงานการศึกษาของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 จากเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่มาของการศึกษาการเชื่อมวัสดุแบบต่างความหนาสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 และเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS 400 และเปรียบเทียบด้วยโครงสร้างมหภาค

2. การทดลองและทดสอบ

วัสดุสำหรับการทดลองนี้ประกอบด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 และเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS 400 ขนาดของชิ้นงาน 50 มม.× 150 มิลลิเมตร ต่อเกยระยะ 40 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1. เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์กำหนดให้อยู่ด้านบนตลอดการทดลอง เนื่องจากวัสดุที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงจะทำให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของนักเก็ตกว้างขึ้น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS 400 คงความหนาที่ 1.8 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 การจัดวางสำหรับงานเชื่อม

ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย แรงกดจากอิเลคโตรด กระแสเชื่อม เวลาเชื่อม และความหนาของเหล็กกล้าไร้สนิม 2205 ดังแสดงในตารางที่ 1. ออกแบบการทดลองแบบทากูชิ $L_{27}(3^4)$

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับของปัจจัย

ปัจจัย	ระดับปัจจัย			หน่วย
	1	2	3	
Force	1.2	1.6	2.0	KN
Current	8	10	12	KA
Weld time	40	50	60	Cycle
Thickness	1.6	2.0	2.2	mm

ชนิดอิเล็กโตรดเป็นแบบ Copper-Chromium alloy ชนิดปลายตัด Truncated (Type E) ขนาดของอิเล็กโตรดจะสัมพันธ์กับความหนาของชิ้นงาน ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการที่ (2) และขนาดของอิเลคโตรดแสดงดังตารางที่ 2

$$Electrode\ dia. = 2.54 + 2th \qquad (2)$$

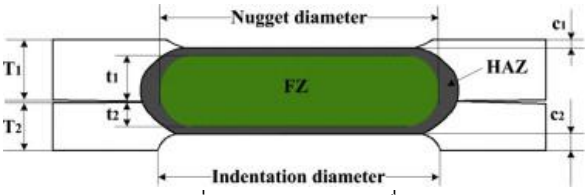
เมื่อ th คือ ความหนาของชิ้นงาน

ตารางที่ 2 ความหนาชิ้นงานและขนาดอิเล็คโตรด

Thickness (mm.)	Electrode, dia (mm.)
1.6, 1.8	6
2.0	6.5
2.2	7

หลังการเชื่อมตัดชิ้นงานขนาด 20 × 60 มิลลิเมตร แนวเชื่อมอยู่บริเวณกึ่งกลาง นำชิ้นงานที่เตรียมไปขัดหยาบขัดมัน และกัดผิวหน้าด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 37% ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ผสมกับคิวบิคคลอไรด์ 5 กรัม) ประมาณ 7-10 วินาทีที่อุณหภูมิห้อง เพื่อเตรียมสำหรับศึกษาโครงสร้างมหภาคด้วยซอฟแวร์ ImageJ จากภาพถ่ายทางโลหะวิทยาด้วยกล้อง HANDHELD DIGITAL MICROSCOPE PRO 200x

ค่าตอบสนองที่พิจารณาประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อม อัตราการหลอมละลาย และอัตราการยุบตัว [2] [3]



รูปที่ 2 ภาพหน้าตัดรอยเชื่อม

คำนวณอัตราการยุบตัวและอัตราการหลอมละลาย ดังสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

อัตราการหลอมละลายสามารถคำนวณจากสมการดังนี้

$$\gamma = t/T \times 100\% \qquad (3)$$

เมื่อ γ คืออัตราการหลอมละลาย t คือความลึกของการหลอมละลายมากที่สุด และ T คือความหนารวมของชิ้นงาน

อัตราการยุบตัวสามารถคำนวณได้ดังนี้

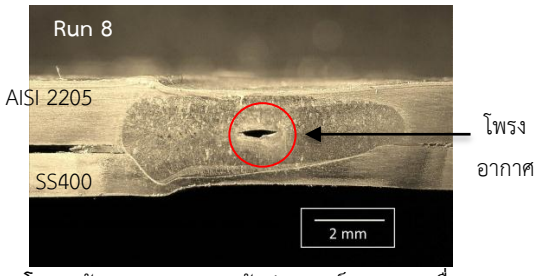
$$\delta = c/T \times 100\% \quad (4)$$

โดยที่ คืออัตราการยุบตัว c คือความลึกจากการยุบตัว T คือความหนารวมของชิ้นงาน

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

3.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อม

การทดลองที่ 8 พบว่ามีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางรายเชื่อมมากที่สุดที่ 8.07 มิลลิเมตร โครงสร้างหภาคแสดงดังรูปที่ 3 พบโพรงอากาศ (Porosity) ระหว่างชิ้นงานทั้งสอง มีอัตราการหลอมละลายคิดเป็น 62.89 % และอัตราการยุบตัว 14.74 %



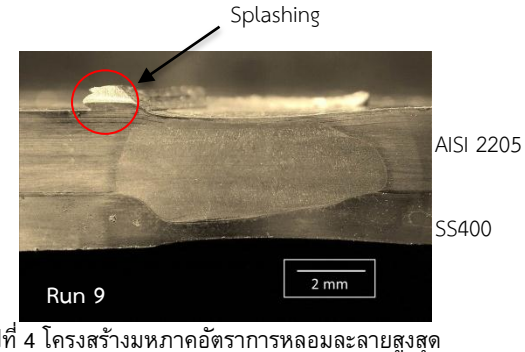
รูปที่ 3 โครงสร้างมหภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อมสูงสุด

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 3) พบว่าปัจจัยที่สำคัญส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์ อันดับหนึ่งคือกระแสเชื่อม ค่า Contribution คิดเป็น 86.85 % อันดับสองคือแรงกดชิ้นงาน คิดเป็น 4.58% ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองนี้สามารถยอมรับได้ เนื่องจาก SS(Error=12.68) < SS(Total=72.19) และความสัมพันธ์ผลกระทบร่วมระหว่างแรงกดและกระแสที่มีอิทธิต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อมแสดงในรูปที่ 6. สภาวะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อมสูงสุดคือ แรงกดขนาด 1.2 kN กระแสเชื่อม 12 KA เวลาการเชื่อม 60 รอบ และความหนาของเหล็กกล้าไร้สนิม 1.6 มิลลิเมตร

3.2 อัตราการหลอมละลาย

การทดลองที่ 9 พบอัตราการหลอมละลายสูงสุดที่ 72.83% และปรากฏเนื้อโลหะที่ขอบด้านบน เนื่องจากการไม่สมดุลของแรงกด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อม 7.86 มิลลิเมตร และอัตราการยุบตัว 12.83 %

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 4) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบอัตราการหลอมละลายมากที่สุดคือปัจจัยร่วมของแรงกดและความหนา คิดเป็น 24.46 % โดยที่อันดับที่ 2 คือความหนา คิดเป็น 21.28 % ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองนี้ SS(Error=2.63) มีค่าต่ำกว่า SS(Total=24.67) สามารถยอมรับได้ในทางสถิติ



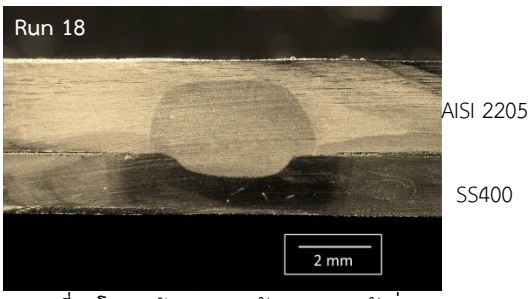
รูปที่ 4 โครงสร้างมหภาคอัตราการหลอมละลายสูงสุด

ความสัมพันธ์ของพื้นผิวผลกระทบร่วมระหว่างแรงกดและความหนาที่มีอิทธิต่ออัตราการหลอมละลายของวัสดุแสดงในรูปที่ 7 สภาวะที่อัตราการหลอมละลายสูงสุดคือ แรงกดขนาด 1.2 kN กระแสเชื่อม 12 KA เวลาการเชื่อม 50 รอบ และความหนาของเหล็กกล้าไร้สนิม 2.2 มิลลิเมตร

3.3 อัตราการการยุบตัว

การทดลองที่ 18 พบอัตราการหลอมยุบตัวที่ต่ำสุดคือ 1.75 % เส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อม 4.54 มิลลิเมตร และอัตราการหลอมละลาย 66.68 %

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 5) พบว่าปัจจัยที่มีความสำคัญต่ออัตราการยุบตัวกระบวนการเป็นอันดับแรกคือกระแสเชื่อม คิดเป็น 55.66 % ดังนั้นการเลือกขนาดกระแสเชื่อมเกี่ยวข้องโดยตรงต่อการยุบตัวและการเกิดความเค้นสะสมบนรอยเชื่อม



รูปที่ 5 โครงสร้างมหภาคอัตราการยุบตัวต่ำสุด

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองนี้ SS(Error=72.57) ต่ำกว่า SS(Total=813.20) สามารถ

ยอมรับได้ในทางสถิติ

รูปที่ 5 แสดงสภาวะที่อัตราการยุบตัวที่น้อยที่สุดคือ แรงกดขนาด 1.2 kN กระแสเชื่อม 12 KA เวลาการเชื่อม 50 รอบ และความหนาของเหล็กกล้าไร้สนิม 1.6 มิลลิเมตร ความสัมพันธ์ของพื้นผิวผลกระทบร่วมระหว่างความหนาและกระแสเชื่อมที่มีอิทธิต่ออัตราการยุบตัวของวัสดุแสดงในรูปที่ 8

4. สรุปผล

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ โครงสร้างมหภาคของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 2205 และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS 400 แบบต่างความหนา และอธิบายด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแนวเชื่อม อัตราการยุบตัว และอัตราการหลอมละลาย สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเพิ่มกระแสและแรงกดจากอิเลคโตรด ทำให้ขนาดของรอยเชื่อมมีขนาดโตขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Triyono และคณะ [1] การวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าความหนาไม่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์แนวเชื่อม แต่ความหนาของชิ้นงานที่น้อยลงก็ทำให้ความกว้างของขนาดรอยเชื่อมลดลง
2. พบขนาดรอยเชื่อมและการขยายตัวเป็นแบบไม่สมมาตร ซึ่งเป็นผลจากการไม่สมดุลความร้อน จากความแตกต่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของการเชื่อมวัสดุต่างชนิด [2] [3] [5] ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาสมบัติทางกลเพิ่มเติมเพื่อยืนยันความสัมพันธ์ของสมดุลทางความร้อนของการเชื่อมสมบัติทางกลของรอยเชื่อม เช่น การทดสอบการดึงเฉือน หรือ การวัดค่าความแข็งตลอดแนวการเชื่อม เป็นต้น
3. อัตราการยุบตัวเพิ่มตามความแรงของกระแสเชื่อม ตำแหน่งที่มีการยุบตัวมากเป็นตำแหน่งที่มีความเค้นสะสมมาก มีแนวโน้มของการเสียหายเมื่อนำไปใช้งาน ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงสภาวะดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

[1] Triyono, Jamasri, M. N. Ilman and R. Soekrisno, "Fatigue behavior of resisitance spot-welded unequal sheet thickness austenitic stainless steel," *Modern applied science,* vol. 6, no. 5, pp. 34-42, 2012.

[2] H. Zhang, X. Qiu, Y. Bai, F. Xing, h. Yu and Y. Shi, "Reisistance spot welding macro characteristics of the dissimilar thickness dual phase steels," *Materials and design,* no. 63, pp. 151-158, 2014.

[3] M. Pradeep, S. N. Mahesh and R. Hussain, "Process parameter optimization in resistance spot welding of dissimilar thickness materials," *International journal of mechanical, aerospace, industrial and mechatronics engineering,* vol. 8, no. 1, pp. 80-83, 2014.

[4] N. Charde, F. Yusof and R. Rajkumar, "Material characterizations of mild steels, stainless steel, and both steel mixed joint under resistance spot welding (2 mm sheets)," *International journal of advanced manufacturing technology,* vol. 75, pp. 373-384, 2014.

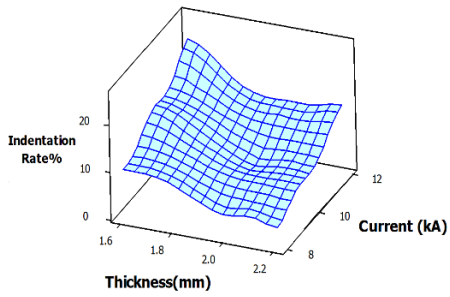
[5] N. Charde, "Spot weld growth on 304L austenitic stainless steel for equal and unequal thicknesss," *Caspian journal of applied science research,* vol. 1, no. 11, pp. 83-91, 2012.

[6] N. Charde, "Characterization of spot weld growth on dissimilar joint with different thicknesss," *Journal of mechanical engineering and sciences,* vol. 2, pp. 172-180, 2012.

[7] H. Zhang, A. Wei, X. Qiu and J. Chen, "Microstructure and mechanical properties of resistance spot weled dissimilar thickness DP780/DP600 dual-phase steel joints," *Material and Design,* vol. 54, pp. 443-449, 2014.

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขนาดของรอยเชื่อม (Nugget diameter)

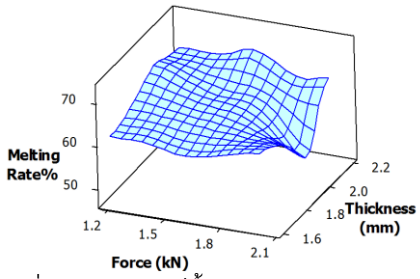
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	Con.(%)	Rank
Force	2	2.5608	2.5608	1.2804	0.61	4.58	2
Current	2	48.8568	48.8568	24.4284	11.56	86.85	1
weld Time	2	1.2689	1.2689	0.6345	0.30	2.25	4
Thickness	2	0.2354	0.2354	0.1177	0.06	0.45	7
Force x Thickness	4	1.3587	1.3587	0.3397	0.16	1.20	6
Current x Thickness	4	2.8068	2.8068	0.7017	0.33	2.48	3
Weld Time x Thickness	4	2.4244	2.4244	0.6061	0.29	2.18	5
Residual Error	6	12.6844	12.6844	2.1141			
Total	26	72.1963					



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ผลกระทบร่วมระหว่างแรงกดและกระแสต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยเชื่อม

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราการหลอมละลาย (Melting rate)

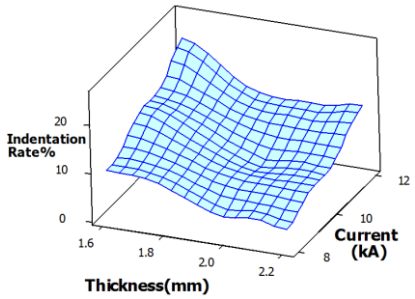
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	Cont.(%)	Rank
Force	2	2.7815	2.7815	1.3908	3.17	19.39	3
Current	2	0.5676	0.5676	0.2838	0.65	3.98	6
weld Time	2	0.2627	0.2627	0.1313	0.30	1.83	7
Thickness	2	3.0528	3.0528	1.5264	3.48	21.28	2
Force x Thickness	4	7.0312	7.0312	1.7578	4.00	24.46	1
Current x Thickness	4	4.6008	4.6008	1.1502	2.62	16.02	4
Weld Time x Thickness	4	3.7447	3.7447	0.9362	2.13	13.03	5
Residual Error	6	2.6343	2.6343	0.4391			
Total	26	24.6756					



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์พื้นผิวผลกระทบร่วมระหว่างแรงกดและความหนาต่ออัตราการหลอมละลาย

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนอัตราการกยุบตัว (Indentation rate)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	Cont. (%)	Rank
Force	2	28.833	28.833	14.417	1.19	4.10	3
Current	2	390.534	390.534	195.267	16.14	55.66	1
weld Time	2	17.517	17.517	8.758	0.72	2.48	5
Thickness	2	225.902	225.902	112.951	9.34	32.21	2
Force x Thickness	4	50.272	50.272	12.568	1.04	3.59	4
Current x Thickness	4	18.734	18.734	4.683	0.39	1.34	6
Weld Time x Thickness	4	8.839	8.839	2.210	0.18	0.62	7
Residual Error	6	72.575	72.575	12.096			
Total	26	813.206					



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์พื้นผิวผลกระทบร่วมระหว่างความหนาและกระแสเชื่อมต่ออัตราการยุบตัว

สมบัติทางกลและทางโลหะวิทยาของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS 400 ด้วยวิธีก๊าซทังสเตนอาร์ค

Mechanical and metallurgical properties of 2205 duplex stainless steel plate and SS400 low carbon steel by gas tungsten arc welding (GTAW)

จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบ จ. อุบลราชธานี 34190 E-mail: jariyaporn.s@ubu.ac.th*

Jariyaporn Onwong*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University,
Warinchamrab, Ubonratchathani, 34190, E-mail: jariyaporn.s@ubu.ac.th*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS 400 ด้วยวิธีก๊าซทังสเตนอาร์ค เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของรอยเชื่อมด้วยการเยื้องด้านเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ความเร็วการเชื่อม กระแสเชื่อม และอัตราการไหลของก๊าซปกคลุม ชิ้นงานขนาด 50 × 150 × 4 มิลลิเมตร เชื่อมแบบต่อชนท่าราบ ปกคลุมด้วยก๊าซอาร์กอน ออกแบบการทดลองแบบทากูชิแบบ $L_{27}(3^4)$ ซ้ำ 2 รวม 54 การทดลอง ค่าตอบสนองที่พิจารณาประกอบด้วย ความต้านทานแรงดึง การซึมลึกของรอยเชื่อมฝั่งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด SS 400 การซึมลึกของรอยเชื่อมฝั่งเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 ผลการศึกษาพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดคือ 360.32 เมกกะปาสคาล ที่สภาวะกระแสไฟ 130 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊ส 11 ลิตร/นาที ความเร็วที่ชิ้นงานเคลื่อนที่ 150 มิลลิเมตร/นาที และตำแหน่งรอยเชื่อมที่ 1.5 มิลลิเมตร การซึมลึกด้านเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS 400 สูงสุดที่ 2.375 มิลลิเมตร เมื่อเชื่อมด้วยกระแสไฟ 170 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊ส 11 ลิตร/นาที ความเร็วที่ชิ้นงานเคลื่อนที่ 130 มิลลิเมตร/นาที และตำแหน่งรอยเชื่อมที่ 2.5 มิลลิเมตร การซึมลึกสูงสุดเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ คือ 4.05 มิลลิเมตร ที่กระแสไฟ 170 แอมแปร์ อัตราการไหลของแก๊ส 11 ลิตร/นาที ความเร็วที่ชิ้นงานเคลื่อนที่ 170 มิลลิเมตร/นาที และตำแหน่งรอยเชื่อมที่ 2.5 มิลลิเมตร อัตราการไหลของแก๊ส 8 ลิตร/นาที

คำหลัก เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS 400 การเชื่อมวัสดุต่างชนิด เชื่อมก๊าซทังสเตนอาร์ค การซึมลึก

Abstract

The mechanical and metallurgical properties of AISI 2205 duplex stainless steel plate and SS 400 low carbon steel by gas tungsten arc welding (GTAW) were investigated. The specimens' size 50 × 150 × 4 mm were butted weld with pure argon shielding gas. The offset of welding location to duplex stainless steel side, welding speed, welding current, and gas flow rate were considered parameters.

The Taguchi experimental design and analysis $L_{27}(3^4)$ with double replications was applied in this study.

The tensile strength, carbon plate penetration, and duplex stainless penetration were considered responses. The result showed that the highest tensile strength was 360.32 MPa at welding current 130 A., gas flow rate 11 l/min, speed 150 mm/min and the offset welding 1.5 mm. The deepest penetration on low carbon plate was 2.375 mm. at welding current 170 A., gas flow rate 11 l/min, speed 130 mm/min and the offset welding 2.5 mm. The maximum duplex stainless penetration was 4.05 mm at welding current 170 A., gas flow rate 8 l/min, speed 170 mm/min and the offset welding 2.5 mm.

Keywords: Stainless duplex AISI 2205, Low carbon steel SS400, Dissimilar welding, Gas tungsten arc welding, Penetration

1. บทนำ

เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ คือ เหล็กกล้าที่มีโครงสร้างสมดุลระหว่างเฟสออสเทนไนท์และเฟอร์ไรท์ ปัจจุบันมากกว่าร้อยละ 80 ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่มีปริมาณใช้งานมากที่สุด คือเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 วัสดุชนิดนี้เริ่มแรกถูกพัฒนาเพื่อใช้ผลิตท่อลำเลียงก๊าซบนแท่นขุดเจาะแถบชายฝั่ง ด้วยลักษณะเฉพาะที่มีความแข็งแรงสูงมากจึงสามารถลดความหนาลงทำให้น้ำหนักโดยรวมที่แท่นขุดเจาะลดลง ทนทานต่อการกัดกร่อนจากคลอไรด์และสามารถขึ้นรูปได้ดีจึงเป็นเหตุจูงใจและได้รับความนิยมใช้งานกันมากทั้งในอุตสาหกรรมต่อเรือ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมกระดาษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมยาและเทคโนโลยีชีวภาพที่ต้องใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อน ทนต่ออุณหภูมิ ทนต่อความดัน ทำความสะอาดได้ง่ายและมีความปลอดภัยสูงปราศจากสิ่งปลอมปนกับผลิตภัณฑ์

เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 สามารถเชื่อมขึ้นรูปได้หลายวิธี เช่น การเชื่อมเสียดทาน [1] [2] การเชื่อมความต้านทาน เชื่อมพลาสมา เชื่อมเลเซอร์ และสามารถเชื่อมได้ทั้งแบบเติมและไม่เติมลวดเชื่อม เพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่มีคุณภาพดีต้องปฏิบัติตามคำแนะนำการเชื่อมที่เหมาะสม เช่น การเลือกชนิดลวดเชื่อม การกำหนดพลังงานความร้อน อุณหภูมิการเชื่อม และอัตราการเย็นตัว [3] [4] [5] บริเวณงานเชื่อมงานที่ใช้ความร้อนสูงความร้อนมากทำให้อัตราการเย็นตัวช้าทำให้เกิดการตกผลึกของสารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallic phase) ที่ส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลงและเขตแนวความร้อนการเชื่อม (Heat Affected Zone) เปราะบาง ตรงกันข้ามถ้าพลังงานความร้อนไม่เพียงพอต่อการหลอมละลายและการซึมลึกอัตราการเย็นตัวเร็วเกินไปจะได้รอยเชื่อมไม่แข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งาน

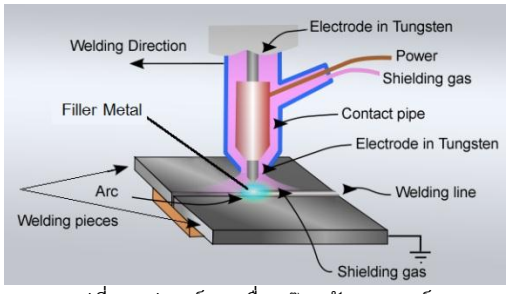
ปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคตด้วยเหตุผลของความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มีความต้องการใช้งานวัสดุแบบหลากหลายการเชื่อมวัสดุต่างชนิดจึงจำเป็นมากยิ่งขึ้น กลไกการเชื่อมวัสดุต่างชนิดแตกต่างจากการเชื่อมวัสดุชนิดเดียวกันมากเนื่องจากวัสดุมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันเช่น อุณหภูมิหลอมเหลว การขยายตัวทางความร้อน ความต้านทานแรงดึงหรือการกัดกร่อน เป็นต้น ดังนั้นการศึกษากระบวนการและปัจจัยที่เหมาะสมของการเชื่อมวัสดุต่างชนิดระหว่าง เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 และเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS 400 เพื่อรักษาสมดุลของเฟสเฟอไรท์กับออสเทนไนท์ ป้องกันการเกิดสารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallic phase) จึงมีความจำเป็นอย่างมากต่อการพัฒนาด้านกระบวนการผลิตเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของอุตสาหกรรม

2. วิธีการดำเนินการ

การเชื่อมก๊าซทังสเตนอาร์คเป็นวิธีการเชื่อมที่ชิ้นงานโลหะหลอมละลายจากความร้อนของการอาร์คระหว่างปลายแท่งอิเล็กโทรดทังสเตน (Tungsten Electrode) กับชิ้นงานและมีก๊าซเฉื่อยปกคลุมเปลวอาร์คและบ่อหลอมละลายเพื่อป้องกันบรรยากาศจากภายนอก ก๊าซที่นิยมในอุตสาหกรรมคือก๊าซอาร์กอน หรือเป็นการผสมก๊าซอาร์กอนกับก๊าซฮีเลียม อุปกรณ์เชื่อมแสดงในรูปที่ 1

2.1 การออกแบบการทดลอง

สมบัติของรอยเชื่อมที่ดีเริ่มจากกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมกับวัสดุที่ต้องการเชื่อม การออกแบบรอยเชื่อม เตรียมชิ้นงานก่อนการเชื่อม การควบคุมปัจจัยการเชื่อม



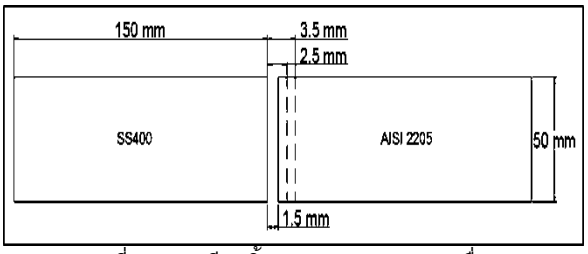
รูปที่ 1 อุปกรณ์การเชื่อมก๊าซทังสเตนอาร์ค

และระยะเวลาการเย็นตัวของรอยเชื่อม การกำหนดปัจจัยการเชื่อมสามารถอ้างอิงตามข้อแนะนำจากบริษัทผู้ผลิตวัสดุซึ่งมีข้อจำกัดสำหรับการเชื่อมวัสดุชนิดเดียวกันและรายงานการศึกษาการเชื่อมก๊าซทังสเตนอาร์คสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 กับวัสดุต่างชนิดมีอยู่อย่างจำกัด [6] [7] [8] ดังนั้นการกำหนดช่วงของปัจจัยสำหรับการศึกษานี้อ้างอิงจากทั้งข้อมูลผู้ผลิตและการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย กระแสเชื่อม อัตราการไหลของก๊าซปกคลุม ความเร็วการเชื่อม และตำแหน่งของรอยเชื่อม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับปัจจัย			หน่วย
	1	2	3	
Current	130	150	170	A
Gas flow rate	8	11	14	L/min
Speed	130	150	170	mm./min
Offset	1.5	2.5	3.5	mm

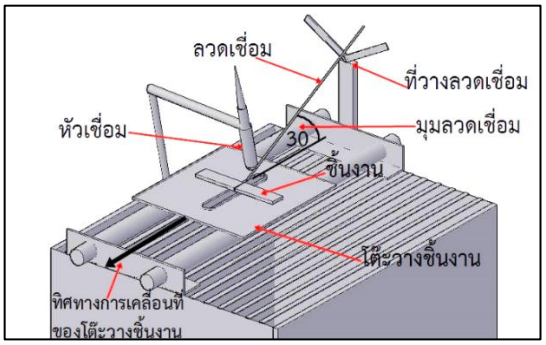
ออกแบบการทดลองแบบทากูชิแบบ $L_{27}(3^4)$ ซ้ำ 2 รวม 54 การทดลอง ขนาดชิ้นงานตัวอย่าง 50 × 150 × 4 มิลลิเมตร ระยะห่างของชิ้นงานก่อนเชื่อมคือ 1.5 มิลลิเมตร จากการทบทวนวรรณกรรมการทดสอบแนวเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 กับวัสดุชนิดอื่น ตำแหน่งความเสียหายเกิดนอกรอยเชื่อมบริเวณวัสดุอื่นที่นำมาเชื่อมที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าซึ่งอาจจะเป็นผลจากการเย็นตัวแตกต่างกันทำให้ความแข็งลดลงมาก ดังนั้นการเปลี่ยนตำแหน่งของรอยเชื่อมโดยเลื่อนลึกเข้าไปทางเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 เพื่อเปลี่ยนแปลงการเกิดเขตแนวความร้อนการเชื่อม (HAZ) และการเย็นตัวที่มีผลต่อโครงสร้างและสมบัติของวัสดุทั้งสมบัติทางกลและสมบัติด้านอื่นของรอยเชื่อม ดังรูปที่ 2

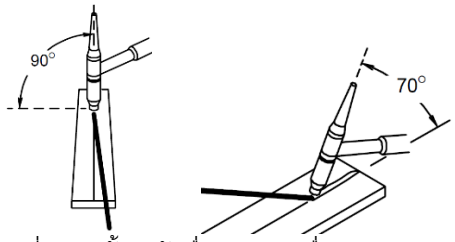


รูปที่ 2 การเตรียมชิ้นงานและตำแหน่งการเชื่อม

2.2 การทดลอง

การเตรียมชิ้นงานประกอบด้วย การตะไบเพื่อลบคมชิ้นงาน ขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อทำความสะอาดและขจัดออกไซด์ที่จะมีผลต่อคุณภาพรอยเชื่อมและพ่นด้วยน้ำยากันสนิม ก่อนเชื่อมชิ้นงานล้างคราบน้ำมันด้วยสารละลายอะซิโตน การเชื่อมเป็นแบบต่อชน (Butt joint) ไม่บากร่อง การตั้งมุมของหัวเชื่อมและมุมการป้อนลวดอ้างอิงตามข้อแนะนำสำหรับการเชื่อมต่อชน [9] รูปที่ 3





รูปที่ 3 การตั้งมุมหัวเชื่อมและลวดเชื่อม

การเชื่อมแบบกระแสตรง (Direct current straight polarity: DCSP) ซึ่งเหมาะสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ทังสเตนต่อเป็นขั้วลบและรับความร้อนร้อยละ 30 ของพลังงานความร้อนการเชื่อม วิธีการนี้จะให้รอยซึมลึกที่ดี อิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.4

มิลลิเมตร แบบสีแดง 2% ทอเรียม (WT20) อ้างอิงมาตรฐาน ISO 6848 ถ้วยคุมก๊าซขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร (ประมาณ 3 เท่าของขนาดอิเล็กโทรด) ระยะที่ทังสเตนยื่นจากถ้วยคุมก๊าซ 5 มิลลิเมตร ปกคลุมด้วยก๊าซอาร์กอนบริสุทธิ์ ลวดเชื่อมเกรด ER 2209 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร

2.3 การทดสอบหลังการเชื่อม

การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) การเตรียมชิ้นงานทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.244 เล่ม 5-2525 ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของชิ้นทดสอบ

ความกว้าง (b)	ความยาวพิกัด (L_0)	ความยาวส่วนขนาน (L_c)	ความยาวระหว่างหัวจับชิ้นทดสอบ
20 ± 1	200 ± 2	225 ± 10	260 ± 10

การศึกษาโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค

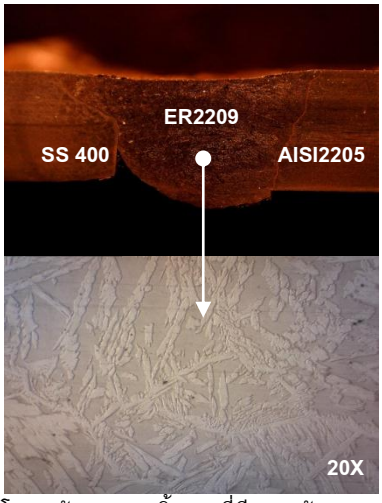
เตรียมโครงสร้างมหภาคเพื่อศึกษาการซึมลึกแนวเชื่อม เตรียมชิ้นทดสอบขนาด 20 x 60 x 4 มิลลิเมตร ขัดชิ้นทดสอบด้วยกระดาษทรายจานหมุนเบอร์ 120, 240, 320, 400, 600, 800 และเบอร์ 1000 ตามลำดับขัดด้วยผ้าสักหลาดจานหมุน ทำความสะอาดด้วยน้ำเป่าแห้งด้วยลมร้อนอย่างรวดเร็วป้องกันคราบติดผิว กัดด้วยกรดโฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% 100 มิลลิกรัม ผสมกับคิวบิคคลอไรด์ 5 กรัม เวลา 5 นาทีที่อุณหภูมิห้อง การศึกษาโครงสร้างจุลภาคเฉพาะเงื่อนไขที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่าการซึมลึกที่ดีที่สุด

3. ผลการทดลอง

ผลการทดลองพบว่า

ความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 360 เมกะปาสคาลเมื่อเชื่อมด้วยกระแส 130 แอมแปร์ ความเร็วการเชื่อม 150 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการปล่อยก๊าซ 11 ลิตรต่อนาที และที่ตำแหน่งรอยเชื่อม 1.5 มิลลิเมตร ห่างจากเหล็กกล้าคาร์บอน

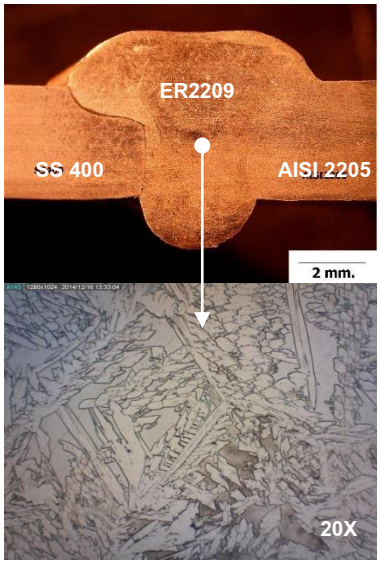
(ก)
(ข)



รูปที่ 4 (ก) โครงสร้างมหภาคชิ้นงานที่มีความต้านทานแรงดึงสูงสุด และ (ข) โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม

ระยะการซึมลึกสูงสุดด้านเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 คือ 4.05 มิลลิเมตร ที่กระแส 170 แอมแปร์ ความเร็วการเชื่อม 150 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการปล่อยก๊าซ 14 ลิตรต่อนาที และที่ตำแหน่งรอยเชื่อม 1.5 มิลลิเมตรห่างจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

(ก)
(ข)

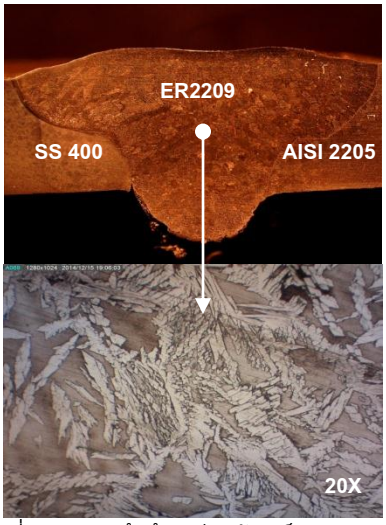


รูปที่ 5 (ก) การซึมลึกเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI2205 สูงสุด และ (ข) โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม

ระยะการซึมลึกสูงสุดด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 คือ 2.37 มิลลิเมตร ที่กระแส 170 แอมแปร์ ความเร็วการเชื่อม 130 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการปล่อยก๊าซ 11 ลิตรต่อนาที และที่ตำแหน่งรอยเชื่อม 2.5 มิลลิเมตรห่างจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

(ก)

(ข)



รูปที่ 6 (ก) การซึมลึกเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 สูงสุด และ (ข) โครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยเชื่อม

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

- ความต้านทานแรงดึงพบว่า ตำแหน่งการเชื่อมเป็นอิทธิพลหลักลำดับที่ 1 (38% Contribution) และความเร็วการเชื่อมเป็นอิทธิพลหลักลำดับที่ 2 (37.36% Contribution) ดังรายละเอียดในตารางที่ 3
- การซึมลึกด้านเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 อิทธิพลหลักลำดับที่ 1 คือการแสเชื่อม (49.12% Contribution) และลำดับที่ 2 เป็นอิทธิพลร่วมของความเร็วการเชื่อมกับตำแหน่งการเชื่อม (16.13% Contribution) ดังรายละเอียดในตารางที่ 4
- การซึมลึกด้านเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 อิทธิพลหลักลำดับที่ 1 คือตำแหน่งการเชื่อม(31.08% Contribution) และลำดับที่ 2 เป็นอิทธิพลหลักความเร็วการเชื่อม (30.31% Contribution) ดังรายละเอียดในตารางที่ 5

5. สรุป

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

- การเชื่อมวัสดุวัสดุต่างชนิดตำแหน่งของรอยเชื่อมมีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงและการซึมลึกของด้านเหล็กกล้าคาร์บอน การเยื้องศูนย์ยังฝั่งด้านวัสดุที่มีความแข็งแรงกว่าเล็กน้อย (1 –1.5 มิลลิเมตร) เชื่อมด้วยความเร็วต่ำ ทำให้ได้คุณภาพงานเชื่อมที่ดี เพราะสมบัติทางกลที่สูญเสียจากความการเชื่อม เขตแนวความร้อนการเชื่อม (HAZ) ถูกชดเชยด้วยความแข็งแรงของวัสดุ ขณะเดียวกันระยะเยื้องศูนย์ที่มากเกินไปอาจทำให้การประสานของเนื้อวัสดุไม่สมบูรณ์เมื่อใช้ความเร็วสูง
- ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของแนวเชื่อมคือ 360 MPa ซึ่งเป็นค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานแรงดึงของเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 [360 - 510 MPa] และเป็นครึ่งหนึ่งของค่าความต้านทานแรงดึงของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ AISI 2205 [680 - 830 Mpa] ลักษณะความเสียหายเกิดขึ้นบริเวณด้านของเหล็กกล้าคาร์บอน SS 400 ซึ่งมีความแข็งแรงต่ำกว่า และแนวเชื่อมที่ได้มีความแข็งแรงต่ำกว่าวัสดุพื้น แสดงว่ากระบวนการเชื่อมทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ดังนั้นกระบวนการและกลไกเพื่อสร้างความแข็งแรงของแนวเชื่อมสำหรับวัสดุต่างชนิดคู่นี้จึงจำเป็นที่ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

[1] Udayakumara, T., Rajaa , K., Tanksale Abhijit, A., & Sathiya, P. Experimental investigation on mechanical and metallurgical properties of super duplex stainless steel joints using friction welding process. *Journal of Manufacturing Processes, 15*, 558-571. 2013.

[2] Teker, T. Evaluation of the metallurgical and mechanical properties of friction-welded joints of dissimilar metal combinations AISI2205/Cu. *Int J Adv Manuf Technol*(66), 303-310. 2013 doi:10.1007/s00170-012-4325-7.

[3] Karlsson, L. Welding duples stainless steels- A review of current reccommendations. Welding in the world (56),65-76. 2012.

[4] TIP 0402-29. *Qualification of welding*

procedures for duplex stainless steels. TAPPI. 2001.

[5] Nassau, L. V., Meelker, H., & Hilkes . Welding duplex and super duplex stainless steels. *Welding in the world, 31*(5), 1-24. 1993

[6] Wang, S., Ma, Q., & Li, Y. Characterization of microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of dissimilar welded joint between 2205 duplex stainless steel and 16MnR. *Materials and Design*(32), 831-837. 2011.

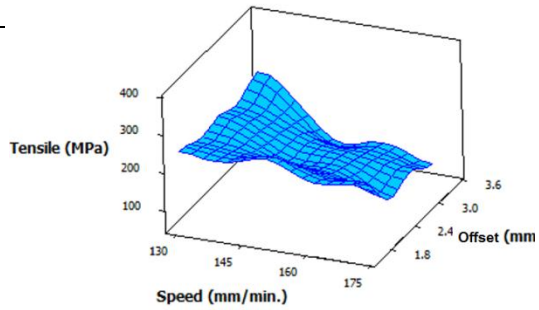
[7] Sridhar R., Ramumar KD., Arivazhagan N. Characterization of microstructure, strength, and toughness of dissimilar weldments of inconel 625 and duplex stainless steel SAF 2205. Acta Metallurgica Sinica (27), 1018-1030. 2014

[8] Yang, Li; Zhang, Na; Li, Gang. Study on weldability of dissimilar steel between Q345R and 2205, Advanced Science Letters (15), 126-129.2012.

[9] Millerweld, Guidelines for gas tungsten arc welding(GTAW)

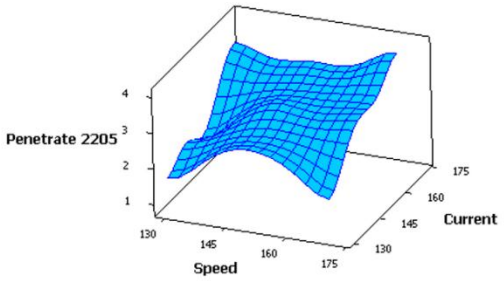
ตารางที่ 3 ผการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความต้านทานแรงดึง

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	Contribution (%)	Rank
Current	2	9.309	9.309	4.654	0.76	2.03	6
Gas flow rate	2	37.012	37.012	18.506	3.01	8.02	4
Speed	2	172.214	172.214	86.107	14.02	37.36	2
Offset	2	175.281	175.281	87.640	14.27	38.02	1
Current* Offset	4	14.637	14.637	3.659	0.60	1.60	7
Gas flow rate* Offset	4	28.838	28.838	7.210	1.17	3.12	5
Speed* Offset	4	90.946	90.946	22.736	3.70	9.86	3
Residual Error	6	36.843	36.843	6.141			
Total	26	565.081					



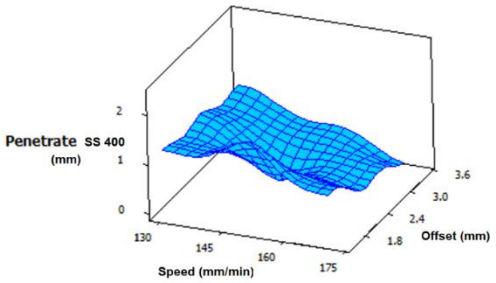
ตารางที่ 4 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการซึมลึกเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เกรด AISI2205

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	Contribution (%)	Rank
Current	2	137.410	137.41	68.705	13.89	49.12	1
Gas flow rate	2	42.196	42.196	21.098	4.27	15.10	3
Speed	2	34.767	34.767	17.383	3.52	12.45	4
Offset	2	3.919	3.919	1.959	0.40	1.42	7
Current* Offset	4	12.845	12.845	3.211	0.65	2.30	6
Gas flow rate* Offset	4	19.530	19.530	4.883	0.99	3.50	5
Speed* Offset	4	90.142	90.142	22.535	4.56	16.13	2
Residual Error	6	29.668	29.668	4.945			
Total	26	370.477					



ตารางที่ 5 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการซึมลึกเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด SS400

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	Contribution (%)	Rank
Current	2	812.5	812.5	406.2	0.60	3.55	6
Gas flow rate	2	2046.9	2046.9	1023.4	1.51	8.94	4
Speed	2	6924.9	6924.9	3462.5	5.12	30.31	2
Offset	2	7096.0	7096.0	3548.0	5.25	31.08	1
Current* Offset	4	714.3	714.3	178.6	0.26	1.54	7
Gas flow rate* Offset	4	3678.0	3678.0	919.5	1.36	8.05	5
Speed* Offset	4	7558.5	7558.5	1889.6	2.79	16.52	3
Residual Error	6	4058.0	4058.0	676.3			
Total	26	32889					



การออกแบบ พัฒนา และสร้างเครื่องทดสอบหาค่าสัมประสิทธิแรงเสียดทานของวัสดุพื้นรองเท้าตามมาตรฐาน ISO13287:2012 และ ASTM-F2913:2011

Design and Construct of Coefficient of Friction (CoF) tester according to ISO 13287: 2011 and ASTM-F2913:2012

วรพจน์ หมีงาม[1*] และ เฉลิมเกียรติ ศรีศิลา[1]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
E-mail: worapoch1@gmail.com[*]
Mr.Worapoch Hme-Ngam[1*] and Chalermkiet Srisila[1]
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakhonratchasima, 30000
E-mail: worapoch1@gmail.com[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ พัฒนา และสร้างเครื่องทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of Friction,CoF) ของวัสดุพื้นรองเท้ากับพื้นทดสอบตามมาตรฐาน ISO13287:2012 และ ASTM-F2913:2011 และเพื่อใช้เป็นเครื่องมือประจำศูนย์ทดสอบของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานในอนาคต การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยการศึกษาสภาพปัจจุบันและปัญหา การออกแบบ สร้างเครื่อง และทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องด้วยตัวอย่างยางทดสอบมาตรฐาน (Slider 96 หรือ 4S) ผู้วิจัยกำหนดดัชนีชี้วัดของงานวิจัยนี้ คือให้เครื่องทดสอบมีค่าผิดพลาดของผลทดสอบน้อยกว่า 2% และมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเครื่องที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด เครื่องทดสอบออกแบบให้มีการทำงานผสมกันระหว่างไฟฟ้า(Electric) และลม(Pneumatic) โดยใช้กระบอกลมในการยกและวาง แรงกดแนวตั้ง 500 ±50N และชุดพื้นเดินเคลื่อนที่ตามแนวนอนจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวส่งกำลังและควบคุมความเร็ว ผลการทดสอบปรากฏว่าเครื่องทดสอบสามารถใช้ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานตามมาตรฐาน ISO13287:2012 และ ASTM-F2913:2011 ทุกประการ มีค่าความคลาดเคลื่อน 1.51 เปอร์เซ็นต์ และมีต้นทุนในการสร้างต่ำกว่าเครื่องที่มีจำหน่ายในท้องตลาดถึง 700 เปอร์เซ็นต์

คำหลัก ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นรองเท้า, ISO13287:2012, ASTM-F2913:2011

Abstract

This research was aimed to design, develop, and build of Slip resistance tester to test Coefficient of Friction (CoF) of the insole materials according to national standard of ISO13287:2012 and ASTM-F2913:2011. Then it used to tool for The Rajamangala University of Technology Isan Testing center in the future. Operation composed of current conditions and problems studied, designed and constructed machine and tested of efficiency of machine with standard test rubber(Slider 96 or 4S). The index of this study were the tolerances of CoF value less than 2% and cost of machine cheaper than machine in market. Machine was designed with electric system and pneumatic system. Pneumatic cylinder used to lift and put sample with vertical force 500 ± 50N. Motion speed of ground was controlled By using an electric motor. The results of experimental found

that machine is able to completely test for coefficient of friction in ISO13287: 2012 and ASTM-F2913: 2011 standards with tolerances 1.51 percent and cost of machine (191,400 baths) is less than market machine approximately 700 percent.

Keywords: coefficient of friction soles, ISO13287: 2012, ASTM-F2913: 2011.

1.บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุบัติเหตุอันเนื่องมาจากการทำงานหรือการใช้ชีวิตประจำวันได้ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ชีวิต และทรัพย์สินของผู้ประสบเหตุ ผู้ประกอบการ และประเทศชาติอย่างมากมายทั้งทางตรงและทางอ้อม การลื่นล้ม หกล้ม และตกจากที่สูงจากการทำงานนับเป็นปัญหาอุบัติเหตุอีกข้อหนึ่งที่เกิดขึ้นและพบเห็นได้เสมอ จากสถิติของสำนักงานประกันสังคม (กองทุนเงินทดแทน, 2556 [1]) พบว่าปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยมีจำนวนอุบัติเหตุจากการทำงานที่มีสาเหตุมาจากการลื่นล้ม หกล้ม และตกจากที่สูง ทั้งหมด 11,791 ราย ในจำนวนนี้มีผู้เสียชีวิต 91 ราย ทุพพลภาพ 9 ราย สูญเสียอวัยวะ 96 ราย และหยุดงานเกินกว่า 3 วัน 4,638 ราย สำนักงานสถิติผู้ใช้แรงงาน (Bureau of Labor Statistics, 2013 [2]) รายงานว่า ประเทศสหรัฐอเมริกามีผู้บาดเจ็บหรือเสียชีวิตจากการเกิดอุบัติเหตุการลื่นล้ม หกล้ม และตกจากที่สูงขณะปฏิบัติงานเฉลี่ย 699 ราย นับว่ามากเป็นลำดับที่ 2 ของสาเหตุการตายจากอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นทั้งหมด สถาบันความปลอดภัยของผู้ทำงานในเยอรมัน (Gunter Klob institute for occupational safety BIA, Germany, 2013 [3]) สรุปว่า สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีมีผู้ประสบอุบัติเหตุจากการลื่นล้ม สะดุด และตกจากที่สูงขณะปฏิบัติงานจำนวน 300,000 รายต่อปี โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของอุบัติเหตุเฉลี่ย 28,000 ยูโรต่อราย องค์กรด้านความปลอดภัยในการทำงานของออสเตรเลีย(Safe work Australia July, 2012 [4]) พบว่า มีผู้บาดเจ็บจากจากการลื่นล้มหรือตกจากที่สูงคิดเป็นผู้หญิง 16 เปอร์เซ็นต์ และผู้ชาย 10 เปอร์เซ็นต์ของอุบัติเหตุทั้งหมด จากสถิติของการบาดเจ็บที่มาจากการลื่นและสะดุด พบว่า 86 เปอร์เซ็นต์มาจากการลื่น (Slip and Trip, 1996 [5]) และมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ของการหกล้มจะมีผลมาจากการลื่นและสะดุด เมื่อพิจารณาข้อสรุปทางสถิติจะเห็นว่าอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากการทำงานเนื่องจากการลื่นล้ม หกล้ม และตกจากที่สูง เป็นปัญหาใหญ่และสำคัญ ควรนำมาพิจารณาเพื่อหาสาเหตุการเกิดและแนวทางการแก้ไข

เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุของการลื่น ยุทธชัย (2003 [6]) ได้ศึกษาและทำวิจัยถึงพฤติกรรมของการลื่นล้ม และสรุปว่าการลื่นล้มมีสาเหตุมาจากปัจจัยหลัก 4 ประการ ได้แก่ ลักษณะของพื้นเดิน (Walking Surface) สภาวะของพื้นเดิน (Condition) พื้นรองเท้าที่ใส่ (Shoe Soles) และพฤติกรรมการเดิน (Walking Behavior) ในขณะที่เราเดินจะมีการใช้ความเสียดทานระหว่างพื้นเดินกับพื้นรองเท้า เรียกว่า “ความเสียดทานที่ใช้ (Friction Use)” และค่าความเสียดทานที่แท้จริงระหว่างพื้นเดินกับพื้นรองเท้า จะเรียกว่า “ความเสียดทานที่มีอยู่(Friction Available)” หากในระหว่างการดิน ความเสียดทานที่ใช้มีค่ามากกว่าความเสียดทานที่มีอยู่ จะทำให้เกิดการลื่นขึ้น จากปัจจัยข้างต้นพบว่า มีถึง 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าของความเสียดทานคือ ลักษณะของพื้นเดิน สภาวะของพื้นเดิน และพื้นรองเท้าที่ใส่ งานวิจัยหลายชิ้นได้สรุปความเกี่ยวข้องของการลื่นล้มกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ได้แก่ Strandberg & Lanshammar (1981 [7]) กล่าวว่าว่า ในระหว่างที่เดินถ้าจะให้ปลอดภัยจากการลื่นล้ม ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานควรจะมีค่ามากกว่า 0.3 หน่วยงานด้านความปลอดภัยและสุขภาพในการทำงาน (Occupational Safety and Health Administration, 2008 [8]) ได้สรุปและแนะนำว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในระหว่างการเดิน ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.5 นอกจากนี้คณะกรรมการดูแลสิ่งอำนวยความสะดวกและปัญหาด้านสถาปัตยกรรมและการขนส่งของสหราชอาณาจักร (The Architectural and Transportation Barriers Compliance Board, 2008 [9]) ได้วิจัยและสรุปว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเดินกับพื้นรองเท้า ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.6 สำหรับทางเดินทั่วไป และมีค่าอย่างน้อย 0.8 สำหรับทางเดินที่เป็นบันไดหรือทางลาดชัน

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยใช้เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ได้มีการสร้างและพัฒนามานาน Strandberg (1983 [10]) พบว่า แม้ว่าเครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแต่ละชนิดอาจมีความแตกต่างกันทั้งวิธีการวัดและการทำงานของเครื่อง แต่ได้มีการพัฒนาและทดสอบอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของสากล ตัวอย่างเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ได้แก่ เครื่องทดสอบของ James (Wfk-Cleaning Technology Research Institute, 2000 [11]) เครื่องทดสอบความต้านทานการลื่นแบบลูกตุ้มนาฬิกา (Sigler, P.A., Geib, M.N. and Boone, T.H, 1948[12]) เครื่องบิ๊กฟุต (Andres และ Chaffin, 1985 [13]) เครื่องสลิปโปมิเตอร์ เครื่องฟิโด และเครื่องทอร์ทัส (Andres และ Chaffin, 1985) เครื่องเซตร้า (Wilson and George, 1988 [14]) เครื่องวัดค่า สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานควบคุมด้วยระบบไฮดรอลิค (Gronqvist et al., 1989 [15]) เครื่องพีอาร์เอสที (Redfern and Bidanda, 1994 [16]) เครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแบบควบคุมด้วยระบบลม (เธียรศักดิ์, 2543 [17]) เครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานตามมาตรฐาน ISO 13287:2007 (เฉลิมเกียรติ ศรีศิลา, 2555 [18]) ฯลฯ

ในปัจจุบันมีมาตรฐานการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นรองเท้าซึ่งเป็นที่ยอมรับอยู่ 2 มาตรฐาน คือ ISO 13287:2012 [19] และ ASTM F2913:2011 [20] จึงจำเป็นต้องมีเครื่องทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นรองเท้าที่ดีและเหมาะสมกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือเครื่องทดสอบดังกล่าวมีราคาเริ่มต้นที่ 1,450,000 บาท และไม่สามารถทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 13287:2012 และ ASTM F2913: 2011 ในเครื่องเดียวกันได้ นอกจากนี้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานมีนโยบายที่จะก่อตั้งศูนย์ทดสอบ ที่จะต้องมีเครื่องทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุพื้นรองเท้าขึ้นเพื่อส่งเสริมและอำนวยความสะดวกแก่ผู้ประกอบการผลิตรองเท้าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้นผู้ดำเนินงานวิจัย จึงเสนอโครงงานวิจัยออกแบบ พัฒนา และสร้างเครื่องทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นรองเท้า ตามมาตรฐานISO13287:2012 และ ASTM F2913:2011 โดยมีขอบเขตดำเนินงานคือ เครื่องทดสอบจะต้องสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นรองเท้า ตรงตามมาตรฐานการทดสอบนานาชาติ ISO13287:2012 และ ASTMF2913:2011 มีราคาเหมาะสมและมีค่าของความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบไม่เกิน 2%

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางในการดำเนินการวิจัยเป็นขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

2.1 ศึกษาปัญหาและผลทดสอบจากเครื่องที่มีอยู่เดิม

เครื่องทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัสดุพื้นรองเท้าในประเทศไทยได้มีการวิจัย สร้างและปรับปรุงมาแล้วทั้งหมด 4 ครั้ง โดยครั้งแรกในปี 2543 (เธียรศักดิ์) ครั้งที่ 2 ในปี 2546 (สุเมธ) ครั้งที่ 3 ในปี 2549 (นิธิพงษ์) และครั้งที่ 4 ในปี 2555 (เฉลิมเกียรติ) ซึ่งทั้ง 4 ครั้งได้มีการสร้างและปรับปรุงเครื่องทดสอบตามมาตรฐาน ISO13287 เพียงอย่างเดียว แต่มุ่งเน้นที่การวิจัยเพื่อหาวัสดุทำพื้นรองเท้าที่เหมาะสม ปัจจุบันมาตรฐานISO13287 ได้มีการปรับปรุงข้อกำหนดเพิ่มเติม นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุพื้นรองเท้าอื่นที่เป็นที่ยอมรับ เพื่อให้เกิดมาตรฐานการทดสอบที่มีคุณภาพผู้วิจัยจึงมีจุดมุ่งหมายออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นเดินกับพื้นรองเท้าได้ตรงตามมาตรฐานการทดสอบ ISO 13287:2012 และ ASTMF2913:2011 ในเครื่องเดียวกัน

2.2 สร้างเครื่องทดสอบให้สามารถทดสอบตามมาตรฐาน ISO 13287:2012 และ ASTM F2913:2011

2.2.1 มาตรฐาน ISO 13287:2012 มีข้อกำหนดที่สำคัญคือ

2.2.1.1 กำหนดมุมส้นเท้าหรือยางทดสอบให้มีค่าสำหรับการทดสอบในลักษณะการลื่นไถลไปข้างหน้า (Forward Heel Slip) ที่ 7 ± 0.5 องศา

2.2.1.2 กำหนดความเร็วในการลื่นไถลของพื้นรองเท้าหรือยางทดสอบที่ 0.3 เมตรต่อวินาที

2.2.1.3 กำหนดค่าแรงในแนวตั้งหรือแนวดิ่งที่ 500 ± 25 นิวตัน

2.2.1.4 พื้นเดินเหล็กกล้า (Steel Floor) มีค่าความหยาบเฉลี่ย R_Z อยู่ระหว่าง 1.6-2.5 ไมโครเมตร

2.2.1.5 เวลาสัมผัสสถิตควรจะมากที่สุดไม่เกิน 1 วินาที จากแรงสัมผัสเริ่มต้น 50 นิวตัน ไปจนถึงแรงสูงสุดและเริ่มต้นการไถล การลื่นไถลควรจะเริ่มภายในเวลา 0.5 วินาที หลังจากรับแรงสูงสุด

2.2.1.6 แรงเสียดทานเฉลี่ย ควรจะถูกวัดระหว่างช่วงเวลา 0.3 - 0.6 วินาที หลังจากที่พื้นรองเท้าเริ่มลื่นไถล โดยกำหนดให้ใช้ค่าเฉลี่ยมีทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2.2.1.7 สารที่ใช้เป็นสิ่งสกปรกที่พื้นเดินต้องมีความหนาอย่างน้อย 1 มิลลิเมตร

2.2.1.8 ในมาตรฐาน ASTM F2913 จะมีความแตกต่างจาก มาตรฐาน ISO 13287:2012 ตรงที่เวลาสัมผัสสถิตจากแรงสัมผัสเริ่มต้น 50 นิวตัน ไปจนถึงแรงสูงสุดจะไม่เกิน 0.2 วินาที

2.2.1.9 ในมาตรฐาน ISO13287:2012 และ ASTM F2913:2011 จะทดสอบความถูกต้องของเครื่องทดสอบด้วย ยางทดสอบมาตรฐาน (CTV-Calibration Test Value) Slider 96 แทนการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Measurement Uncertainty) ที่เคยใช้ในมาตรฐานทดสอบ ISO13287:2007

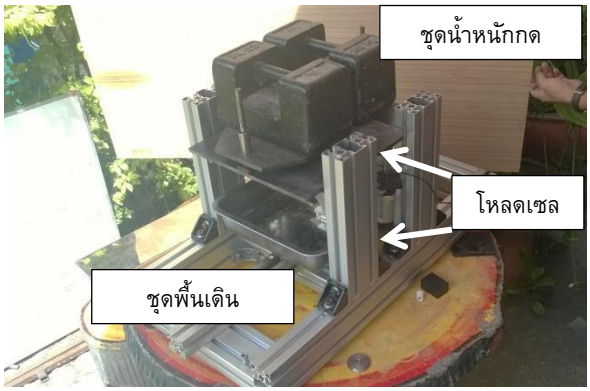
2.3 การออกแบบและสร้างเครื่อง

2.3.1 กำหนดให้เครื่องทดสอบสามารถทำการทดสอบครอบคลุมตามข้อ 2.2.1.1-2.2.1.9 ตามรูปที่ 1 โดยกำหนดการทำงานของเครื่องทดสอบเป็นดังนี้

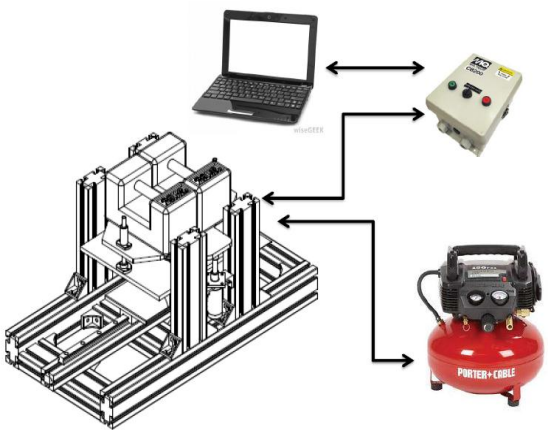
2.3.1.1 อุปกรณ์สร้างแรงกดแนวดิ่งขนาด 500 นิวตันด้วยตุ้มน้ำหนัก และระบบยกและวางตุ้มน้ำหนักด้วยลมพร้อมโหลดเซลวัดค่าแรงกดจริง แรงกด 500 นิวตันจะได้จากส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนยึดตัวอย่างยางทดสอบมาตรฐานทำมุม 7 องศา จะมีน้ำหนักประมาณ 10 กิโลกรัม และส่วนที่ 2 เป็นตุ้มน้ำหนักขนาด 20 กิโลกรัม 2 ลูก รวมได้น้ำหนักทั้งหมด 50 กิโลกรัม แปลงให้เป็นแรง 500 นิวตันอ่านค่าด้วยโหลดเซล กระบอกลมซ้ายและขวาจะทำหน้าที่ยกและวางชุดน้ำหนักสร้างแรงกดแนวดิ่ง ให้ขึ้นลงตามแกนลูกปืนป้องกันการโยกพร้อมกำหนดเวลาด้วยการควบคุมแรงดันลมเข้า-ออก

2.3.1.2 ชุดพื้นทดสอบและอุปกรณ์ควบคุมความเร็วของการเคลื่อนที่ จะประกอบด้วย ส่วนของชุดพื้นเดินเป็นแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมยกขอบให้สูง 1 มิลลิเมตร สำหรับใส่สิ่งสกปรกสำหรับทดสอบคือ กลีเซอรอล ประกอบอยู่บน guide way เพื่อลดแรงเสียดทานในการเคลื่อนที่ พื้นเดินจะติดอยู่กับโหลดเซลวัดแรงแนวนอนหรือแรงลื่นไถล ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง ซึ่งจะทำหน้าที่ขับเคลื่อนพื้นเดินด้วยความเร็วที่กำหนดที่ 0.3 เมตรต่อวินาที แต่เครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นนี้ได้กำหนดให้พื้นเดินสามารถปรับความเร็วได้ตั้งแต่ 0.1 – 0.5 เมตรต่อวินาที

2.3.1.3 ส่วนประมวลผลและควบคุมเครื่อง จะประกอบด้วย ปั๊มลมสำหรับยกและวางน้ำหนักกดแนวดิ่ง กล่องควบคุม (control box) และชุดประมวลผล คือ แอมปลิฟลายเออร์ คอมพิวเตอร์ และซอร์ฟแวร์ ตามรูปที่ 2



รูปที่ 1 เครื่องทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน



รูปที่ 2 ระบบเครื่องทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

2.3.2 นำเครื่องที่ประกอบเรียบร้อยมาทำการทดสอบ โดยกำหนดขั้นตอนการทดสอบดังนี้

2.3.2.1 นำแผ่นยางทดสอบมาตรฐาน มาติดที่อุปกรณ์ยึดด้วยเทปกาวสองหน้า และประกอบชุดยึดเข้ากับเครื่องทดสอบ

2.3.2.2 ประกอบชุดพื้นเดินโดยวางแผ่นเหล็กไร้สนิมบนฐานวางพื้นเดิน จากนั้นเปิดเครื่องทดสอบ คอมพิวเตอร์และโปรแกรมซอฟท์แวร์ ระบบลม ในขั้นตอนนี้ชุดน้ำหนักกดจะยกขึ้นสุด

2.3.2.3 เทกลีเซอรอลลงบนพื้นเดินและเกลี่ยให้เสมอกัน

2.3.2.4 เริ่มการทดสอบของซอฟท์แวร์และกดปุ่ม RUN ที่กล่องควบคุม ชุดตุ้มน้ำหนักจะลดต่ำลง โหลดเซลวัดค่าแรงแนวดิ่งจะเริ่มอ่านค่าแรงกดแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้น

2.3.2.5 เมื่อแรงกดแนวดิ่งเพิ่มถึง 500 นิวตัน ภายในเวลา 0.2 วินาที พื้นเดินก็จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.3 เมตรต่อวินาที โหลดเซลที่ใต้พื้นเดินจะอ่านค่าแรงลื่นไถลแนวนอน

2.3.2.6 กดปุ่ม END ชุดตุ้มน้ำหนักจะถูกยกขึ้นและพื้นเดินจะเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเริ่มทดสอบ

2.3.2.7 ที่คอมพิวเตอร์จะแสดงกราฟของค่าแรงกดแนวดิ่ง แรงแนวนอนหรือแรงลื่นไถล และกราฟค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน จากนั้นรบันทึกค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยที่คำนวน จากช่วงเวลา 0.3 – 0.6 วินาที

2.3.2.8 เติมกลีเซอรอลให้เต็มพื้นเดินเพื่อทำการทดสอบรอบที่สอง

2.3.2.9 ในการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบจะทำการทดสอบตามข้อ 2.3.2.4 ถึงข้อ 2.3.2.8 รวม 30 ครั้ง และนำค่าผลการทดสอบทั้ง 30 ครั้งมาประเมินผล

2.3.2.10 การทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องในครั้งนี้จะใช้ ตัวอย่างทดสอบมาตรฐาน slider 96

2.3.2.11 เครื่องทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุพื้นรองเท้ามีต้นทุนในการสร้างทั้งสิ้น 191,400 บาท ในขณะที่เครื่องที่วางจำหน่ายทั่วไปจะมีมูลค่าประมาณ 1,450,000 บาท ตามตารางรายละเอียดของวัสดุดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่องทดสอบ

รายการ	จำนวน	ราคา (บาท)
Aluminum profile 45X 90 mm. ยาว 4 เมตร	1 เส้น	4,300
ฉากและสกรูสำหรับประกอบ profile	40 ชุด	4,000
อุปกรณ์ลม	1 ชุด	1,000
อุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้า	1 ชุด	20,000
พื้นทดสอบ stainless	1 แผ่น	2,000
แผ่นอลูมิเนียมรองพื้นทดสอบ	1 แผ่น	2,000
Motor + Pulley	1 ชุด	8,000
Guide way ยาว 700 mm.	1 ชุด	5,000
Guide bush 6 mm.	6 ชุด	2,000
Load cell 500N Compression (FV)	1 ตัว	25,000
Load cell 500N S-type (FH)	1 ตัว	20,000
DAQ amplifier พร้อม software	1 ชุด	12,000
Cylinder Ø32 mm,.25 mm stroke	2 ชุด	1,100
ปั๊มลม ¼ hp	1 เครื่อง	4,500
ยางทดสอบมาตรฐาน Slider 96	2 ชิ้น	10,500
ค่าดำเนินการประกอบและอุปกรณ์อื่นๆที่จำเป็นในการสร้างและทดสอบ	1 ชุด	50,000
คอมพิวเตอร์ประมวลผลและเครื่องพิมพ์	1 ชุด	20,000
รวม		**191,400**

3. ข้อมูลการวิจัย

จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นจากเงื่อนไขที่กำหนดได้ผลทดสอบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลทดสอบค่า CoF ของพื้นเดิน stainless

No.	Cof	No.	CoF	No.	CoF
1	0.13	**11**	0.13	**21**	0.15
2	0.11	**12**	0.15	**22**	0.12
3	0.12	**13**	0.12	**23**	0.13
4	0.15	**14**	0.15	**24**	0.11
5	0.12	**15**	0.16	**25**	0.14
6	0.11	**16**	0.12	**26**	0.12
7	0.14	**17**	0.15	**27**	0.13
8	0.12	**18**	0.13	**28**	0.15
9	0.15	**19**	0.14	**29**	0.12
10	0.13	**20**	0.12	**30**	0.14

4.ผลการวิจัย

จากข้อมูลในตารางที่ 2 ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.132 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.014 ซึ่งมีค่าผิดไปจากค่ามาตรฐาน ของ Slider 96 ที่ค่า CoF 0.13 ไปเท่ากับ 1.54 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำค่าที่ได้ไปทดสอบสมมุติฐานว่าค่าที่ได้เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์ของยาง Slider 96 สมมติฐานการทดสอบคือ

$H_0 : \mu = 0.13$

$H_1 : \mu \neq 0.13$

สถิติที่ใช้ทดสอบ คือ

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}}$$

จะปฏิเสธสมมุติฐานหลัก เมื่อ $T<-t_{\alpha/2}$ หรือ $T>t_{\alpha/2}$

แทนค่า เมื่อ $\mu_0 = 0.13$ และ $\alpha = 0.05$

$$T = \frac{0.132 - 0.13}{0.014/\sqrt{30}}$$

$$= 0.7824$$

เนื่องจาก $T< t_{0.025,29}$ (0.7824<2.045) จึงยอมรับสมมุติฐานหลัก นั่นคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ทดลองได้มีค่าเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของยางมาตรฐานด้วยความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5.สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 เครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นสามารถใช้ทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนดคือ ISO 13287:2012 และ ASTM F2913:2011

5.2 เครื่องทดสอบมีค่าผิดพลาดที่คำนวนได้ของผลการทดสอบเท่ากับ 1.54 เปอร์เซ็นต์

5.3 ผู้วิจัยแนะนำให้เพิ่มขอบเขตการทดสอบให้ครอบคลุมรองเท้าแต่ละประเภท เช่น รองเท้าเดินในบ้าน รองเท้ากีฬา และรองเท้าเด็ก เป็นต้น

5.4 ผู้วิจัยแนะนำให้มีการพัฒนาให้ใช้กับพื้นรองเท้าทั่วไปได้ เช่น พื้นกระเบื้อง พื้นหินอ่อน หรือ หินขัด พื้นเดินในโรงงาน เพื่อให้สามารถใช้ทดสอบกับผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภทขึ้น

6.บรรณานุกรม

[1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556, รายงานผลการดำเนินงานกองทุนเงินทดแทน.กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

[2] Fong,D.T,Mao,D.W,Li,J.X, Hong, Y “Workplace Injury and Illness Summary”.Bureau of Labor Statistics, 2013

[3] Gunter Klob institute for occupational safety (BIA,Germany). Annual report.Germany,2013

[4] Lex hoy,Safe work australia annual report 2013

[5] Slip and Trips :Summary guidance for the catering industry “ Catering Information Sheet No.6”.Health and safety indication, 1996

[6] ยุทธชัย บันเทิงจิตร.Occupational Slipping Accidents in Thailand: Main Causes and Prevention. วารสารพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2003)

[7] Strandberg L. and Lanshammar H. “The Dynamics of Slipping Accidents.” Journal of Occupational Accidents.3(1981)

[8] Occupational Safety and Health Administration. Report Annual. 2007

[9] The Architectural and Transportation Barriers Compliance Board, Annual Report–Statistics. 2008

[10] Strandberg, L. “Ergonomics applied to slipping accidents.” Ergonomics of Workstation Design Butter-worth, London, 1983

[11] Wfk-Cleaning Technology Research Institute [Online] [2000]. [cited 30 May 2010]

[12] Sigler, P.A., Geib, M.N. and Boone, T.H. “Measurement of the slipperiness of walkway surfaces.”Journal of Research of the National Bureau of Standards.40(1948)

[13] Andres, R.O. and Chaffin, D.B. “Ergonomic analysis of slip-resistance measurement devices.”Journal of Ergonomics(1985)

[14] Wilson, M.P. and George, M. “Slip resistance footwear.”Journal of Satra Bulletin.1988:

[15] Gronvist, R., et al. “An apparatus and a method for determining the slip resistance of shoes and floors by simulation of human foot motions.” Journal of Ergonomics. 32 (1989):

[16] Redfern, M.S. and Bidanda, B. “Slip Resistance of the Shoe Floor Interface under Biomechanically Relevant Conditions.” Journal of Ergonomics. 37(1994)

[17] เธียรศักดิ์ ชูชีพ. การพัฒนาและประยุกต์ใช้เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2543.

[18] เฉลิมเกียรติ ศรีศิลา การออกแบบและสร้างเครื่องวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานตามมาตรฐาน ISO 13287:2007และการวิเคราะห์หาวัสดุพื้นรองเท้าที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงขึ้น วิทยานิพนธ์ ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2554

[19] ISO 13287:2012 Personal protective equipment footwear–Test method for slip resistance.

[20] ASTM F2913:2011 Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Friction for Evaluation of Slip Performance of Footwear and Test Surfaces/Flooring Using a Whole Shoe Tester1

ศึกษาผลกระทบการแปรรูปคมตัดแม่พิมพ์วัสดุ WC-12%Co ด้วยวิธีอีดีเอ็มเส้นลวด

Study the effects in cutting die process from WC-12%Co with Wire-EDM

ธัศชัย ไมตรีกิจ[1*] ชัยยะ ปราณีตพลกรัง[2]
[1*, 2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 E-mail: thaschai_mai@yahoo.com*

Thaschai Maitreegija[1*] Chaiya Praneetpongrung[2]
[1*, 2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 12110, E-mail: thaschai_mai@yahoo.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบการแปรรูปคมตัดแม่พิมพ์โดยเครื่องตัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้าชนิดเส้นลวด จากวัสดุซีเมนต์คาร์ไบด์ชนิด WC-12%Co ขนาดเม็ดเกรนละเอียด 0.3-0.5 ไมครอน ค่าความแข็ง 1500 HV ด้วยเส้นลวดอิเล็กโทรดทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 มิลลิเมตร ให้เป็นช่องคมตัดของดายน์มีเส้นรอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 2 x 3 มิลลิเมตร ความสูง 16 มิลลิเมตร ด้วยการปรับระดับปัจจัยป้อนเข้าแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ คือ กระแสไฟฟ้าดิสชาร์ต, ชุดปรับความเรียบดิสชาร์ตบี, และแรงดันไฟฟ้าดิสชาร์ต ในขั้นตอนของการตัดหยาบ ต่อผลตอบสนองขนาดของการแตกบิ่น โดยการออกแบบการทดลอง Orthogonal Array L_{27} ตามกรรมวิธีของทากูชิ ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าดิสชาร์ต และกระแสไฟฟ้าดิสชาร์ตมีผลกระทบต่อการแตกบิ่นขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ขนาดของการแตกบิ่นน้อยที่สุดตามลำดับความสำคัญในงานวิจัยนี้ คือแรงดันไฟฟ้าดิสชาร์ตระดับ 43, กระแสไฟฟ้าดิสชาร์ตระดับ 9, และชุดปรับความเรียบดิสชาร์ตบีระดับ 9 กระบวนการมีการปรับปรุงดีขึ้น การเสื่อมสภาพของพื้นผิวตัดลดลง และการแตกบิ่นของคมตัดลดลง 5.5 ไมครอน

คำหลัก คมตัดของดายน์ / เครื่องอีดีเอ็มชนิดเส้นลวด / ซีเมนต์คาร์ไบด์ / ทากูชิ

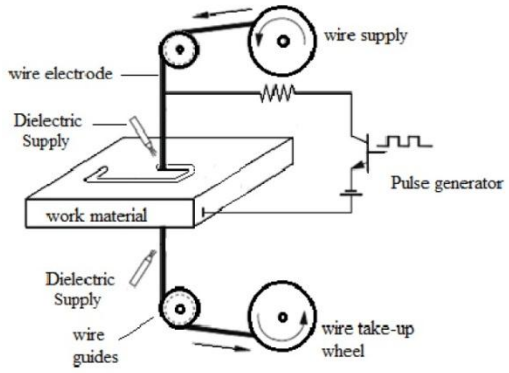
Abstract

This paper is study in die cutting produce by Wire Electrode Discharge Machine (Wire-EDM) which material is cemented carbide type WC-12%Co fine grain size 0.3-0.5 μm. Hardness 1500 HV which cut the blade of die by wire cut machining. Brass wire diameter has been 0.2 mm. The cutting hole shape is rectangle size 2 x 3 mm. Height 16 mm. The experiment has had 3 variable and 3 levels that consist of Current discharge, Stability electric discharge (B) and Voltage discharge which rough cutting has been significant with defect rate. However after design experiment is orthogonal array L_{27} model of Taguchi method. That shown result the voltage discharge and current discharge that effected size of micro chipping which it has been significant 0.05 and suitable factor level was the least for chip which following paper is Voltage discharge 43, Current discharge 9, and Stability electric discharge (B) 9. The process has improved the deterioration of the surface decreases and the size of chipping down 5.5 microns.

Keywords: Blade of die / Wire-EDM / Cemented carbide / Taguchi

1. บทนำ

การผลิตแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่นบางที่มีความเที่ยงตรงสูง โดยเฉพาะคมตัดที่ต้องการความแข็งแกร่ง คงทนสภาพการสึกหรอขณะใช้งานที่ดีเยี่ยม วัสดุที่นำมาทำคมตัดแม่พิมพ์ต้องมีสมบัติทางกลที่ดี ซีเมนต์คาร์ไบด์มีคุณสมบัติด้านความแข็ง และต้านทานการสึกหรอสูง ได้ถูกพัฒนาและผลิตขึ้นมาใช้งานอย่างหลากหลาย นิยมนำมาใช้แปรรูปเป็นชิ้นส่วนคมตัดบนชุดแม่พิมพ์ที่ต้องการปริมาณการผลิตชิ้นงานมากๆ ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะกับการตัดชิ้นส่วนอโลหะแผ่นบางที่มีความเหนียวสูง เช่น ทองแดง ทองเหลือง อะลูมินั่ม แต่มักจะพบปัญหาการแตกบิ่นบริเวณขอบคมตัดได้ง่าย เมื่อถูกแรงกระทำจากการเจียระไนปรับแต่ง, ซ่อมแซมคมตัดใหม่ หรือในขณะตัดเฉือนชิ้นงาน ซึ่งหลีกเลี่ยงยากสำหรับงานปั๊มตัดด้วยชุดแม่พิมพ์สองคมตัด ปัญหาของการแตกบิ่นของขอบคมตัดทำให้ชิ้นงานมีตำหนิ โดยเฉพาะชิ้นงานตัดที่มีข้อกำหนดขนาดตามแบบชิ้นงานที่มีค่าพิกัดความเผื่อน้อย หลายปีที่ผ่านมามีการใช้เครื่องตัดเซาะด้วยเส้นลวดตัวนำไฟฟ้า (Wire Electrode Discharge Machine; Wire-EDM) ในการแปรรูปชิ้นส่วนคมตัดแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่น เนื่องจากเป็นกระบวนการแปรรูปชนิดพิเศษ ที่มีลักษณะการตัดคล้ายกับการเลื่อยฉลุ ด้วยเส้นลวดอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก 0.1 - 0.3 มิลลิเมตร ทำให้สามารถตัดรูปร่างชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก และสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนขนาดได้น้อยถึง +/- 2 ไมครอน [5] กระบวนการตัดทางไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนสูงถึง 8,000 - 12,000 องศาเซลเซียส จึงไม่เป็นอุปสรรคต่อการตัดเฉือนวัสดุแข็งทุกชนิดที่สามารถเป็นสื่อนำไฟฟ้าได้ [6]



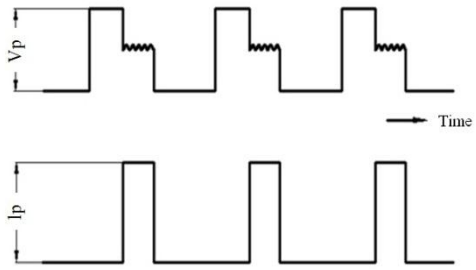
รูปที่ 1 แผนภาพ Wire-EDM [Sanjiv Kumar, 2014]

Bert Lauwers และคณะพบว่าขนาดเม็ดเกรน และสัดส่วนของโคบอลต์ในคาร์ไบด์ชนิดหนึ่ง จะบ่งบอกถึงคุณสมบัติทางด้านการนำความร้อน และจุดหลอมเหลวที่เฉพาะตัว ซึ่งทั้งสองมีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการตัด แม้ยังไม่มีความชัดเจนถึงสาเหตุของการก่อตัวการแตกร้าวขนาดเล็ก และขึ้นอยู่กับคุณสมบัติอื่นๆ อีกหลายประการ [1] Chang-Ho Kim และคณะพบว่าสัดส่วนโคบอลต์ที่เพิ่มขึ้นในคาร์ไบด์ มีผลทำให้อัตราการตัดต่ำลง และมีการเสื่อมสภาพของผิวตัดสูง [2] Jun Qu และคณะพบว่าอิทธิพลทางความร้อนมีผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของคาร์ไบด์ ชั้นผิวหล่อหลอมใหม่มีค่าความแข็ง และมอดูลัสยืดหยุ่นลดลงต่ำกว่าวัสดุดั้งเดิม [3] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาปัจจัยในกระบวนการ Wire-EDM ที่มีผลกระทบต่อการแตกบิ่น โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการลดขนาดของการแตกบิ่นลงให้น้อยที่สุด และพิจารณาดูพฤติกรรมทางโครงสร้างจุลภาคเชิงสังเกตการณ์ของพื้นผิวตัดของวัสดุซีเมนต์คาร์ไบด์ชนิด WC-12%Co

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า เวลาเปิด และเวลาปิด

การตั้งค่ากระแสไฟฟ้า คือการพิจารณากำหนดการตั้งค่าปริมาณพลังงานในการสปาร์ค การเพิ่มกระแสไฟฟ้า และพลังงานมากขึ้น จะทำให้ได้ผิวงานตัดนั้นหยาบขึ้น เป็นการเพิ่มความเร็วในการสปาร์ค แต่เส้นลวดอาจจะขาดบ่อยครั้งขึ้นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการปรับค่าระยะเวลาปิด (OFF Time) และแรงดันไฟฟ้าด้วย



รูปที่ 2 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะสปาร์ค [6]

ON และ OFF Time เป็นระยะเวลาในการสปาร์คและหยุดสปาร์ค การปรับสวิทซ์ OFF Time ลดลงจะมีผลทำให้ความเร็วตัดเพิ่มขึ้น การปรับค่า OFF Time ที่ไม่

ถูกต้อง จะทำให้การสปาร์คตัดไม่ราบเรียบ และเส้นลวดขาดได้ [6] การตัดหยาบในรอบที่ 1 เป็นการตัดหวังผลเพียงครั้งเดียว ปกติแล้วต้องการความเร็วในการตัดสูง ซึ่งจะใช้พลังงานในการตัดมากที่สุด [5]

2.2 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ

วิธีการทากูชิเป็นเครื่องมือช่วยปรับปรุงกระบวนการอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเลือกปัจจัยที่เหมาะสมโดยการออกแบบแผนการทดลอง Orthogonal Array (OA) และลดจำนวนการทดลองให้เหมาะสมกับเงื่อนไขที่กำหนด การวิเคราะห์ข้อมูลของทากูชิ เพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากระดับอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนที่มีค่าสูงที่สุด แบ่งออกเป็น 3 กรณี [4] ดังนี้คือ

(I) กรณียิ่งมากยิ่งดี (Larger is Better)

$$S/N_L = -10\log\left\{\sum_{i-1}^{n}\left[1/y_i^2\right]/n\right\} \quad (1)$$

(II) กรณียิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is Better),

$$S/N_S = -10\log\left(\sum\frac{y_i^2}{n}\right) \quad (2)$$

(III) กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target is Better)

$$S/N_\tau = 10\log\left(\frac{y^{-2}}{s^2}\right) \quad (3)$$

อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนที่สูงที่สุดคาดการณ์ (Prediction S/N Ratio; η_{pred}) คำนวณได้จากผลบวกของ S/N Ratio เฉลี่ย (η_m) กับผลรวมของผลต่าง S/N Ratio เฉลี่ยที่มีค่าสูงที่สุด ($\eta_j - \eta_m$) ของแต่ละปัจจัยและ k เป็นจำนวนปัจจัยควบคุม [I.K. Chopde, 2014] ดังนี้คือ

$$\eta_{pred} = \eta_m + \sum_{j=1}^{k}(\eta_j - \eta_m) \quad (4)$$

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

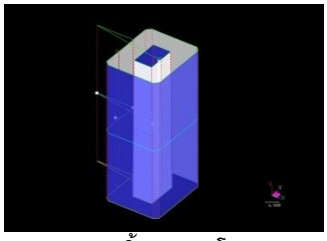
3.1 อุปกรณ์การทดลอง

- ซีเมนต์คาร์ไบด์ WC-12%Co หนา 16 มิลลิเมตร
- เครื่อง CNC Wire-EDM ของ Mitsubishi รุ่น AF10PS ประเภทตัดใต้น้ำ (Submerge)
- เส้นลวดอิเล็กโทรดชนิดทองเหลือง (Brass wire) ของ Sumitomo ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 มิลลิเมตร
- สารเหลวตัวกลาง (Dielectric fluid) เป็นน้ำดีไอ (Deionization water: DI)

รูปที่ 3 เครื่อง Mitsubishi CNC Wire-EDM รุ่น AF10PS

3.2 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาจำลองเสมือนตัดชิ้นส่วนแม่พิมพ์ที่เรียกว่าดายน์อินเสิร์ต ตัดเซาะชิ้นงานให้เป็นช่องคมตัดที่สนใจศึกษาเป็นเส้นรอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2 x 3 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นพื้นที่ตัดเท่ากับ 160 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ 4 โดยปรับระดับปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการตัดแต่ละปัจจัย 3 ระดับได้แก่กระแสไฟฟ้าดิสชาร์ต (IP), ชุดปรับความเรียบดิสชาร์ตบี (SB), และแรงดันไฟฟ้าดิสชาร์ต (VG) [5,7] เฉพาะในขั้นตอนของการตัดหยาบ (Rough cut) โดยใช้เครื่องจักร CNC Wire-EDM ดังรูปที่ 3 ด้วยเส้นลวดอิเล็กโทรดทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 มิลลิเมตร การตัดเซาะอยู่ภายใต้สารเหลวตัวกลางที่เป็นน้ำดีไอ (Deionization water) ชนิดท่วม ซึ่งจะมีการปรับสภาพน้ำดีไอด้วยเม็ดเรซินแบบไหลวนอยู่ตลอดเวลา และมีการกำหนดปัจจัยคงที่อื่นๆ โดยอ้างอิงมาจากตารางค่าไฟมาตรฐาน สำหรับใช้ตัดวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ความหนา 20 มิลลิเมตร ตามคู่มือของเครื่องจักรรุ่นนี้แนะนำ [5] ชิ้นทดสอบถูกนำมาเจียระไนผิวหน้าคมตัดด้วยล้อหินเจียร์ 14A1 RESIN(D) SCD#SCD#400 ด้วยความเร็วขอบตัด 40 เมตร/วินาที ลึกลงทีละไม่เกิน 3 ไมครอน แล้วทำการวัดขนาดของการแตกบิ่นที่มากสุด ดังตารางที่ 3 จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลของการทดลองโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab R14



รูปที่ 4 แบบจำลองชิ้นทดสอบโดย Mediapt CAD/W

ตารางที่ 1 คุณสมบัติซีเมนต์คาร์ไบด์ชนิด WC-12%Co

Properties	Rank
WC (%Wt)	88
E.T.C + Co (%Wt)	12
Grain size (μm)	0.3-0.5
Density (g/cm^3)	14.15
Hardness (HV)	1,500
T.R.S (Kgf./mm^2)	354

ตารางที่ 2 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

Level	IP (Amp)	SB (Notch)	VG (Volt)
1	5	6	37
2	7	9	40
3	9	12	43

4. ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 ผลการทดลอง

ผลการทดลองตามแผนการทดลอง Orthogonal array (OA), L_{27} (3^3) ค่าผลตอบสนองของกระบวนการคือการแตกบิ่นขนาดเล็ก (Micro chipping; mC) มีหน่วยเป็นไมครอน การหาค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N Ratios) โดยมีวัตถุประสงค์ คือค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Small is Better) ดังสมการที่ 2 และแสดงในตารางที่ 3

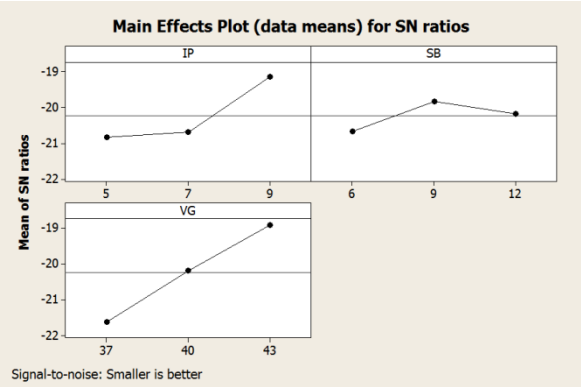
ตารางที่ 3 ผลการทดลอง OA, L_{27} (3^3)

No.	Factor			mC	S/N Ratios
	IP	SB	VG		
1	5	6	37	14	-22.9226
2	5	6	40	12	-21.5836
3	5	6	43	8	-18.0618
4	5	9	37	13	-22.2789
5	5	9	40	10	-20.0000
6	5	9	43	8	-18.0618
7	5	12	37	13	-22.2789
8	5	12	40	11	-20.8279
9	5	12	43	12	-21.5836
10	7	6	37	16	-24.0824
11	7	6	40	13	-22.2789
12	7	6	43	10	-20.0000
13	7	9	37	13	-22.2789
14	7	9	40	12	-21.5836
15	7	9	43	9	-19.0849
16	7	12	37	11	-20.8279
17	7	12	40	8	-18.0618
18	7	12	43	8	-18.0618
19*	9	6	37	10	-20.0000
20*	9	6	40	9	-19.0849
21*	9	6	43	8	-18.0618
22*	9	9	37	9	-19.0849
23*	9	9	40	8	-18.0618
24*	9	9	43	8	-18.0618
25*	9	12	37	11	-20.8279
26	9	12	40	10	-20.0000
27	9	12	43	9	-19.0849

ในตารางที่ 3 เครื่องหมาย * หมายถึงการทดลองที่มีเส้นลวดอิเล็กโทรดขาดบริเวณคมตัดที่สนใจศึกษาอย่างน้อยหนึ่งครั้ง แสดงว่ามีความไม่เสถียร (Instability) เกิดขึ้น

ตารางที่ 4 S/N Ratios ของการแตกบิ่น และจัดอันดับผลกระทบ

Level	Factors		
	IP	SB	VG
1	-20.84	-20.63	-21.62
2	-20.70	-19.83	-20.16
3	-19.14	-20.17	-18.90
Delta	1.70	1.84	2.72
Rank	2	3	1



รูปที่ 5 กราฟ S/N Ratios ของการแตกบิ่น

จากตารางที่ 4 พิจารณาผลต่างค่าเฉลี่ย S/N Ratios แต่ละปัจจัยลำดับจากมากไปหาน้อยคือ VG, IP, และ SB ในรูปที่ 5 ปัจจัยของกระบวนการที่ส่งผลกระทบให้การแตกบิ่นน้อยที่สุดคือ VG ที่ระดับ 43, IP ที่ระดับ 9, และ SB ที่ระดับ 9 ส่งผลต่อค่าผลตอบสนองดีที่สุดตามลำดับ และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อทดสอบ

ความแตกต่างของแต่ละปัจจัย P-value ของ VG เท่ากับ 0.001, IP เท่ากับ 0.013, SB ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

4.2 การทดสอบเพื่อยืนยันผล

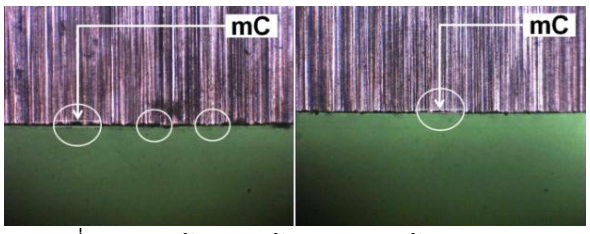
จากกราฟรูปที่ 5 ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมนำมาวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนที่สูงที่สุดคาดการณ์ (Prediction S/N Ratio) และค่าผลตอบสนองที่ดีที่สุดคาดการณ์ (Prediction Response) จากนั้นทำการทดสอบซ้ำเพื่อยืนยันผล พบว่ากระบวนการตัดมีการปรับปรุงประสิทธิภาพดีขึ้น ขนาดของการแตกบิ่นขนาดเล็กลดลง 5.5 ไมครอน เมื่อเปรียบเทียบกับการตัดด้วยค่าระดับปัจจัยแบบดั้งเดิม ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการทดสอบเพื่อยืนยันผล

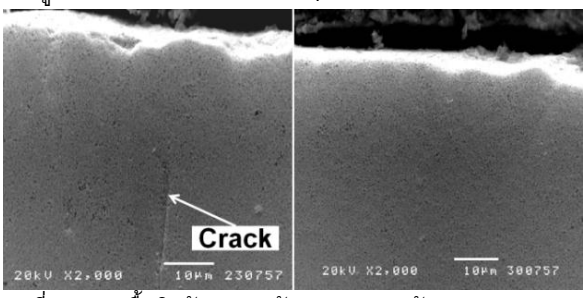
	Initial (IP7,SB9,VG40)	Optimal (IP9,SB9,VG43)	
		Prediction	Confirmation
S/N Ratio	-21.5836	-17.4158	-16.1720
mC (μm)	12.0	7.0	6.5

4.3 โครงสร้างจุลภาคเชิงสังเกตการณ์

พิจารณาขอบคมตัดด้วยกล้องจุลทรรศน์วัดขนาด (Measure Microscope) และพื้นผิวตัดด้วยจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ร่วมกับวิเคราะห์การกระจายธาตุพลังงาน (Energy Dispersive Spectrometry; EDS) ดังนี้



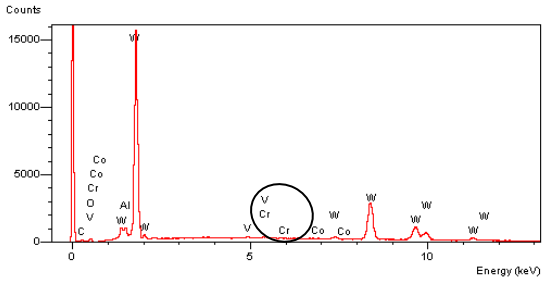
รูปที่ 6 ขอบคมตัด Initial กับ Optimal กำลังขยาย 50 เท่า



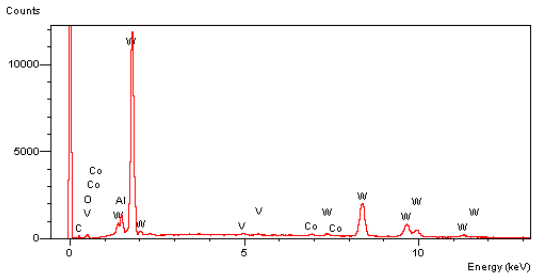
รูปที่ 7 SEM พื้นผิวตัด Initial กับ Optimal กำลังขยาย 2,000 เท่า

ตารางที่ 6 องค์ประกอบเคมีธาตุพลังงานจาก EDS (หน่วย %Wt)

Element	Bulk	Initial	Optimal
W	93.07	88.31	88.59
Co	0.32	1.37	1.28
V	0.55	0.66	0.58
Al	1.28	2.02	2.38
O	1.41	2.98	2.77
C	3.02	4.66	4.40
Cr	0.35	-	-



รูปที่ 8 องค์ประกอบเคมีธาตุของพื้นผิว Bulk



รูปที่ 9 องค์ประกอบเคมีธาตุของพื้นผิวตัด Optimal

กระบวนการทางความร้อน ทำให้องค์ประกอบเคมีธาตุแสดงตัวออกมายังพื้นผิวตัดแตกต่างกัน [5] พบธาตุ Co, V, Al, O และ C สูงขึ้นซึ่งตรงกันข้ามกับ W ดังตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่ามีการเสื่อมสภาพลงของพื้นผิวตัด อุณหภูมิตัดที่สูงกว่าช่วง 1,065-1,120 องศาเซลเซียส ที่มีการหล่อเย็นอย่างรวดเร็วทำให้ Cr รวมตัวกับ Co บางส่วนเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ ละลายเข้าไปในเนื้อเกรน ทำให้คาร์ไบด์แข็งขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย แต่พื้นที่รอบๆ เกรนเกิดสภาวะสูญเสียธาตุ Cr ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular Corrosion) [9] สังเกตพบว่า O เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ความต้านทานแรงกระแทกตามแนวขวางลดลง ที่ระดับปัจจัยที่เหมาะสมมีอัตราการตัดสูงกว่าระดับปัจจัยแบบดั้งเดิม องค์ประกอบเคมีธาตุแสดงตัวน้อยลง เป็นไปได้ว่าอัตราการตัดที่ต่ำ จะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของผิวตัดอย่างรุนแรง และอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของการแตกร้าวขนาดเล็ก

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

การศึกษากระบวนการตัดแปรรูปคมตัดของดายน์จากวัสดุซีเมนต์คาร์ไบด์ชนิด WC-12%Co ด้วยวิธี Wire-EDM โดยการออกแบบการทดลอง Orthogonal array, L_{27} (3^3) ด้วยวิธีของทากูชิ ต่อผลตอบสนองการแตกบิ่นขนาดเล็ก พบว่าแรงดันไฟฟ้าดิสชาร์ตและกระแสไฟฟ้าดิสชาร์ตมีผลกระทบต่อขนาดของการแตกบิ่นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ปัจจัยแรงดันไฟฟ้าดิสชาร์ตมีผลกระทบมากที่สุด ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ขนาดของการแตกบิ่นน้อยที่สุดในงานวิจัยนี้คือ แรงดันไฟฟ้าดิสชาร์ตระดับ 43, กระแสไฟฟ้าดิสชาร์ตระดับ 9 และชุดปรับความเรียบดิสชาร์ตบีระดับ 9 ผลตอบสนองของกระบวนการมีการปรับปรุง การแตกบิ่นลดลง 5.5 ไมครอน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าระดับปัจจัยแบบดั้งเดิม แรงดันไฟฟ้าดิสชาร์ต และกระแสไฟฟ้าดิสชาร์ตสูงที่ขึ้นทำให้การเสื่อมสภาพของพื้นผิวตัด และการแตกบิ่นลดลง

5.1 ข้อเสนอแนะ

ระดับกระแสไฟฟ้าดิสชาร์ตที่ระดับ 9 ทำให้ขนาดการแตกบิ่นน้อยที่สุด แต่ไม่เสถียรขณะตัด ในทางปฏิบัติอาจต้องเพิ่มแรงดันไฟฟ้าดิสชาร์ตมากขึ้นกว่าค่าการทดลอง เพื่อให้มีอัตราการตัดที่มีความสมดุลและเกิดความเสถียร นอกเหนือจากนี้ควรพิจารณาเลือกชนิดล้อหินเจียระไนที่เหมาะสมเพิ่มเติม เพราะว่าในระหว่างการเจียระไนจะมีแรงกดอัดสูง ทำให้เกิดความเสียหายของชั้นบางๆ เนื่องจากความเค้นตกค้าง [J.Yang; 2014] ซึ่งการเจียระไนเป็นหนึ่งในขั้นตอนปฏิบัติของงานแขนงนี้รวมอยู่ด้วย และอาจจะช่วยแก้ไขปัญหาการแตกบิ่นได้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ภาควิชาวิศวกรรมอุสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และบริษัทยามาเก็น (ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารอ้างอิง

[1] Bert Lauwers, Weidong Liu, Wesley Eeraerts, “Influence of the Composition of WC-Based Cermets on Manufacturability by Wire-EDM”, Journal of Manufacturing Process, Vol. 8 (2), 2006, 83-89

[2] Chang-Ho Kim, Jean Pierre Kruth, “Influence of the Electrical Conductivity of Dielectric on WEDM of Sintered Carbide”, Journal of Mechanical Science and Technology, 2001, 1-6

[3] Jun Qu, Laura Riester, Albert J. Shih, Ronald O. Scattergoogd, Edgar Lara-Curzio, Thomas R. Watkins, “Nano indentation characterization of surface layers of electrical discharge machined WC-Co”, Materials Science and Engineering A344, 2003, 125-131

[4] พิชัย จันทร์มณี, กมลพงศ์ แจ่มกมล และอภิวัฒน์ มุตตามระ, การศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ในการตัดวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์โดยการกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้าด้วยทากูชิ, วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยนเรศวร ปีที่ 6 (ฉบับที่ 1), 2554, 20-27

[5] อำนวย เหมือนจินดา, เอกสารประกอบการฝึกอบรมความรู้ความเข้าใจในงาน Wire-EDM, Mitsubishi Electric Automation (Thailand) Co., Ltd., กรุงเทพฯ, 2551

[6] สถาบันไทย-เยอรมัน, คู่มือการฝึกอบรม P39T4G07 เครื่องจักรเฉพาะทางชั้นสูง (CNC EDM, CNC Wire-cut), โครงการพัฒนาอุตสาหกรรมแม่พิมพ์, สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย, กรุงเทพฯ, 2550

[7] บริษัท บูรพาการไฟฟ้าอุตสาหกรรม จำกัด, เอกสารประกอบการฝึกอบรม CNC Technology Wire-cut (แปลไทย), Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo

[8] สยาม แก้วคำไสย์, การกัดกร่อนตามขอบเกรน, http://siamkaewkumsai.blogspot.com/2011/02 / intergranular-corrosion.html, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ, ปทุมธานี, 2554 (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 มิ.ย. 2558)

การเพิ่มประสิทธิภาพของโรงงานผลิตผลไม้กระป๋องโดยใช้เทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา

Efficiency Improvement of Fruits Canned Industry Using Motion and Time Study Techniques

อิสรา ธีระวัฒน์สกุล[1*] จิรายุ มงคล[2] ปิยวลี เล็กศรี[3]
[1,2.3] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail: isra@eng.cmu.ac.th[*]

Isra Teerawatsakul[1*] Jirayu Monhkol[2] Piyawalee Leksri[3]
[1,2.3] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
E-mail: isra@eng.cmu.ac.th[*]

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานผลิตผลไม้กระป๋อง ของบริษัท รอยัล ไทยฟูดส์ จำกัด ซึ่งจากการวิเคราะห์เบื้องต้นด้วยผังกระบวนการผลิต และผังการไหล ของกระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋องซึ่งเป็นสินค้าหลักของโรงงานพบว่า มีปัญหาทั้งในของวิธีการทำงาน ลำดับขั้นการทำงาน และระยะทางการเคลื่อนที่ของสินค้าภายในโรงงาน ซึ่งเมื่อนำเอาเทคนิคต่าง ๆ ของการศึกษาความเคลื่อนไหวและเวลา มาประยุกต์ใช้ ผลปรากฏว่าได้วิธีการทำงานใหม่ และผังการจัดวางสถานีงานใหม่ ซึ่งทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ลดลง 6.64% และ เวลามาตรฐาน ใหม่ที่ลดลงจากเดิม 16.63 %

คำหลัก การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต , โรงงานผลิตผลไม้กระป๋อง , เทคนิคการเคลื่อนไหวและเวลา

Abstract

The objective of this study is to improve efficiency of canned fruits production plant in Royal Thai Food Co.Ltd. The initial analysis using Process Chart and Flow Diagram on canned pineapple production process. Which was the main product of the plant revealed that there were problems in work methodology work sequence and transportation distance of products within the plant. Upon application of Motion and Time Study techniques an improved method and new work station layout were established resulting in 6.64 per cent decrease in transportation distance and 16.63 per cent decrease in standard time.

Keywords: Efficiency improvement Canned Fruits Production Plant Motion and Time Study

1. บทนำ

โรงงาน รอยัล ไทยฟู้ด จำกัด เป็นโรงงานผลิตผลไม้บรรจุกระป๋องขนาดกลาง ตั้งอยู่ที่ อ. แม่แตง จ. เชียงใหม่ มีพนักงานทั้งสิ้น 54 คน ส่วนใหญ่และชาวไทยภูเขา เนื่องจากโรงงานมีหลายกระบวนการผลิตและจัดเก็บวัตถุดิบ และสินค้าอยู่ภายในอาคารเดียวกัน ทำให้มีการเคลื่อนที่ทั้งคนและวัสดุไม่เป็นระเบียบอีกทั้งวิธีการทำงานในแต่ละสถานีงานก็ไม่เป็นมาตรฐานทำให้ผลผลิตที่ออกมา มีปริมาณและคุณภาพไม่สม่ำเสมอ

ดังนั้นทางคณะผู้ศึกษาวิจัย จึงมีแนวคิดเอาเทคนิคด้านการศึกษาความเคลื่อนไหวและเวลา ตลอดจนการวางผังโรงงานไปช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตและผังโรงงาน เพื่อทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตของโรงงานเพิ่มขึ้น

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตผลไม้บรรจุกระป๋องโดยใช้เทคนิคการศึกษาความเคลื่อนไหวและเวลา
2. เพื่อปรับปรุงผังโรงงานเพื่อให้ระยะทางในการผลิตลดลงและพื้นที่ใช้ประโยชน์มากขึ้น

3. วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาและจัดเก็บข้อมูลการผลิตของโรงงาน
2. วิเคราะห์กระบวนการผลิตของแต่ละสถานีงานด้วย ผังกระบวนการผลิต (Process Chart) และ ผังการไหล (Flow Diagramme)
3. วิเคราะห์หาสภาพสาเหตุและแนวทางการแก้ไขปัญหาด้วย Systematic Problem So ling Techniques และ ผังก้างปลา (Fish Bone diagramme)
4. ศึกษาและวิเคราะห์ข้อจำกัดของแต่ละแนวทางการแก้ไขปัญหา
5. นำแนวทางการแก้ไขปัญหาและวิธีการทำงานใหม่และผังโรงงานใหม่ไปประยุกต์ใช้
6. ประเมินผลและแก้ไข
7. สรุปผลศึกษาวิจัย

4. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การศึกษาความเคลื่อนไหวและเวลา (Motion and Time Study) วิธีการนี้มุ่งเน้นไปที่การเคลื่อนไหวในขณะทำงาน โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของร่างกาย (Human Body) ให้เกิดประโยชน์สูงสุด การออกแบบเครื่องมือและสิ่งอำนวยความสะดวก (Design of Tool and Equipment's)ให้เหมาะสมกับวิธีการทำงาน

ในด้านการศึกษาเวลานั้น มุ่งเน้นไปที่หาเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละงานหรือแต่ละกระบวนการ โดยเวลาที่ได้จะเรียกว่า เวลามาตรฐาน (Standard Time) ซึ่งจะเป็นเวลาการทำงานในระดับปกติของคนงาน ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย Performance Rating แล้วนำมารวมกับเวลาเผื่อ (Allowance)

2. วางผังโรงงาน (Plant Layout)

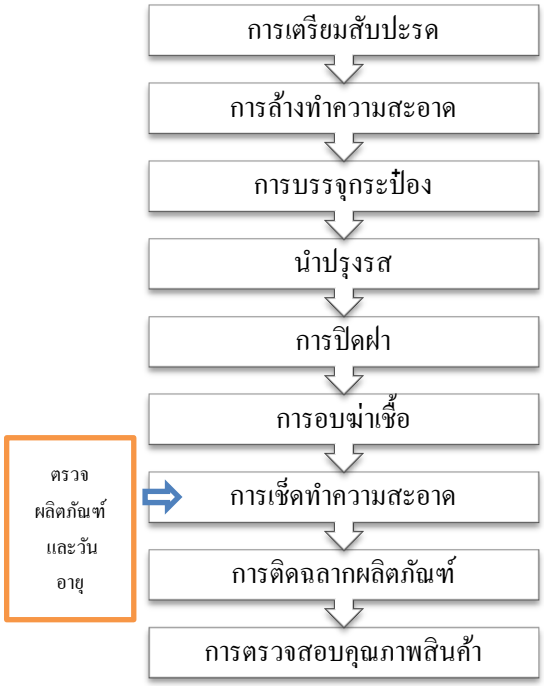
หลักการวางผังโรงงานที่ดี คือผังโรงงานต้องมีความเหมาะสมกับกระบวนการผลิตและพื้นที่ใช้สอยของโรงงาน ซึ่งในโรงงานแปรรูปผลิตผลการเกษตรที่เป็นอาหาร (Food Industry) จะต้องคำนึงถึง ความสะอาด สุขอนามัย และการปนเปื้อนในระหว่างการผลิตและการขนส่ง อักทั้งยังต้องสอดคล้องกับระบบขนถ่ายวัสดุ (Material Handling System) อีกด้วย

รูปที่ 1 พื้นที่การทำงานส่วนในส่วนกระบวนการผลิต

รูปที่ 2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

5. ผลการศึกษาวิจัย

5.1 การศึกษาวิเคราะห์ด้วยระบบการผลิตของโรงงาน พบว่า มีกระบวนการผลิตที่สำคัญอยู่ 9 กระบวนการ โดยมี 2 กระบวนการที่ใช้เครื่องจักร คือ กระบวนการปิดฝา และการฆ่าเชื้อดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผังกระบวนการผลิตของโรงงาน

5.2 การวิเคราะห์กระบวนการผลิตด้วยผังกระบวนการผลิต และผังการไหลและทำการหาเวลามาตรฐานของการทำงานของโรงงานก่อนปรับปรุง

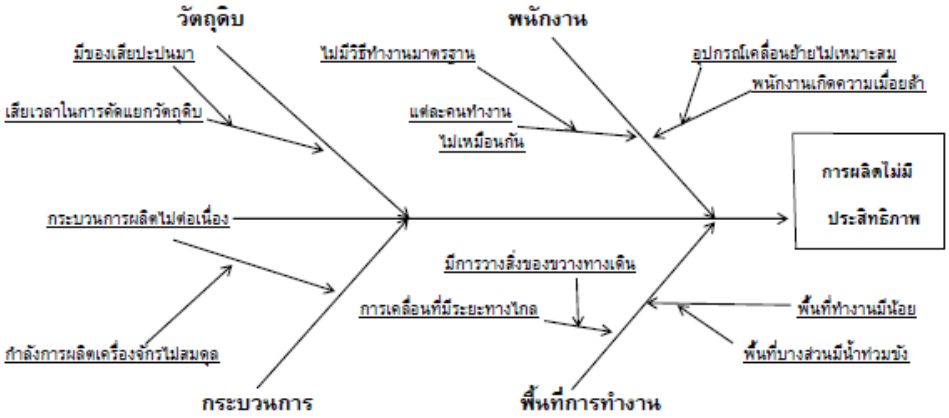
จากการศึกษาวิเคราะห์ได้แบ่งกระบวนการผลิตทั้งหมดออกเป็นออกเป็น 8 กระบวนใหญ่คือ ล้างวัตถุดิบ การบรรจุกระป๋อง การเตรียมน้ำปรุง การปิดฝากระป๋อง การอบฆ่าเชื้อ การทำความสะอาด การติดฉลากและการตรวจคุณภาพและเมื่อนำแต่ละกระบวนการมาศึกษาเพื่อหาวิธีขั้นตอนและเวลาที่ใช้ในการทำงานก็จะแบ่งแต่ละ 8กระบวนการออกเป็นกระบวนการย่อย (elements)เช่นกระบวนการการล้างวัตถุดิบแบ่งออกเป็น 7 กระบวนการย่อยแล้วนำการจับเวลาแบบจับเวลาโดยตรง(Direct Time Study)โดยกำหนดความเชื่อมั่นที่ 95% และความคลาดเคลื่อน ± 5% แล้วหาอัตราการทำงาน(Performance Rating) ด้วยวิธีWestinghouse System

งานย่อยที่	เวลา (วินาที)										พิสัย
1	47.34	54.6	54.3	43.2	55.0	59.5	45.6	45.0	55.2	53.3	16.3
2	4.40	5.21	4.00	4.41	5.04	5.41	4.06	5.28	5.48	6.80	2.8
3	34.20	35.0	35.8	35.6	33.6	34.0	34.0	3620	34.0	36.0	2.57
4	58.60	59.0	58.8	59.2	58.6	58.0	59.0	59.2	58.8	59.2	0.6
5	26.04	27.4	25.8	26.2	24.0	25.6	27.1	26.4	25.3	26.0	3.4
6	7.23	7.65	8.12	5.34	5.23	5.60	6.50	6.12	5.60	4.20	3.92
7	5.10	5.54	9.23	6.54	9.00	5.60	7.65	5.34	5.10	4.23	5

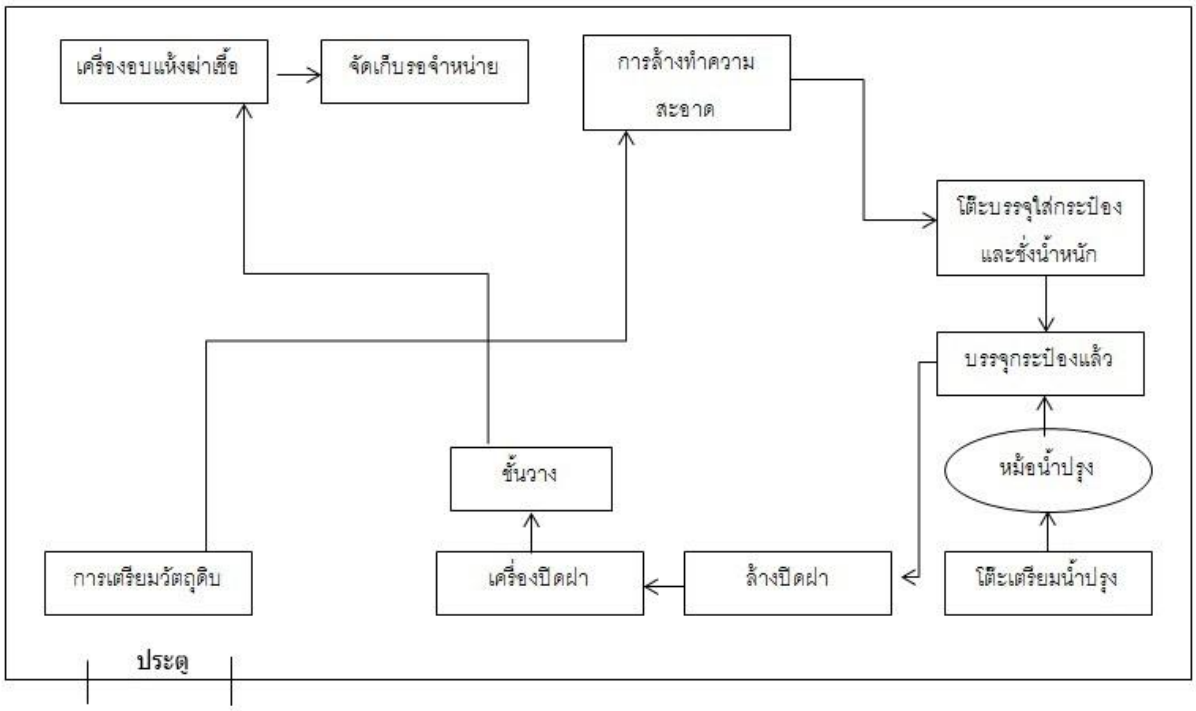
ตารางที่ 1 แสดงการหาเวลาทำงานของแต่ละงานย่อยของกระบวนการล้างวัตถุดิบ

5.3 การวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไขปัญหา

ภายหลังการศึกษาวิเคราะห์และการจับเวลาของแต่ละกระบวนการผลิตแล้ว ได้นำภาพรวมของปัญหาที่ทำให้การผลิตล่าช้าและไม่มีประสิทธิภาพมาทำการวิเคราะห์ด้วย การแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบแล้วนำมาเขียนเป็นแผนภูมิก้างปลาดังแสดงในรูปที่ 3 และผังโรงงานก่อนการปรับปรุงในรูปที่ 4



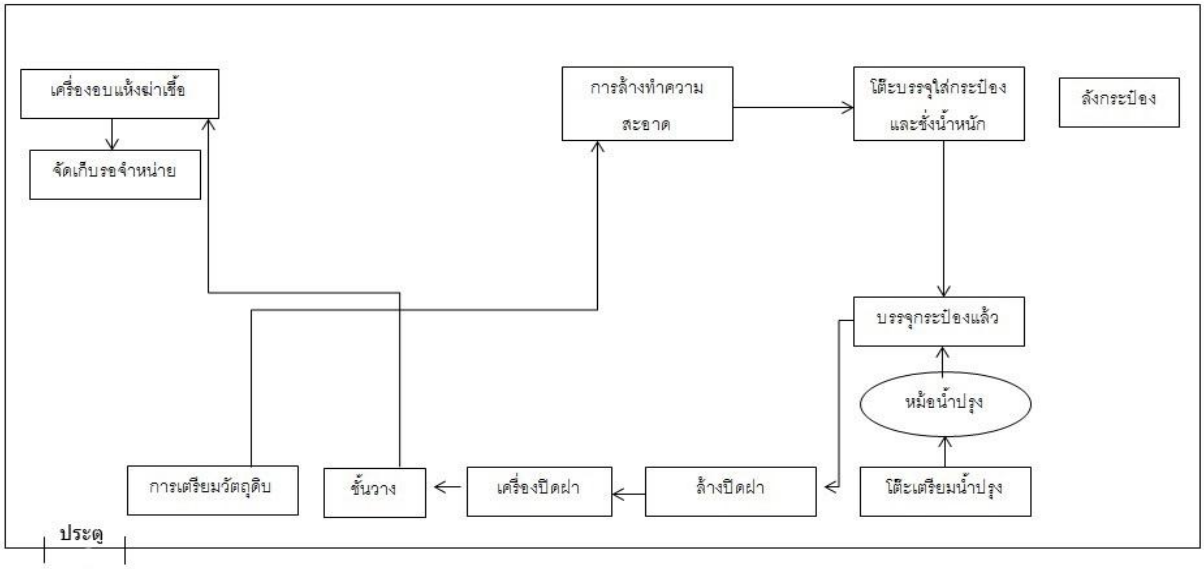
รูปที่ 3 ผังก้างปลาแสดงการวิเคราะห์ปัญหาของกระบวนการผลิต



รูปที่ 4 แผนผังการไหลและวางผังโรงงานเดิม

5.4 การประยุกต์ใช้แนวทางแก้ปัญหา

จากการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นแล้วนำไปเสนอต่อผู้ประสานการ ทั้งในเรื่องกระบวนการทำงานและการปรับผังโรงงาน ซึ่งมีข้อจำกัดอยู่ เรื่องเดียวคือ ไม่สามารถย้ายเครื่องปิดฝาและเครื่องอบฆ่าเชื้อได้ ดังนั้นจากการแนะนำขั้นตอนการทำงานใหม่และย้ายอุปกรณ์บางส่วน ทำให้ได้ผังโรงงานใหม่ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนผังการไหลและผังโรงงานปรับปรุงใหม่

5.5 ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต

จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตและผังโรงงานแล้ว ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 16.63% และระยะทางการเคลื่อนที่ลดลง 6.64% ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3

สถานีงาน	เวลามาตรฐาน (วินาที)		
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	% ที่ลดลง
การบวนการล้างวัตถุดิบ	158.06	122.36	22.58
การบรรจุกระป๋อง	354.44	82.43	76.74
การเตรียมน้ำปรุง	5.11	5.46	-6.85
การปิดฝากระป๋อง	77.99	38.99	50.06
การอบฆ่าเชื้อ	1805.98	1789.23	0.92
การเช็ดทำความสะอาด	72.04	57.13	20.69
การติดฉลากผลิตภัณฑ์	146.74	73.38	49.99
การตรวจสอบคุณภาพ	248.81	222.97	10.38
	2869.17	2391.95	16.63

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบเวลามาตรฐานระหว่างวิธีการก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

การขนย้ายระหว่างสถานีงาน	ระยะทาง (เมตร)		
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	% ที่ลดลง
1.การบวนการล้างวัตถุดิบ	24.15	22.3	7.66
2.การบรรจุกระป๋อง	2.94	-	100
3.การเตรียมน้ำปรุง	-	-	-
4.การปิดฝากระป๋อง	10.11	9.4	7.02
5.การอบฆ่าเชื้อ	27.22	27.22	0
6.การเช็ดทำความสะอาด	7.4	7.4	0
7.การติดฉลากผลิตภัณฑ์	-	-	-
8.การตรวจสอบคุณภาพ	10.95	10.95	0
	82.77	77.27	6.64

ตารางที่ 3เปรียบเทียบระยะทางระหว่างวิธีการก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

6. สรุปผลการดำเนินงาน

ในการปรับปรุงวิธีการทำงานนั้นได้ใช้หลักการที่สำคัญคือ

1. ปรับระดับความสูงของโต๊ะทำงานที่แผนกบรรจุให้สูงขึ้นกว่าเดิม 6 นิ้ว
2. จัดวางอุปกรณ์และสารปรุงแต่งให้เรียงตามลำดับของการใช้งาน
3. เพิ่มรถเข็นส่งของขนาด 80x 120 เซนติเมตร ขนาดล้อ 8” 2 คัน เพื่อช่วยขนส่งระหว่างเครื่องปิดฝาและเครื่องอบฆ่าเชื้อ
4. การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นออกเช่นการวางกระป๋องให้หงายและอยู่ใกล้มากขึ้น ทำให้ไม่ต้องเอื้อมตัวและพลิกกระป๋องก่อนบรรจุ
5. จัดทำคู่มือการทำงานมาตรฐาน (Standard Operating Produce) ให้กับสถานีงาน และสถานีงานและสาธิตพร้อมฝึกสอนแก่พนักงาน

ในการปรับปรุงผังโรงงาน ได้ใช้หลักการและดำเนินการดังนี้

1. ไม่เคลื่อนย้ายเครื่องจักรหลักคือ เครื่องปิดฝา และเครื่องอบฆ่าเชื้อเพราะเสียค่าใช้จ่ายสูง
2. ใช้รถเข็นส่งของที่มีขนาดใหญ่ 80x 120 เซนติเมตรขนาดล้อ 8” จำนวน 4 คัน มาใช้ในการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบ ทำให้ปัญหาความสกปรกจากการตกหล่นของวัตถุดิบหมดทำเพราะรถถูกออกแบบมาให้เหมาะสมกับการขนย้ายซึ่งมีผลทำให้ไม่ต้องล้างพื้น จึงไม่เกิดปัญหาความสกปรกและน้ำท่วมขัง
3. มีการย้ายพื้นที่จัดวางวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูปใหม่ทำให้ไม่กีดขวางการเดินทาง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] จักรกฤษณ์ ฮั่นยะลา. การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตในโรงงานผลิตเสื้อผ้า สำเร็จรูปด้วยเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา. การค้นคว้าแบบอิสระวิทยา มหาบัณฑิต (สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มิถุนายน 2554).

[2] ปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์, ปราโมทย์ ทิพากรฐิติกุล, “การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต โดยการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่,2549

[3] วุฒินันท์ อินทยศ.2542. คู่มือปฏิบัติการการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา.: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2550

[4] อิศรา ธีระวัฒน์สกุล.2542 การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา Motion and Time Study.เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2550

การใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์การปรับปรุงเทคโนโลยีในการผลิตผ้าถัก

Application of analytic hierarchy process for choose technology of knitting process

วรณัฐ โฉมสินทร์* **ประจวบ กล่อมจิตร** สิทธิชัย แซ่เหล่ม
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ. นครปฐม 73000 E-mail: firstpca1@gmail.com*

Vorranut Chomsin* Prachuab Klomjit Sittichai Saelem
Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Muang, Nakornpathom, 73000 E-mail: firstpca1@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงการทำงานของเครื่องถักผ้า โดยนำเทคโนโลยีการควบคุมและตรวจสอบการทำงานของเครื่องถักผ้าเข้ามาใช้เพื่อ ลดต้นทุนการผลิตและเพื่อความสามารถในการแข่งขัน ในการคัดเลือกเทคโนโลยีในการคัดเลือกและเปรียบเทียบเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ โดยการนำกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) เป็นเครื่องมือในการคัดเลือกเทคโนโลยีในการผลิต เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ในที่นี้ได้กำหนดทางเลือกไว้ 3 ทาง คือ 1) พนักงานคุมเครื่องถักผ้า 2) พนักงานคุมเครื่องร่วมกับใช้ระบบ DATALOG ตรวจสอบการทำงานของเครื่องทอ 3) ใช้ระบบ PROGA ซึ่งเป็นระบบควบคุมและตรวจสอบการทำงานเครื่องถักผ้า และปัจจัยที่นำมาคัดเลือก 4 ปัจจัย คือ 1) อัตราการเดินเครื่องถักผ้า 2) ประสิทธิภาพการเดินเครื่องถัก 3) คุณภาพของผ้าถัก 4) ค่าใช้จ่าย มาหาทางเลือกที่ดีที่สุด มาเลือกเทคโนโลยีที่ใช้ ซึ่งจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องถักผ้าและลดระยะเวลาในการรอคอยระหว่างการผลิตลงและยังสามารถลดต้นทุนการผลิต ในส่วนของค่าแรงพนักงานลงได้อีกด้วย

คำหลัก กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์, การปรับปรุงระบบควบคุมและตรวจสอบ, ผ้าถัก

Abstract

This research is a study and improvement the knitting machines in the textile industry. Choose are technology and control knitting mechanical efficiency and use of high technology increase productivity .In the selection process and technology used. The choice and compare with the Technology to will knitting by Analysis Hierarchy Process (AHP) as a screening tool. The maximum performance. are the 3-way 1) Staff for the knitting machines. 2) Staff a shared DATALOG system monitoring for knitting machine. 3) Use PROGA the controlling and monitoring for knitting machine. And choose 4 the factor 1) Availability of the knitting machine, 2) Performance efficiency of the knitting machine 3) Quality of the knitting machine 4) the cost of technology. come to choose technology that use knitting. Can increase efficiency the work of knitting and decrease the period of time in the wait between production down and reduce production costs down as well.

Keywords: AHP, Improve controlling and monitoring system, Knitting

1. บทนำ

ในปัจจุบันสภาพเศรษฐกิจมีการแข่งขันอย่างสูง ผู้ประกอบการจำเป็นต้องปรับตัวเพื่อรับกับสถานการณ์ เพื่อให้สามารถดำเนินธุรกิจต่อไปได้ โดยปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดของเสียจากการผลิต ติดตั้งเครื่องจักรสมัยใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและทดแทนแรงงานคน หรือนำเอาเทคโนโลยีการผลิตที่มีการความคุมการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงานลง และยังสามารถตรวจสอบระบบการผลิตต่างๆ ได้ตลอดเวลาเพื่อดูผลผลิต ประสิทธิภาพการผลิต และคุณภาพของผลิตภัณฑ์

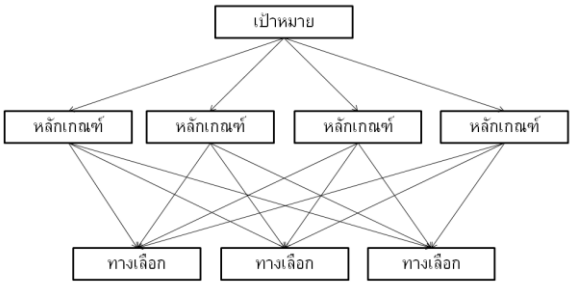
การเลือกเทคโนโลยีมาปรับปรุงการทำงานในการผลิตผ้าถักในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ยังไม่มีหลักเกณฑ์ที่ชัดเจน อาจทำให้เกิดการเลือกที่ไม่ได้ตามวัตถุประสงค์และเกิดความขัดแย้งในด้านมองมุมของผู้รับผิดชอบ ส่งผลให้การตัดสินใจคัดเลือกผิดพลาดได้ ดังนั้นการปรับปรุงการควบคุมและตรวจสอบเครื่องถักผ้า ได้ตรงกับความต้องการของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการตัดสินใจแบบวิเคราะห์ลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการจำลองกระบวนการตัดสินใจของมนุษย์ โดยนำเอาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจมาเปรียบเทียบกันเป็นคู่ ตามลำดับชั้นของเกณฑ์ที่ใช้พิจารณา จากเกณฑ์หลักสู่เกณฑ์รองตามลำดับจัดเรียงลงมาเป็นชั้น ๆ จนถึงทางเลือก ซึ่งจะทำให้ผู้พิจารณาสามารถมองเห็นองค์ประกอบของแต่ละปัจจัยโดยรวมและเปรียบเทียบอย่างเป็นเหตุเป็นผลในทุกปัจจัยที่พิจารณาทำให้ผลการตัดสินใจมีความถูกต้องรัดกุมมากขึ้น [1]

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

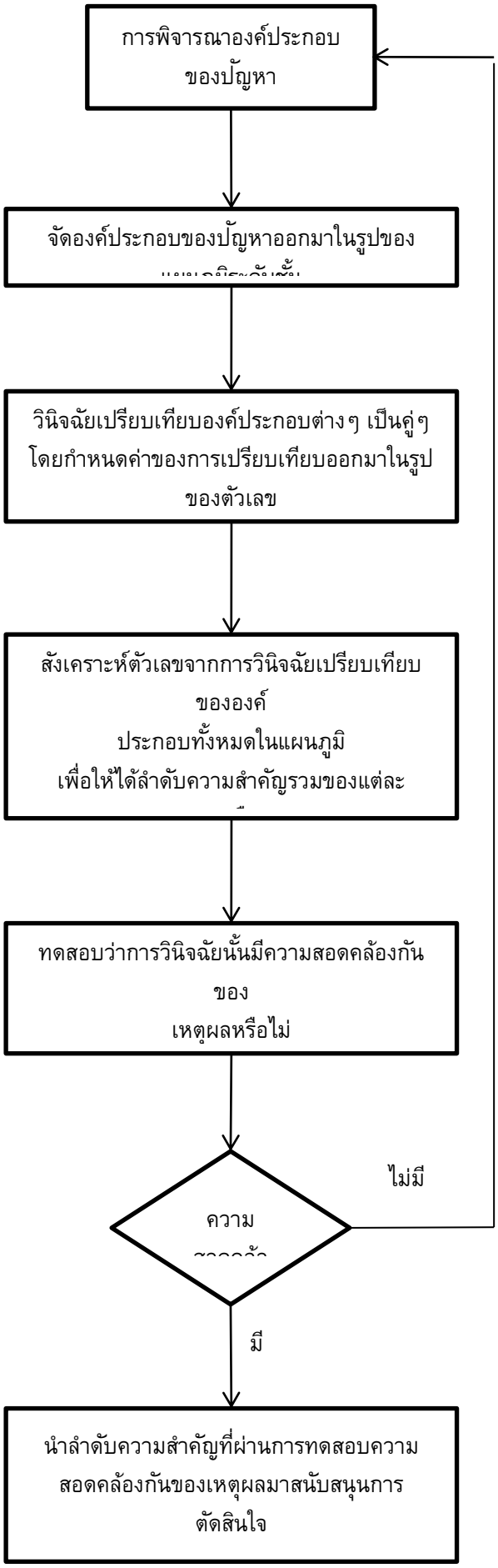
2.1 กระบวนการตัดสินใจแบบวิเคราะห์ลำดับชั้น Analytic Hierarchy Process (AHP)

กระบวนการตัดสินใจแบบวิเคราะห์ลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) ได้ถูกพัฒนาขึ้นใน ค.ศ.1970 โดย Thomas L. Saaty แห่งมหาวิทยาลัยเยล ประเทศสหรัฐอเมริกา Saaty ได้จบการศึกษาระดับปริญญาเอกทางด้านคณิตศาสตร์ ดังนั้นแนวทางของ AHP จึงมีรูปแบบแนวคณิตศาสตร์เป็นหลัก กล่าวคือการแปลงสิ่งที่ไม่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณมาพิจารณา ในเชิงปริมาณโดยการกำหนดมาตราส่วนในการพิจารณา เพื่อให้ได้คำตอบที่เป็นไปได้แบบมีเหตุผลโดยการกำหนดเป้าหมายและสร้างโครงสร้างของปัญหาที่ต้องการพิจารณาออกมาเป็นแผนภูมิลำดับชั้น (Hierarchy) ตามลำดับชั้นของเกณฑ์ที่ใช้พิจารณา จากเกณฑ์หลักสู่เกณฑ์รองตามลำดับจัดเรียงลงมาเป็นชั้น ๆ จนถึงทางเลือก (Alternatives) วิธีนำ AHP มาใช้ในงานวิจัย เนื่องจากว่า AHP สามารถนาไปใช้ง่ายและสามารถทาการประเมินผลทั้งที่เป็นเชิงปริมาณและคุณภาพได้อย่างมีความสอดคล้องกันของเหตุผล รวมทั้งมีความยืดหยุ่นที่สามารถนามาใช้เมื่อมีปัจจัยหลายๆ



รูปที่ 1 รูปแบบทั่วไปของโครงสร้างลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

ขั้นตอนในการนำ AHP มาใช้ไว้ดังนี้



ส่วนประกอบในแต่ละขั้นจะถูกจัดลาดับความสำคัญโดยการใช้วิธีการเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ ในการทำการเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ โดยใช้มาตราส่วนในการวัดที่ถูกคิดค้นโดย Saaty ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับความเข้มข้นของความสำคัญในการวินิจฉัยแบบ AHP

ระดับความเข้มข้นของความสำคัญ	ความหมาย
1	สำคัญเท่ากัน
3	สำคัญกว่าเล็กน้อย
5	สำคัญกว่าปานกลาง
7	สำคัญกว่ามาก
9	สำคัญกว่ามากที่สุด
2, 4, 6, 8	สำหรับการกำกึ่งระหว่างความสำคัญในแต่ละตามลำดับตัวเลข

เนื่องจากการวินิจฉัยเปรียบเทียบถูกทาภายใต้ตารางเมตริกซ์ การใส่ค่าความสำคัญของการวินิจฉัยเปรียบเทียบเฉพาะคู่ที่อยู่เหนือเส้นทแยงมุมขึ้นไปเท่านั้น ส่วนพื้นที่ที่อยู่ใต้ [1] [2]

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยดัชนีจากการสุ่มตัวอย่าง (Average Random Index, RI) ซึ่งนามาจากขนาดของตารางเมตริกซ์

ขนาดของตารางเมตริกซ์	ค่า RI ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง
1	0
2	0
3	0.55
4	0.89
5	1.11
6	1.25
7	1.35
8	1.40
9	1.45
10	1.49

อัตราส่วนของความสอดคล้องจะถูกใช้เพื่อวัดความสอดคล้องในการทาการเปรียบเทียบเป็นคู่ ได้กำหนดค่า

อัตราส่วนความสอดคล้องที่ยอมรับได้สาหรับตารางเมตริกซ์ที่มีขนาดที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้คือ

1. อัตราส่วนความสอดคล้องที่ 5% สาหรับตารางเมตริกซ์ที่มีขนาดเป็น 3 * 3

2. อัตราส่วนความสอดคล้องที่ 9% สาหรับตารางเมตริกซ์ที่มีขนาดเป็น 4 * 4

3. อัตราส่วนความสอดคล้องที่ 10% สาหรับตารางเมตริกซ์ที่มีขนาดเป็น 5 * 5

4. ถ้าอัตราส่วนของความสอดคล้องที่ได้ตกอยู่ในระดับที่รับได้ คือมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าที่กำหนดไว้ นั่นหมายความว่าผลของค่าเฉลี่ยที่ได้มีความสอดคล้องกันผลที่ได้สามารถย่อมรับได้ ในทางตรงกันข้าม ถ้าอัตราส่วนของความสอดคล้อง (CR) มีค่ามากกว่าค่าที่ยอมรับได้ก็หมายความว่าผลที่ได้จากประเมินและวิเคราะห์นั้นไม่มีความสอดคล้องภายในตารางเมตริกซ์ ดังนั้นจึงควรมีการทาการทบทวนหรือปรับปรุงการประเมินผลใหม่ [1], [4]

3. การดำเนินงานวิจัย

เก็บรวบรวมข้อมูลของโรงงานสิ่งทอตัวอย่าง ในกระบวนการผลิตผ้าถักที่ดำเนินการอยู่ ณ ปัจจุบัน จากสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานตัวอย่าง โดยการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง ใช้พนักงานคุมเครื่องถักผ้า การใช้คนคุมเครื่องร่วมกับใช้คอมพิวเตอร์ตรวจสอบการทำงานของเครื่องทอ และใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องถักผ้าเพียงอย่างเดียว จากนั้นนำข้อมูลต่างมาวิเคราะห์ผล แล้วเลือกผลลัพธ์ที่ดีที่สุดด้วย กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) โดยทำการเปรียบปัจจัยที่ละปัจจัยดังนี้

ตารางที่ 3 ปัจจัยหลักและปัจจัยย่อย

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยย่อย
Availability	1.ความเสถียร 2.ความเข้ากันได้ของอุปกรณ์ 3.การดูแลรักษา
Performance Efficiency	1.ฟังชั่นการใช้งานหลากหลาย 2.ความน่าเชื่อถือ 3.การตอบสนองการใช้งาน 4.เทคโนโลยีที่ใช้
Quality Rate	1.% yield 2.การตรวจจับปัญหา
Cost	1.ราคาขาย 2.ค่าบำรุงรักษา

4. ผลการศึกษาวิจัยและการอภิปรายผล

หลังจากทำการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ โดยการใส่ค่าตามวิธีการแบบ AHP ผลเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์คำนวณหาค่าลำดับความสำคัญของปัจจัยหลัก ทำให้สามารถจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยหลักได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4 เมตริกซ์เปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์การประเมิน

AHP	Availability	Performance	Quality	Cost
Availability	1	0.33	0.33	5
Performance	3	1	1	5
Quality	3	1	1	7
Cost	0.2	0.2	0.14	1
รวม	7.2	2.53	2.48	18

จากตารางพบว่า Quality มีค่าสูงสุดคือ 7

ตารางที่ 5 ตารางแสดงค่าความสำคัญกับผลการเปรียบเทียบ

AHP	Availability	Performance	Quality	Cost	Sum	eigenvector
Availability	0.171	0.124	0.134	0.275	0.704	0.169
Performance	0.512	0.373	0.401	0.275	1.561	0.376
Quality	0.512	0.373	0.401	0.385	1.671	0.402
Cost	0.034	0.075	0.057	0.055	0.221	0.053
Sum					4.16	

จากตารางพบว่า ค่าเฉลี่ยของแต่ละแถวที่ได้คือ 0.33, 0.27, 0.20 และ0.21 ตามลำดับ คือค่าลำดับความสำคัญของการเปรียบเทียบโดยรวม ซึ่งสามารถสรุปผลจากการสังเคราะห์ตัวเลขที่ได้ว่า Quality มีค่าสูงสุดคือ 40%

ตารางที่ 6 ตารางแสดงค่า consistency vector

Criteria	consistency vector
Availability	0.69
Performance Efficiency	1.55
Quality	1.66
Cost	0.22
Sum	4.12

λmax =1.03 , CI -0.99 , CR = -0.84
ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำ AHP จะได้ค่าน้ำหนักที่มีการจัดลำดับความสำคัญอย่างถูกต้อง ในที่นี้ได้แก่ Quality ที่ 0.4 , Performance ที่ 0.38, Availability 0.17 และที่น้อยที่สุดคือ Cost ที่0.05

ตารางที่ 7 ตารางแสดงลำดับความสำคัญของทางเลือก

Availability	พนักงาน	Datalog	PROGA
พนักงาน	1.00	5.00	7.00
Datalog	0.20	1.00	5.00
PROGA	0.14	0.20	1.00
ผลรวมแนวตั้ง	1.34	6.20	13.00

ตารางที่ 8 ตารางแสดงลำดับความสำคัญที่เลือก

ทางเลือก	Availability	Performance Efficiency	Quality Rate	Cost	ความสำคัญ
	17.07%	37.33%	40.10%	5.50%	
พนักงาน	11.89%	3.96%	5.73%	1.24%	22.82%
Datalog	3.95%	15.27%	17.19%	2.50%	38.91%
PROGA	1.23%	18.10%	17.19%	1.76%	38.27%

จากตารางจากตารางพบว่า Datalog มีค่าลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ สูงสุดคือ 38.91% ดังนั้นจึงเลือกนำ Datalog มาเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ปรับปรุงการควบคุมและตรวจสอบในกระบวนการถักผ้า

5.สรุป

การปรับปรุงการควบคุมและตรวจสอบเครื่องถักผ้าในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยการนำเอา ตัวควบคุมของระบบ Datalog เข้ามาใช้งาน สามารถช่วยควบคุมและตรวจสอบการทำงานของเครื่องถักผ้า ซึ่งนอกจากนี้ยังช่วยลดต้นทุนแรงงานที่ใช้ในการคุมเครื่องถักผ้าอีกด้วย โดยเหมาะสมและตรงกับความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้องในการคัดเลือกครั้งนี้

ผลจากการหาปัจจัยในการคัดเลือกเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตในการผลิตผ้าถักนิตติ้ง โดยการปรับปรุงการควบคุมและตรวจสอบ โดยใช้หลักเกณฑ์และกระบวนการของ AHP ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากกว่ากระบวนการการคัดเลือก ตามปัจจัยทางด้านราคา หรือตามความรู้สึกของผู้บริหาร เพราะวิธีการแบบ AHP มีการหาอัตราค่าความสอดคล้องของการวินิจฉัยเปรียบเทียบที่เป็นวิธีการคิดที่ได้รับการยอมรับว่ามีความน่าเชื่อถือและให้ผลที่สมบูรณ์ ลดความคลาดเคลื่อนประเด็นสำคัญด้านอื่นไป นอกจากนี้วิธีการของ AHP ยังเป็นวิธีที่ช่วยลดความมีอคติที่มีอยู่ของผู้ที่ทำการคัดเลือกในวิธีนั้น เนื่องจากมีวิธีการวินิจฉัยเปรียบเทียบทีละคู่ๆ เพื่อให้การเปรียบเทียบได้ผลที่น่าเชื่อถือและสมบูรณ์ครบถ้วน

เอกสารอ้างอิง

[1] วิฑูรย์ ตันศิริคงคล. 2542. AHP : กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก กรุงเทพฯ : กราฟฟิค แอนด์ ปริ้นติ้ง เซ็นเตอร์.

[2] สุรกฤษฎ์ นาทธราดล. 2553. การประยกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ความคลุมเครือในการคัดเลือกผู้ส่งมอบของอุตสาหกรรมยานยนต์และอิเล็กทรอนิกส์ . วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิยาลัยเชียงใหม่.

[3] กุสุมา จิรวงศ์สวัสดิ์. 2550. การประยุกต์ใช้ FMEA และ AHP เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตฟริตกรณีศึกษา : โรงงานผลิตสารเคลือบเซรามิกส์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[4] ธนิตพล จันทสม. 2553. การประยุกต์ใช้ FMEA และ AHP เพื่อปรับปรุงกระบวนการฟอกย้อมในโรงงานตัวอย่าง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

การปรับปรุงกระบวนการทดสอบวงจรขยาย LMX324

Improving the LMX324 Amplifier IC Testing Process

ศิริรัตน์ ชุติชูเดช ปฐมพงศ์ วิริยะอุดมชาติ*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20230 E-mail: prathompong.v@gmail.com*

Sirirat Juttijudata Prathompong Viriyaudomchat*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University, Sriracha campus, Siracha, Chonburi 20230, E-mail: prathompong.v@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงขั้นตอนการทดสอบวงจรขยายของกระบวนการผลิตวงจรขยายรุ่น LMX324 โดยกระบวนการทดสอบนี้ต้องทำการทดสอบทางไฟฟ้าตามมาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้ในเอกสารกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 8 พารามิเตอร์ และการทดสอบแต่ละพารามิเตอร์นั้นต้องผ่านขั้นตอนทั้งหมด 8 ขั้นตอน และสามารถทดสอบได้ครั้งละ 1 ชุดเท่านั้น โดยพิจารณาการปรับปรุงขั้นตอนการทดสอบใน 3 ประเด็น ประเด็นแรกพิจารณาการจัดลำดับของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่จะทดสอบใหม่โดยใช้การวิเคราะห์ ECRS และ มูลค่ากิจกรรมเพื่อกำจัดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (ขั้นตอนการตั้งค่าในการทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ มีค่าเท่ากันและมีการรอคอยที่ไม่จำเป็น) การจัดลำดับพารามิเตอร์ทดสอบใหม่สามารถลดเวลาไปได้ 9.4% ต่อการทดสอบ 1 ชุด ประเด็นถัดมาพิจารณาการเพิ่มจำนวนชุดทดสอบจาก 1 ชุดเป็น 4 ชุดในเวลาเดียวกัน โดยการออกแบบติดตั้งวงจรวัดแรงดันเพิ่มเติมจากวงจรเดิมที่มีอยู่ การเพิ่มจำนวนการทดสอบเป็น 4 ชุดพร้อมกันลดเวลาทดสอบไปได้ 25.6% ต่อการทดสอบ 1 ชุด ประเด็นสุดท้ายที่พิจารณาได้แก่การลดเวลาการทดสอบในขั้นตอนการวัดค่าทางไฟฟ้าของแต่ละการทดสอบซึ่งใช้เวลาถึง 61% ของเวลาทดสอบทั้งหมด เนื่องจากการกำหนดจำนวนรอบที่ใช้ในการวัดค่าทางไฟฟ้าซ้ำ 1,160 รอบต่อการวัดหนึ่งค่าแรงดัน การทดสอบดันเนตถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาจำนวนรอบที่น้อยที่สุด โดยที่ค่าที่วัดได้จะต้องอยู่ในระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด 1,160 รอบ จากการทดสอบพบว่าจำนวนรอบ 800 และ 350 รอบ สำหรับการทดสอบที่ค่า 5V และ 10 V ก็เพียงพอแล้ว การลดจำนวนรอบดังกล่าวสามารถลดเวลาการทดสอบไป 23.8% ต่อการทดสอบ 1 ชุด กล่าวโดยสรุปจากการปรับปรุงทั้งสามประเด็นสามารถลดเวลาทดสอบรวมได้ถึง 58.8% เพื่อให้เกิดความมั่นใจกับขั้นตอนการทดสอบใหม่ ผลที่ได้จากขั้นตอนใหม่ถูกเปรียบเทียบกับขั้นตอนเดิมโดยใช้วิธี GR&R พบว่าค่าการทดสอบที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5% อย่างเป็นที่น่าพอใจ

คำหลัก การปรับปรุงกระบวนการทดสอบ ECRS มูลค่ากิจกรรม การทดสอบดันเนต GR&R

Abstract

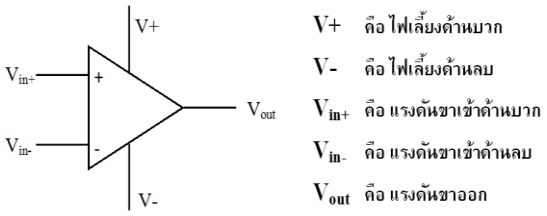
The objective of this research is to improve LMX324 amplifier IC testing process. The testing has to be compliant with the given standard in the document. Eight product characteristic parameters are tested. Each test consists of eight steps and can only be performed on one unit at a time. Three improvement strategies are considered. The first one focuses on the re-ordering the sequence of characteristic parameters to be tested. ECRS and value added activities are utilized to remove non-value added activities (steps involved the

same value setting for testing and an unnecessary waiting). The re-ordering reduces testing time by 9.4% per unit. The next strategy tries to increase number of units tested for a given test period – in this case, from 1 to 4 units tested at the same time. In order to do that, new voltage measurement circuits are designed and installed to existing on. Doing so cut testing time by 25.6% per unit tested. The last strategy considered is try to cut down the testing time during voltage measurement of testing step which takes 61% of total testing time due to the fact that the testing step has to measure the voltage over 1,160 times for one test. Dunnett's test is performed in order to determine the lowest possible number of samples must be taken for the test. Result shows that the test requires 800 and 350 repetitions for 5V and 10V testing with 95% level of confidence. The reduction in the number of samples required greatly cut the test time down by 23.8% per unit. In summary, all the three strategies reduce in total 58.6% of testing time per unit. To further check the variation of result due to the new test procedure in comparison to the original one, GR&R is performed. Result suggests the variation between the new and original testing is satisfactorily less than 5%.

Keywords: Improving the Testing Process, ECRS, Value Added Activities, Dunnett's test, GR&R

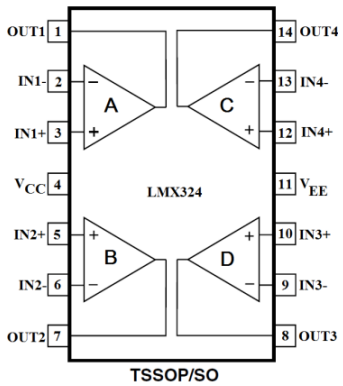
1. บทนำ

วงจรรวม (Integrated Circuit: IC) ประเภทวงจรขยาย (Operational Amplifier Circuit: Op-Amp) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ซึ่งถูกออกแบบให้สามารถทำหน้าที่ได้หลากหลายเมื่อนำไปต่อร่วมกับอุปกรณ์อื่นก็จะสามารถทำเป็นวงจรรวมสัญญาณ (Sum signal) วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Difference signal) หรือวงจรขยายสัญญาณ (Amplify signal) ซึ่งมีสัญญลักษณ์ทางไฟฟ้าดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สัญลักษณ์ของวงจรขยาย

วงจรขยาย LMX324 เป็นวงจรขยายประเภทขยายแรงดันในบรรจุภัณฑ์ TSSOP (Thin Small Outline Package) ภายในประกอบด้วยวงจรขยาย 4 ชุด (A-D) มีสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าดังรูปที่ 2 โดยกระบวนการผลิตวงจรขยายนั้น วงจรทุกชิ้นต้องมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าตามมาตรฐานสากลที่เป็นไปตามข้อกำหนดของเอกสารผลิตภัณฑ์ (Device's Datasheet specification) ดังนั้นเพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับลูกค้า รวมทั้งเป็นการรับรองคุณภาพของวงจรขยาย วงจรทุกชิ้นจึงต้องผ่านกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าตามข้อกำหนด โดยวงจรขยาย LMX324 ต้องผ่านขั้นตอนการทดสอบทางไฟฟ้าตามข้อกำหนดทั้งสิ้น 8 พารามิเตอร์ รายละเอียดคุณลักษณะที่ต้องการในแต่ละพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 1

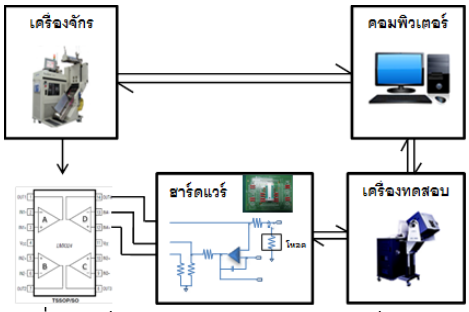


รูปที่ 2 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ LMX324

ทั้งนี้กระบวนการทดสอบดังกล่าวใช้เครื่องจักรรุ่น Aetrium ในการจับและเปลี่ยนถ่ายชิ้นงาน โดยมีฮาร์ดแวร์ที่มีวงจรสำหรับใช้ในการทดสอบเป็นตัวเชื่อมต่อกับเครื่องทดสอบรุ่น TMT ที่มีหน้าที่ในการจ่ายและวัดค่าทางไฟฟ้า ซึ่งกระบวนการทำงานต่างๆของเครื่องจักรฮาร์ดแวร์ และเครื่องทดสอบ รวมถึงการประมวลผลการวัดจะถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมทดสอบทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 คุณลักษณะมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ทดสอบ

ลำดับ	พารามิเตอร์	ตัวย่อ	เงื่อนไข	คุณลักษณะ			
				ต่ำสุด	ปกติ	สูงสุด	หน่วย
1	แรงดันขาเข้าชดเชย Input Offset Voltage	VOS	-	-	1	6	mV
2	การขยายสัญญาณแรงดัน Large-Signal Voltage Gain	AVOL	-	20	120	-	V/mV
3	อัตราการขจัดแบบแรงดันไฟเลี้ยง Power-Supply Rejection Ratio	PSRR	-	82	96	-	dB
			-				
4	อัตราการขจัดแบบโหมดร่วม Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	72	92	-	dB
			-				
5	การแกว่งของแรงดันขาออก Output-Voltage Swing	Vout_Swing	V_{CC} - V_{OH}	-	12	50	mV
			V_{OL}	-	10	40	mV
6	การแกว่งของแรงดันขาออก Output-Voltage Swing	Vout_Swing	V_{CC} - V_{OH}	-	40	110	mV
			V_{OL}	-	25	60	mV
7	กระแสขาเข้า Input Bias Current	IBIAS	-	-	18	50	nA
8	กระแสลัดวงจรขาออก Output Short-Circuit Current	IOUT	Sourcing	5	25	-	mA
			Sinking	10	28	-	mA



รูปที่ 3 องค์ประกอบการทดสอบผลิตภัณฑ์ LMX324

กระบวนการทดสอบพารามิเตอร์ของวงจรขยายทั้ง 8 พารามิเตอร์ ต้องผ่านขั้นตอนต่างๆ 8 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการตั้งค่าเริ่มต้น การตั้งค่าไฟฟ้าสำหรับการทดสอบ การตั้งค่าไฟฟ้าให้กับผลิตภัณฑ์ การตั้งค่าการวัด การวัดค่าทางไฟฟ้า การรีเซ็ตค่าไฟฟ้า การคำนวณผล และการแสดงผล โดยมีการกำหนดเงื่อนไขและการตั้งค่าต่างๆในการทดสอบ ดังตารางที่ 2 ทั้งนี้ขั้นตอนการวัดค่าทางไฟฟ้านั้นถูกกำหนดให้มีการวัดซ้ำเพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับลูกค้าว่าผลิตภัณฑ์นั้นได้ผ่านการวัดเป็นจำนวนครั้งที่มากพอ และจะเป็นไปตามคุณลักษณะตามที่กำหนดไว้

จากการศึกษาเวลาที่ใช้ในกระบวนการทดสอบวงจรขยายตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง กันยายน 2557 พบว่าเวลารวมของกระบวนการทดสอบคือ 1.81 วินาที/ชิ้น และขั้นตอนการตั้งค่าไฟฟ้าและการวัดค่าท่างไฟฟ้าเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาในกระบวนการทดสอบไฟฟ้ามากถึง 99% ของเวลาที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	เงื่อนไข	กระบวนการทดสอบ											
		1.ตั้งค่าเริ่มต้น ตั้งค่าแรงดันทุกตำแหน่ง	2.ตั้งค่าไฟฟ้าสำหรับการทดสอบ			3.ตั้งค่าไฟฟ้าให้กับผลิตภัณฑ์		4.ตั้งค่าการวัด ย่านการวัด (V)	5.วัดค่าทางไฟฟ้า รอบการวัด (รอบ)	6.รีเซ็ตค่าไฟฟ้า		7. คำนวณ	8. แสดงผล
			Loop out (V)	Force vout (V)	ต่อโหลด (Ω)	V+ (V)	V- (V)			Force vout (V)	ตัดโหลด (Ω)		
1.VOS	-	0.0	9.95	0.4	-	1.7	-1.0	10	1,160	0.0	-	คำนวณค่าแต่ละพารามิเตอร์	แสดงผลและเก็บข้อมูลอยู่ในรูปแบบไฟล์
2.AVOL	-	0.0	4.95	1.4	2k	1.7	-1.0	5	1,160	0.0	2k		
	-			-0.7									
3.PSRR	-	0.0	4.95	0.0	-	6.0	-1.0	5	1,160	0.0	-		
	-					1.3	-1.0	5	1,160				
4.CMRR	-	0.0	4.95	-0.45	-	0.9	-1.8	5	1,160	0.0	-		
	-			1.6	-	2.9	0.2		1,160		-		
5.Vout_Swing	V_{CC} - V_{OH}	0.0	4.95	2.2	10k	1.7	-1.0	5	1,160	0.0	10k		
	V_{OL}			-1.5									
6.Vout_Swing	V_{CC} - V_{OH}	0.0	4.95	3.5	2k	3.0	-2.0	5	1,160	0.0	2k		
	V_{OL}			-2.5									
7.IBIAS	-	0.0	9.95	0.4	-	1.7	-1.0	10	1,160	0.0	-		
8.IOUT	Sourcing	0.0	4.95	1.0	100	3.0	-2.0	5	1,160	0.0	100		
	Sinking			-1.0									

ตารางที่ 3 เวลาที่ใช้การทดสอบผลิตภัณฑ์ในปัจจุบัน

พารามิเตอร์	กระบวนการทดสอบ (มิลลิวินาที/ชิ้น)								
	1.ตั้งค่าเริ่มต้น	2.ตั้งค่าไฟฟ้าสำหรับการทดสอบ	3.ตั้งค่าไฟฟ้าให้กับผลิตภัณฑ์	4ตั้งค่าการวัด	5.วัดค่าทางไฟฟ้า	6.รีเซ็ตค่าไฟฟ้า	7.คำนวณ	8.แสดงผล	เวลารวม
1.VOS	0.207	1.945	0.060	60.032	60.320	0.124	0.002	0.022	122.712
2.AVOL	0.207	7.448	5.060	50.244	120.640	0.664	0.002	0.022	184.287
3.PSRR	0.207	12.009	5.060	40.064	120.640	0.124	0.002	0.022	178.128
4.CMRR	0.207	9.717	2.652	40.064	120.640	2.772	0.002	0.022	176.076
5.Vout_Swing	0.207	1.653	10.652	76.519	180.960	36.956	0.008	0.022	306.977
6.Vout_Swing	0.207	1.653	10.652	76.519	180.960	36.956	0.008	0.022	306.977
7.IBIAS	0.207	1.945	5.060	130.289	200.960	0.062	0.006	0.022	338.551
8.IOUT	0.727	21.437	5.060	50.288	120.640	0.114	0.002	0.022	198.290
เวลารวม	2.176	**57.807**	**44.256**	**524.019**	**1105.760**	**77.772**	0.032	0.176	**1,811.999**
%	0.12%	**3.19%**	**2.44%**	**28.92%**	**61.02%**	**4.29%**	0.00%	0.01%	**100.00%**

นอกจากนั้นยังพบว่าขั้นตอนการทดสอบที่ 1-4 และ 6 (ขั้นตอนการตั้งค่าเริ่มต้น การตั้งค่าไฟฟ้าสำหรับการทดสอบ การตั้งค่าไฟฟ้าให้กับผลิตภัณฑ์ การตั้งค่าการวัด และการรีเซ็ตค่าไฟฟ้า) มีการกำหนดเงื่อนไขการทดสอบที่เหมือนกันในหลายพารามิเตอร์ ซึ่งทำให้เสียเวลาจากการตั้งค่าที่ซ้ำซ้อน กลับไปกลับมา เนื่องจากการจัดลำดับการทดสอบพารามิเตอร์ไม่เหมาะสม จึงนำหลักการ ECRS ร่วมกับการวิเคราะห์คุณค่ากิจกรรมมาวิเคราะห์และพัฒนากระบวนการตั้งค่าทางไฟฟ้าเพื่อกำจัดขั้นตอนที่ไม่เกิดประโยชน์ นอกจากนั้นขั้นตอนการทดสอบที่ 5 คือการวัดค่าทางไฟฟ้า มีการกำหนดรอบการวัดซ้ำที่มากถึง 1,160 รอบ ทำให้ใช้เวลาในการทดสอบมาก วิธีของดันเนตจึงถูกนำมาใช้ในการพิจารณาเพื่อหาค่าจำนวนรอบการวัดซ้ำที่เหมาะสม (ลดลง) โดยผลการวัดค่าแรงดันต้องไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าแรงดันระหว่างรอบการวัดซ้ำเดิมกับรอบการวัดซ้ำที่ต่ำกว่า

2. เทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการทดสอบวงจรขยาย

2.1 หลักการ ECRS และการวิเคราะห์มูลค่ากิจกรรม

ECRS เป็นหลักการปรับปรุงคุณภาพที่มีองค์ประกอบ 4 ด้าน โดยองค์ประกอบแรกคือการกำจัด (Eliminate) เป็นการพิจารณาขั้นตอนการทำงานเพื่อกำจัดสิ่งที่ไม่จำเป็นและไม่เกิดมูลค่าเพิ่มต่อผลิตภัณฑ์ องค์ประกอบที่ 2 คือการรวมกัน (Combine) เป็นการรวมขั้นตอนการทำงานให้เหลือน้อยลง องค์ประกอบที่ 3 คือการจัดใหม่ (Rearrange) เป็นการจัดลำดับงานใหม่ให้เหมาะสมเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงและการรอคอยที่ไม่จำเป็น และองค์ประกอบสุดท้ายคือการทำให้ง่าย (Simplify) เป็นการปรับปรุงวิธีการทำงาน หรือสร้างอุปกรณ์ช่วยให้การทำงานง่ายขึ้น ซึ่งภาวิณี [1] ประสบความสำเร็จจากการนำหลักการนี้ไปใช้ร่วมกับ Why-Why analysis ในการกำจัดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตเบรคเกอร์ และพิทธพนธ์ [2] ประสบความสำเร็จในการนำไปใช้ร่วมกับเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H ในการปรับปรุงขั้นตอนการล้างขวด โดยในขั้นตอนของการจัดใหม่ จะใช้หลักการลำดับขั้นตอนในกระบวนการทดสอบความผิดพลาด (Defect Oriented Testing, DOT) ที่ถูกนำเสนอโดย Hamidreza และคณะ [3] โดยเริ่มต้นทดสอบขั้นตอนที่สามารถพบของเสียมากที่สุดก่อน และรองมาในลำดับต่อไป เพื่อคัดแยกของเสียออกให้เร็วที่สุด

การวิเคราะห์มูลค่ากิจกรรม จำแนกกิจกรรมออกเป็น 3 ประเภท ประเภทแรกคือกิจกรรมที่เพิ่มมูลค่า (Value Added: VA) เป็นกิจกรรมที่จำเป็นต่อกระบวนการทดสอบ ประเภทที่สองคือกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าแต่จำเป็น (Necessary but Non Value Added: NNVA) เป็นกิจกรรมที่สูญเปล่าแต่อาจจำเป็นต้องให้เกิดขึ้นในกระบวนการทดสอบ และประเภทสุดท้ายคือกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า (Non Value Added: NVA) เป็นกิจกรรมที่เป็นความสูญเปล่าและสามารถกำจัดออกไปได้

2.2 วิธีของดันเนต (Dunnett's method)

R. W. Day และ G. P. Quinn [4] ได้ศึกษาและจัดหมวดหมู่ของวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน วิธีของดันเนตเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการเปรียบเทียบความแปรปรวนระหว่างเหตุการณ์ควบคุมกับเหตุการณ์อื่นๆ โดยสมมติฐานทางสถิติที่ต้องการทดสอบเป็นดังสมการที่ 1 และ 2

$$H_0: \mu_c = \mu_i \quad (1)$$

และ

$$H_1: \mu_c \neq \mu_i \quad (2)$$

การทดสอบสมมติฐานจะปฏิเสธ H_0 เมื่อผลเป็นดังเงื่อนไขในสมการที่ 3

$$|\bar{y}_c - \bar{y}_i| > d_{\propto(a-1,f)}\sqrt{MSE\left(\frac{1}{n_c}+\frac{1}{n_i}\right)} \quad (3)$$

และ

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{k}\sum_{j-1}^{n}(y_{ij}-\bar{y}_i)^2}{k(n-1)} \quad (4)$$

กำหนดให้

y_{ij} แทน ค่าสังเกตที่ j จากเหตุการณ์ที่ i โดยที่ i = 1, 2, 3,..., k เหตุการณ์ และ j = 1, 2, 3, ..., n

$d_{\alpha(a-1,f)}$ คือ ค่าสถิติของดันเนต ที่ระดับนัยสำคัญ α (0.05)

a คือ จำนวนเหตุการณ์

f คือ จำนวนชั้นอิสระของความคลาดเคลื่อน

n คือ จำนวนซ้ำ

MSE คือ ความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน

$\bar{y}_c$ แทน ค่าเฉลี่ยของเหตุการณ์ควบคุม

$\bar{y}_i$ แทน ค่าเฉลี่ยของเหตุการณ์กลุ่มที่ i

n_c แทน ขนาดตัวอย่าง (จำนวนรอบการวัดซ้ำ) ของเหตุการณ์ควบคุม

n_i แทน ขนาดตัวอย่าง (จำนวนรอบการวัดซ้ำ) ของเหตุการณ์กลุ่มที่ i

2.3 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนด้วย GR&R

Levine [5] กล่าวว่า GR&R หรือ Gage Repeatability and Reproducibility เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการผันแปรของกลุ่มการวัด 2 กลุ่ม ซึ่งมักจะถูกนำไปใช้ในการวัดผลรวมของความแปรปรวนในกระบวนการที่สนใจ โดยเป็นระบบการวัดความแปรปรวนที่แบ่งแยกระบบออกเป็นการวัดผลทางด้านการทำซ้ำ (Repeatability) และด้านการทำสำเนา (Reproducibility) Montgomery [6] เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดเพื่อตรวจสอบเครื่องมือ เครื่องจักร หรือผู้ปฏิบัติงานที่ต่างกัน ผลของ GR&R สามารถทำให้รู้ถึงสาเหตุของการวัดที่ผิดพลาดได้ ซึ่งหลังจากวิเคราะห์ผลแล้วจะทำให้ระบบการวัดมีความเที่ยงตรงและแม่นยำมากขึ้น โดยงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือ GBD ของบริษัทกรณีศึกษาในการตรวจสอบค่า %GR&R ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. การดำเนินการ

3.1 การปรับปรุงกระบวนการตั้งค่าต่าง ๆด้วยหลักการ ECRS และการวิเคราะห์มูลค่ากิจกรรม

3.1.1 การจัดลำดับและลดกิจกรรมที่ไม่เกิดมูลค่า

เริ่มต้นด้วยการจัดลำดับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบโดยแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มการทดสอบที่ต้องการต่อโหลด และกลุ่มการทดสอบที่ไม่ต้องการต่อโหลด โดยเริ่มทดสอบพารามิเตอร์ที่ไม่ต่อโหลดและเรียงลำดับจากพารามิเตอร์ที่พบของเสียมากที่สุดก่อน [3] ดังแสดงตารางที่ 4 โดย %ของเสียอ้างอิงจากการทดสอบงาน 32,543 ชิ้น

ตารางที่ 4 ลำดับการทดสอบก่อนและหลังทำการปรับปรุง

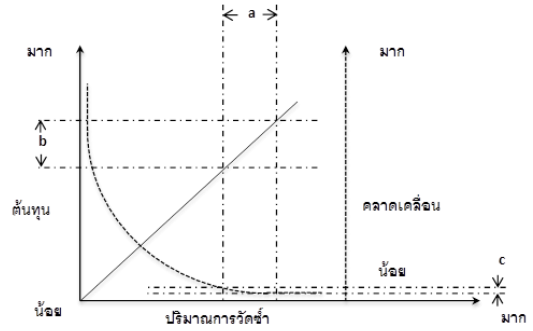
ก่อนปรับปรุง			หลังปรับปรุง		
พารามิเตอร์	%ของเสีย	โหลด (Ω)	พารามิเตอร์	%ของเสีย	โหลด (Ω)
1.VOS	4.45%	-	1.VOS	4.45%	-
2.AVOL	0.32%	2k	2.IBIAS	3.09%	-
3.PSRR	0.23%	-	3.PSRR	0.23%	-
4.CMRR	0.07%	-	4.CMRR	0.07%	-
5.Vout_Swing	0.42%	10k	5.AVOL	0.32%	2k
6.Vout_Swing	0.07%	2k	6.Vout_Swing	0.42%	10k
7.IBIAS	3.09%	-	7.Vout_Swing	0.07%	2k
8.IOUT	0.01%	100	8.IOUT	0.01%	100

3.1.2 การเพิ่มวงจรและการทดสอบพร้อมกัน 4 ชุด

เนื่องจากปัจจุบันการทดสอบ LMX324 ถูกออกแบบให้สามารถทดสอบวงจรขยายภายในได้เพียงคราวละ 1 ชุด จาก 4 ชุด ทำให้เกิดความล่าช้า การทดสอบอย่างคู่ขนานทั้ง 4 ชุดจึงเป็นทางเลือกในการลดเวลาการทดสอบ แต่เมื่อทำการตรวจสอบทรัพยากรและช่องทางการเชื่อมต่อของเครื่องทดสอบและฮาร์ดแวร์ พบว่าวงจรวัดค่าทางไฟฟ้าในเครื่องทดสอบไม่เพียงพอต่อการทดสอบวงจรขยายภายในพร้อมกันทั้ง 4 ชุดในการทดสอบพารามิเตอร์ Vout_Swing ซึ่งต้องใช้วงจรวัด 2 วงจรต่อการทดสอบวงจรขยาย 1 ชุด ในการวัดแรงดันพร้อมกัน 2 ตำแหน่งเพื่อหาผลต่างแรงดัน จึงต้องออกแบบวงจรเพิ่มเติมบนฮาร์ดแวร์ โดยนำวงจรขยายประเภทเปรียบเทียบสัญญาณมาต่อเพิ่มเพื่อแปลงแรงดัน 2 ตำแหน่งให้เป็นผลต่างแรงดัน และทำการวัดด้วยวงจรวัดเพียง 1 วงจร จึงสามารถทำการทดสอบได้พร้อมกัน 4 ชุด ครบทุกการทดสอบ

3.2 การปรับปรุงขั้นตอนการวัดด้วยการลดปริมาณรอบการวัดซ้ำ

ปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อเวลาและค่าการวัดทางไฟฟ้า คือรอบการวัดซ้ำ โดยที่ค่าทางไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อลดความผิดพลาดจากสัญญาณรบกวนที่มีผลต่อค่าการวัด ถ้ารอบการวัดซ้ำมากเท่าใดผลการวัดที่ได้จะเข้าใกล้ค่าจริงมากเท่านั้น แต่เวลาในการทดสอบซึ่งก็คือต้นทุนก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกันดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนและปริมาณการวัดซ้ำ ที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของผลการวัด

ปัจจุบันขั้นตอนการวัดของผลิตภัณฑ์ LMX324 มีรอบการวัดซ้ำอยู่ที่ 1,160 รอบ ต่อการวัดหนึ่งค่าแรงดัน โดยวัดที่ย่านแรงดันการวัด 10V (โวลต์) สำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ VOS และ IBIAS และย่านแรงดันการวัด 5V สำหรับการทดสอบพารามิเตอร์อื่น วิธีดันเนต [4] จึงถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยแรงดัน เพื่อหารอบการวัดซ้ำที่น้อยที่สุดที่ทำให้ผลการวัดแรงดันเทียบเท่ากับรอบการวัดซ้ำเดิม โดยแบ่งระดับแรงดันในแต่ละย่านออกเป็น 3 ระดับ คือ 5V 7.5V และ 10V สำหรับย่านแรงดันการวัด 10V และ 0.1V 2.5V และ 5V สำหรับย่านแรงดันการวัด 5V โดยกำหนดให้ปริมาณการวัดซ้ำเดิม 1,160 รอบ เป็นเหตุการณ์ควบคุม (Control) เพื่อใช้อ้างอิงในการเปรียบเทียบกับรอบการวัดซ้ำที่ต่ำลง ที่ปริมาณการทำซ้ำ (Repeat) 30 ครั้ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ประมวลผลผ่านโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณรอบการวัดซ้ำที่น้อยที่สุดที่สามารถให้ผลการวัดค่าแรงดันเทียบเท่ากับการวัดด้วยรอบการวัดควบคุม

3.3 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนด้วย GR&R

หลังทำการปรับปรุงกระบวนการทั้งหมดข้างต้น ต้องทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของผลการวัดทั้งหมดทุกพารามิเตอร์ โดยเก็บผลการทดสอบงาน 1 ชิ้น ด้วยโปรแกรมก่อนและหลังทำการปรับปรุงอย่างละ 30 ครั้ง จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ %GR&R ด้วยเครื่องมือ GBD ของบริษัทกรณีศึกษา ถ้า %GR&R น้อยกว่า 5% แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่ส่งผลกระทบต่อความเที่ยงตรงของผลการทดสอบ

4. การวิเคราะห์ผลการปรับปรุงกระบวนการทดสอบ

4.1 การปรับปรุงกระบวนการตั้งค่าต่าง ๆด้วยหลักการ ECRS และการวิเคราะห์มูลค่ากิจกรรม

4.1.1 การจัดลำดับและลดกิจกรรมที่ไม่เกิดมูลค่า

ผลจากการจัดลำดับกระบวนการใหม่ทำให้กิจกรรมในการทดสอบมีความต่อเนื่องและเป็นระเบียบมากขึ้น เมื่อนำมาวิเคราะห์มูลค่ากิจกรรม พบว่าสามารถกำจัดกิจกรรมการตั้งค่าที่ซ้ำซ้อน รวมถึงการรอคอยที่ไม่จำเป็นออกจากกระบวนการทดสอบได้ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (NVA) 61 กิจกรรม ส่งผลให้เวลาในการทดสอบลดลง 170.190 มิลลิวินาทีต่อชิ้น ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 การกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบพารามิเตอร์ หลังการปรับปรุงการจัดเรียงและลดกิจกรรมที่ไม่เกิดคุณค่า

พารามิเตอร์	เงื่อนไข	กระบวนการทดสอบ										
		1.ตั้งค่าเริ่มต้น ตั้งค่าแรงดันทุกตำแหน่ง	2.ตั้งค่าไฟฟ้าสำหรับการทดสอบ			3.ตั้งค่าไฟฟ้าให้กับผลิตภัณฑ์		4.ตั้งค่าการวัดย่านการวัด (V)	5.วัดค่าทางไฟฟ้ารอบการวัด (รอบ)	6.รีเซ็ตค่าไฟฟ้า		7. คำนวณ	8. แสดงผล
			Loop out (V)	Force vout (V)	ต่อโหลด (Ω)	V+ (V)	V- (V)			Force vout (V)	ตัดโหลด (Ω)		
1.VOS	-	0.0	9.95	0.4	-	1.7	-1.0	10	1,160	0.0	-	คำนวณค่าแต่ละพารามิเตอร์	แสดงผลและเก็บข้อมูลอยู่ในรูปแบบไฟล์
2.IBIAS	-	-	-	-	-	-	-	-	1,160	0.0	-		
3.PSRR	-	0.0	4.95	0.0	-	6.0	-1.0	5	1,160	0.0	-		
	-					1.3	-1.0	-	1,160				
4.CMRR	-	-	-	-0.45	-	0.9	-1.8	-	1,160	0.0	-		
	-			1.6	-	2.9	0.2		1,160				
5.AVOL	-	-	-	1.4	2k	1.7	-1.0	-	1,160	0.0	2k		
	-			-0.7									
6.Vout_Swing	V_{CC} - V_{OH}	-	-	2.2	10k	-	-	-	1,160	0.0	10k		
	V_{OL}			-1.5									
7.Vout_Swing	V_{CC} - V_{OH}	-	-	3.5	2k	3.0	-2.0	-	1,160	0.0	2k		
	V_{OL}			-2.5									
8.IOUT	Sourcing	-	-	1.0	100	-	-	-	1,160	0.0	100		
	Sinking			-1.0									

ตารางที่ 6 กิจกรรมและเวลาที่ใช้ในการทดสอบพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	จำนวนกิจกรรม			เวลากิจกรรม (มิลลิวินาที/ชิ้น)		
	VA	NVA	NNVA	VA	NVA	NNVA
1.VOS	10	8	6	19.779	20.789	40.024
2.IBIAS	9	25	17	36.520	135.444	40.227
3.PSRR	23	2	13	84.875	0.665	55.148
4.CMRR	22	6	14	85.580	2.032	51.024
5.AVOL	25	5	19	85.084	1.167	60.596
6.Vout_Swing	40	4	81	126.672	1.247	122.898
7.Vout_Swing	40	4	81	126.020	1.899	122.898
8.IOUT	25	7	18	83.744	6.947	70.159
รวม	194	61	249	648.274	170.190	562.975

4.1.2 การเพิ่มวงจรและการทดสอบพร้อมกัน 4 ชุด

ผลจากการเพิ่มวงจรในฮาร์ดแวร์ และการปรับปรุงการทดสอบทุกพารามิเตอร์ให้รองรับการทดสอบวงจรขยายภายในพร้อมกัน 4 ชุดอย่างคู่ขนาน สามารถลดเวลาในการทดสอบลง 463.876 มิลลิวินาทีต่อชิ้น

4.2 การลดปริมาณรอบการวัดซ้ำ

เนื่องจากย่านแรงดันการวัดหนึ่งสามารถกำหนดรอบการวัดซ้ำได้เพียงค่าเดียวเท่านั้น ส่งผลให้รอบการวัดซ้ำในย่านแรงดันการวัด 5V และ 10V สามารถลดลงจาก 1,160 รอบเหลือ 800 และ 350 รอบ ตามลำดับ โดยผลการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยแรงดันด้วยวิธีของดันเนตแสดงได้ดังตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยแรงดันย่าน 5V

รอบการวัด	ค่าเฉลี่ยแรงดัน (V)					
	0.1	กลุ่ม	2.5	กลุ่ม	5.0	กลุ่ม
1,160(ควบคุม)	0.100041	เข้ากลุ่มกัน	2.50041	เข้ากลุ่มกัน	4.99960	เข้ากลุ่มกัน
800	0.100041		2.50041		4.99960	
750	0.100049		2.50041		4.99964	
700	0.100008		2.50041		4.99951	
600	0.100022		2.50041		4.99943	
500	0.100093		2.50041		4.99965	
400	0.100093		2.50041		4.99952	
200	0.100080		2.50043		4.99965	

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยแรงดันย่าน 10V

รอบการวัด	ค่าเฉลี่ยแรงดัน (V)					
	5.0	กลุ่ม	7.5	กลุ่ม	10.0	กลุ่ม
1,160(ควบคุม)	4.99878	เข้ากลุ่มกัน	7.49966	เข้ากลุ่มกัน	9.99819	เข้ากลุ่มกัน
800	4.99879		7.49963		9.99818	
400	4.99880		7.49964		9.99814	
350	4.99879		7.49964		9.99812	
300	4.99871		7.49956		9.99805	
250	4.99867		7.49950		9.99800	
200	4.99869		7.49954		9.99792	

การลดรอบการวัดซ้ำสามารถลดเวลาในขั้นตอนการวัดค่าทางไฟฟ้าลง 430.56 มิลลิวินาทีต่อชิ้น

4.3 การตรวจสอบความเที่ยงตรง

จากการตรวจสอบ %GR&R ผ่านเครื่องมือ GBD พบว่าผลการทดสอบทุกพารามิเตอร์มี %GR&R ต่ำกว่า 5% แสดงว่าการลดเวลาโดยการปรับปรุงขั้นตอนการทดสอบทั้งหมดไม่ส่งผลกระทบต่อความเที่ยงตรงของผลการทดสอบ สามารถเป็นที่ยอมรับและใช้ได้จริงในบริษัทกรณีศึกษา

5. สรุป

การปรับปรุงขั้นตอนการทดสอบวงจรขยายสามารถลดเวลาในการทดสอบลง 58.8% จาก 1.81 วินาที/ชิ้น เหลือ 0.75 วินาที/ชิ้น ดังแสดงในตารางที่ 9 ซึ่งเวลาที่ลดลงเกิดจากการจัดลำดับกระบวนการและลดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า 170.190 x 10^{-3} วินาที จากการเพิ่มวงจรและทำการทดสอบพร้อมกัน 4 ชุด 463.876 x 10^{-3} วินาที และจากการลดรอบการวัดซ้ำ 430.56 x 10^{-3} วินาที โดยสามารถลดต้นทุนให้กับบริษัทประมาณ 60,000 ดอลล่าร์ต่อไตรมาส เนื่องด้วยปริมาณการผลิตวงจรขยาย LMX324 มีสูงถึง 5 แสนชิ้นต่อไตรมาส

ตารางที่ 9 เวลาที่ใช้การทดสอบผลิตภัณฑ์หลังปรับปรุง

	กระบวนการทดสอบ (มิลลิวินาที/ชิ้น)								
พารามิเตอร์	1.ตั้งค่าเริ่มต้น	2.ตั้งค่าไฟฟ้าสำหรับการทดสอบ	3.ตั้งค่าไฟฟ้าให้กับผลิตภัณฑ์	4ตั้งค่าการวัด	5.วัดค่าทางไฟฟ้า	6.รีเซ็ตค่าไฟฟ้า	7.คำนวณ	8.แสดงผล	เวลารวม
1.VOS	0.207	1.280	0.060	10.032	18.200	0.000	0.002	0.022	29.803
2.IBIAS	0.000	0.000	0.000	10.257	36.400	0.062	0.006	0.022	46.747
3.PSRR	0.207	11.344	5.060	10.064	83.200	0.124	0.002	0.022	110.023
4.CMRR	0.000	7.892	2.652	10.064	83.200	2.772	0.002	0.022	106.604
5.AVOL	0.000	6.488	5.060	10.244	83.200	0.664	0.002	0.022	105.680
6.Vout_Swing	0.000	1.133	10.000	17.312	83.200	10.310	0.004	0.022	121.980
7.Vout_Swing	0.000	1.133	10.652	17.312	83.200	10.310	0.004	0.022	122.632
8.IOUT	0.000	10.277	0.000	10.288	83.200	0.114	0.002	0.022	103.903
เวลารวม	0.414	39.547	33.484	95.572	553.800	24.356	0.024	0.176	**747.373**

เอกสารอ้างอิง

[1] ภาวิณี อาจปรุ. 2551. การลดเวลาสูญเปล่าในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์เบรกเกอร์. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] พิทธพนธ์ พิทักษ์. 2552. การศึกษากระบวนการผลิตเพื่อการเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษา อุตสาหกรรมล้างขวด. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์.

[3] Hamidreza Hashempour, Jos Dohmen, Bratislav Tasic, Bram Kruseman, Camelia Hora, Maikel van Beurden and Yizi Xing. 2011. Test time reduction in alnalogue/mixed-signal devices by defect oriented testing. Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition, 2011.

[4] Day, R. W., and G. P. Quinn. 1989. Comparisons of treatments after an analysis of variance in ecology, Ecological Monographs 59: 433-463.

[5] Levine, D. M. 2006. Statistics for six sigma green belts with MINITAB and JMP. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

[6] Montgomery, D. C. 2005. Introduction to statistical quality control. Hoboken, NJ: John Wiley.

การเพิ่มผลิตภาพในกระบวนการผลิตครกดินเผาโดยวิธีการปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

Productivity Improvement In Mortar Clay Process By Using Overall Equipment Effectiveness

นราธิป ภาวะรี[1*], สรวินท์ ปูคะภาค[2], อริยพงษ์ พลั่วพันธ์[3]
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

[1,3]Department of Industrial management, Faculty of Technology, Udonthani Rajabhat University
[2] Department of Mechanical Technology, Faculty of Technology, Udonthani Rajabhat University
Email: yellow_incubus@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มผลิตภาพประยุกต์เข้ากับกระบวนการผลิตแบบลีนในกระบวนการผลิตครกดินเผาเพื่อลดระยะเวลานำการผลิต (Product Lead time) โดยใช้การสร้างผังสายธารแห่งคุณค่า (Value System Mapping) ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลานำการผลิต โดยรวมจาก 29 วัน เหลือ 25 วัน และดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness; OEE) โดยการลดเวลาที่เครื่องจักรหยุด (Downtime Losses) ลงได้ 41.29% และค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นจากเดิม 21% สามารถลดต้นทุนแรงงานได้เท่ากับ 8,000 บาทต่อรอบการผลิต (3,000 ชิ้น)

คำสำคัญ ผลิตภาพ, ผังสายธารแห่งคุณค่า , การปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร,ความสูญเปล่า

Abstract

This paper is study and implement lean manufacturing concept in hardened clay mortar process to reduce lead time by using the Value System Mapping resulting in reduced product lead time from 40 days to 31 days and continue to improve performance overall equipment effectiveness (OEE) by reducing downtime losses up to 41.29% and the overall equipment effectiveness increase 21%, that can reduce labor cost 18,000 baht per production cycle (3,000 pieces)

Keywords : Productivity, Value System Mapping, Overall Equipment Effectiveness (OEE), Waste

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ทุกอุตสาหกรรมจึงมีการปรับตัวเตรียมความพร้อมในการเพิ่มศักยภาพการผลิต การเตรียมต้นทุนการดำเนินการ และการรับมือกับปัจจัยเสี่ยงต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น เพื่อให้สามารถแข่งขันและดำเนินธุรกิจต่อไปได้ ซึ่งทุกองค์กรหรือทุกบริษัทได้รับผลกระทบเช่นเดียวกันจำเป็นต้องพึ่งพาตนเองอย่างเต็มกำลังความสามารถ ด้วยการลดต้นทุน [1] และการเพิ่มประสิทธิภาพปรับปรุงการผลิตอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงเกิดการประยุกต์ใช้ปรัชญาและการพัฒนาระบบที่เหมาะสมกับองค์กรของตน โดยระบบที่มีความเหมาะสมและจะกล่าวถึงคือ ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing System) ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดของหลักการดึง (Pull System) และการผลิตแบบทันเวลาพอดี หรือ JIT (Just In Time) [2]

พบว่าประโยชน์ของระบบลีนสามารถพัฒนากลุ่มอุตสาหกรรมสินค้าในครัวเรือน กลุ่มอุตสาหกรรมสินค้า OTOP และกลุ่มอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่มีความต้องการได้ การดำเนินการครั้งนี้จึงได้นำระบบลีนมาประยุกต์ใช้กับการผลิตครกดินเผา ซึ่งครกดินเผานั้นจัดอยู่ในกลุ่มสินค้าอุตสาหกรรมท้องถิ่น เนื่องจากกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน และวัตถุดิบหาง่าย ซึ่งครกดินเผามีกระบวนการผลิต เริ่มจากกระบวนการบดดิน แช่ดิน และนวดดิน เพื่อนำมาขึ้นรูป จากนั้นดำเนินการปั้นดินให้เป็นรูปครกและเผาในเตาเผาที่มีอุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 วัน จากการศึกษากระบวนการผลิตครกดินเผาผู้วิจัยพบว่า ในขั้นตอนย่อยของกระบวนการผลิตมีความสูญเสียที่เกิดจากระยะเวลาการหยุดเครื่องจักรที่เกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องทราบค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Effective Efficiency: OEE) [3] ซึ่งสามารถปรับระบบการผลิตให้มีความต่อเนื่องและสามารถกำหนดผังสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping: VSM) แห่งอนาคตได้ ส่งผลให้โรงงานกรณีศึกษาสามารถลดต้นทุนด้านการบริหารจัดการ ต้นทุนแรงงานและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการของระบบลีน เป็นระบบการผลิตที่สามารถต้นทุน ลดความสูญเปล่า และลดความสูญเสียโอกาสทางการผลิตได้ ทั้งยังเป็นระบบที่สร้างมาตรฐานและแนวคิดสำคัญในการผลิตรวมถึงส่งเสริมการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาอีกด้วย [4] จากระบบการผลิตแบบลีนนี้มีแนวคิดให้เห็นและเข้าใจกระบวนการผลิตมากขึ้นและเป็นระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้เป็นอย่างยิ่งที่จะให้ระบบมีความยืดหยุ่น และลดเวลาตั้งแต่การสั่งซื้อจนถึงการขนส่งในกรณีที่เป็นการสั่งซื้ออย่างเร่งด่วนหลักการที่สำคัญ

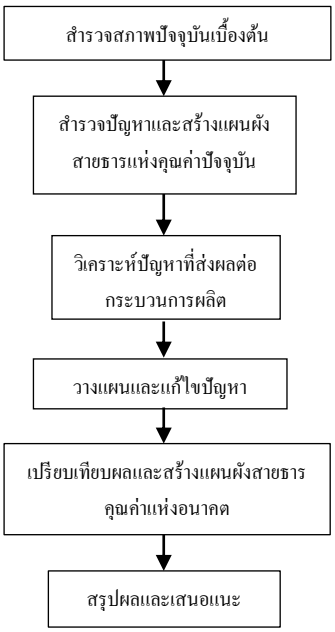
2.2 การวิเคราะห์สายธารคุณค่า คือชุดการกระทำที่เฉพาะเจาะจงที่ถูกกำหนดขึ้นมา โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อผลิตสินค้าที่เฉพาะเจาะจง โดยผ่านไปตามงานที่เกี่ยวกับการจัดการ 3 สิ่ง [5] คือ งานแก้ไขปัญหา (Problem Solve Task) ที่เริ่มจากแนวคิดผ่านการออกแบบไปจนถึงขั้นตอนการผลิต งานจัดการสารสนเทศ (Information Management Task) ที่เริ่มจากคำสั่งลูกค้า และวางแผนการผลิต ไปจนถึงการจัดส่งสินค้า งานแปลงสภาพเชิงกายภาพ (Physical Transformation Task) ที่เปลี่ยนจากวัตถุดิบไปเป็นสินค้าในมือลูกค้า การระบุสายธารแห่งคุณค่ามักจะเผยความสูญเปล่า โดยผ่านการวิเคราะห์แผนภาพสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping; VSM)

2.3 ค่าประสิทธิโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness; OEE) เป็นค่าที่ใช้วัดประสิทธิผลของเครื่องจักรโดยรวมสามารถคำนวณได้จากผลคูณของอัตราการใช้งานเครื่องจักร (Availability Rate; A) อัตราความเร็วในการผลิตของเครื่องจักร (Performance Rate; P) และอัตราของดีที่เครื่องจักรผลิตได้ (Quality Rate; Q) ดังแสดงในสมการที่ 1

$$OEE = A*P*Q \qquad (1)$$

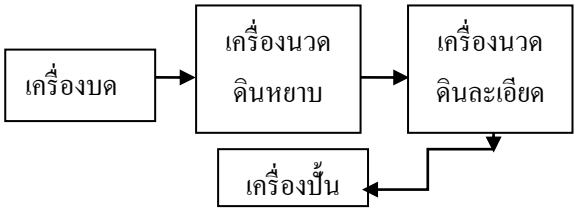
3. วิธีการดำเนินการ

ในการศึกษากระบวนการผลิตครกดินเผาของโรงงานมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังแสดงในรูปที่ 1

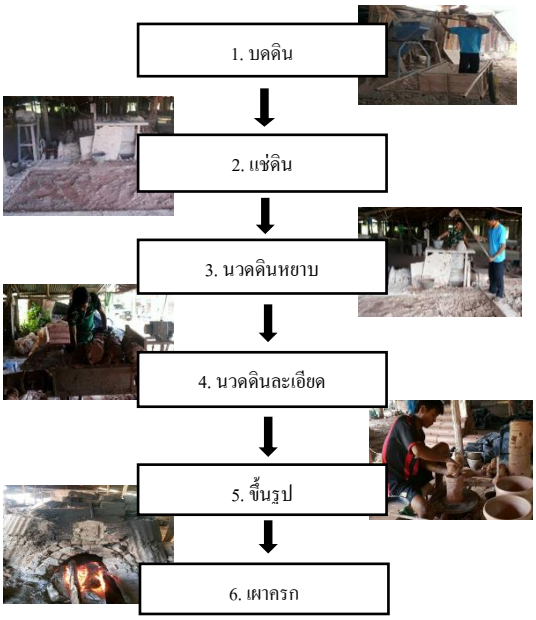


รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการ

ในปัจจุบันพบว่ารอบเวลาการผลิต (Takt Time) ของโรงงาน เท่ากับ 3,000 ชิ้นต่อ 40 วัน หรือเท่ากับ 10 ชิ้นต่อชั่วโมง โดยมีขั้นตอนการผลิตครกดินเผา ดังแสดงในรูปที่ 2 และ เมื่อพิจารณากระบวนการผลิตและเครื่องจักรในกระบวนการผลิต สามารถดำเนินการสร้างผังสายธารแห่งคุณค่าปัจจุบัน (VSM) ของโรงงาน โดยดำเนินการสร้างผังกิจกรรมทั้งหมดตั่งแต่ได้การสั่งซื้อวัตถุดิบ รับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ไปจนกระทั่งสินค้าส่งถึงมือลูกค้า โดย VSM เป็นเครื่องมือเพื่อช่วยให้มองเห็นความสูญเปล่าและปรับปรุงการดำเนินงานให้ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 3 เครื่องจักรในการผลิตครกดินเผา

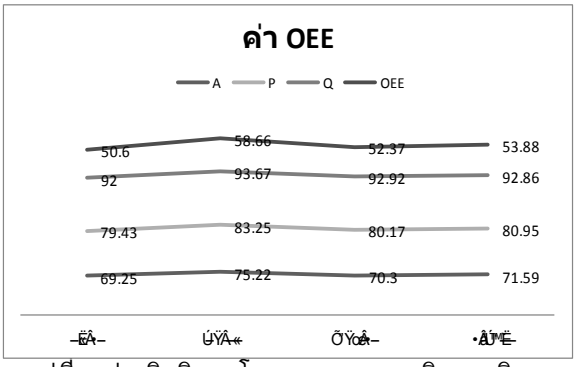


รูปที่ 2 ขั้นตอนกระบวนการผลิตครกดินเผา

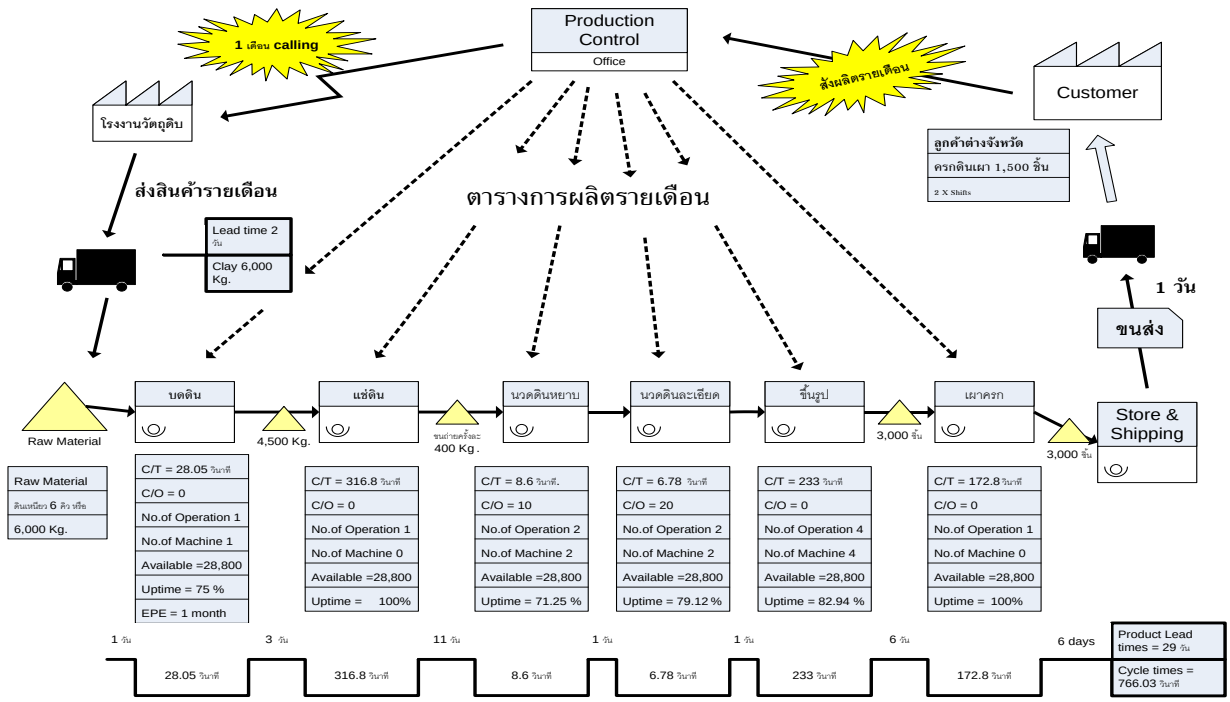
ในกระบวนการผลิตครกดินเผา เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตครกดินเผาจะเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ประกอบด้วยเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งการคำนวณหาประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องบดดินในกระบวนการผลิตครกดินเผา เก็บข้อมูลตั่งแต่เดือนมีนาคม 2557 ถึง เดือนพฤษภาคม 2557 และคำนวณค่า OEE ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องบดดิน

ค่า OEE	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	ค่าเฉลี่ย
A	69.25	75.22	70.30	71.59
P	79.43	83.25	80.17	80.95
Q	92	93.67	92.92	92.86
OEE	50.60	58.66	52.37	53.88

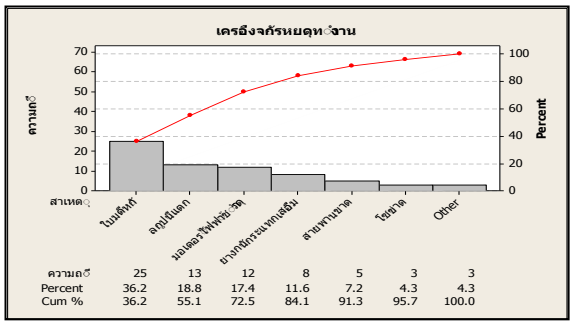


รูปที่ 4 ประสิทธิภาพโดยรวมของการผลิตครกดินเผา



รูปที่ 5 ผังสายธารคุณค่าในปัจจุบัน (Value Stream mapping:

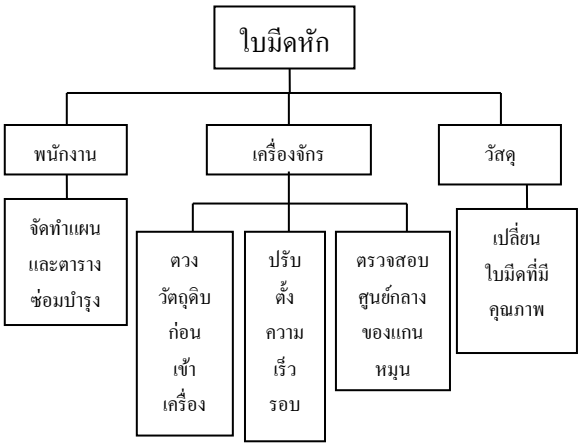
จากการดำเนินการผลิตครกดินเผาในปัจจุบันพบว่าค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องบดดินมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 53.88 เมื่อพิจารณาจากเวลาทำงาน ซึ่งปัญหาที่ส่งผลต่อการดำเนินงานทำให้ค่าประสิทธิโดยรวมของเครื่องจักรต่ำ (OEE) คือเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงาน (Downtime Losses)



รูปที่ 6 สาเหตุที่ส่งผลให้เครื่องบดดินหยุดทำงาน

จากรูปที่ 6 พบว่าสาเหตุใบมีดหักมีผลต่อการหยุดทำงานของเครื่องจักรมากที่สุด รองลงมาคือลูกปืนแตกและมอเตอร์ไฟฟ้าชำรุด ตามลำดับ เมื่อทราบชิ้นส่วนที่เป็นสาเหตุของความบกพร่องจึงดำเนินการแก้ไขปรับปรุงโดยใช้แผนภูมิต้นไม้ในการวิเคราะห์และการระดมสมอง (Brainstorming) ร่วมกับผู้ชำนาญการ [6]

โดยยกตัวอย่างการแก้ไขปัญหาใบมีดหัก ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนภูมิต้นไม้และมาตรการแก้ไขปัญหาใบมีดหัก

4. ผลการดำเนินงาน

จากมาตรการแก้ไขการปรับปรุงความสูญเสียจากการขัดข้องของเครื่องจักร โดยการลดความแปรผันของอายุการใช้งานชิ้นส่วนให้เป็นไปตามแผนการบำรุงรักษาและแก้ไขฟื้นฟูจุดผิดปกติของเครื่องจักรสามารถลดเวลาที่เครื่องจักรหยุดลงได้ 41.29% ยกตัวอย่างแสดงเวลาที่ลดลงของเครื่องบดดินในตารางที่ 2 และกำหนดให้มี

แผนการบำรุงรักษาตามระยะเวลาของเครื่องจักรและแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เวลาเครื่องจักรหยุด (เครื่องบดดิน) ก่อนและหลังปรับปรุง

	เวลารวม (นาที)	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
Downtime Losses	58	34

ตารางที่ 3 แผนการบำรุงรักษาตามระยะเวลาของเครื่องจักรและแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

รายการ	แผนการบำรุงรักษาตามระยะเวลา		แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	
	วิธีการปฏิบัติ	ระยะเวลา	วิธีการปฏิบัติ	ระยะเวลา
1.ใบมีด	ตั้งศูนย์และทำความสะอาด	ก่อนการทำงาน	ตรวจสอบหรือเปลี่ยน	ทุกๆ 500 กิโลกรัม
2. ลูกปืน	ตรวจสอบหรืออัดจาระบี	ก่อนการทำงาน	เปลี่ยน	ทุกๆ 500 กิโลกรัม
3. มอเตอร์	ตรวจสอบ	ทุกวัน	ตรวจสอบและซ่อมบำรุง	ทุกๆ 400 กิโลกรัม
4. โซ่/สายพาน	ตรวจสอบและทำความสะอาด	ทุกวัน	เปลี่ยน	ทุกๆ 6 เดือน

เมื่อดำเนินการแก้ไขเวลาเครื่องจักรหยุดตามแผนการบำรุงรักษา ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรเพิ่มขึ้น 21% ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า OEE เครื่องบดดินก่อนและหลังปรับปรุง

ค่า OEE	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
A	71.59	80.13
P	80.95	86.32
Q	92.86	94.40
OEE	53.88	65.26

5. สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตครกดินเผา พบว่าปัญหาที่พบเป็นเรื่องของความไม่ต่อเนื่องในการผลิตและระยะเวลาการผลิตที่ยาวนาน จากการดำเนินการปรับปรุงสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การปรับปรุงเวลาเครื่องจักรหยุดทำงาน (Downtime Losses) สามารถลดระยะเวลาเครื่องจักรหยุดทำงานได้ 41.29 %

2. ค่าประสิทธิโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม 53.88% เป็น 65.26% หรือเพิ่มขึ้นก่อนปรับปรุงร้อยละ 21 มีผลทำให้ Uptime เพิ่มในกระบวนการขึ้นรูประยะเวลาการผลิต (Product Lead time) จาก 6 วัน เป็น 5 วัน และในกระบวนการนวดดินละเอียดจาก 1 วัน เหลือ 0.5 วัน ตามลำดับ

3. พบว่าระยะเวลาการผลิตในขั้นตอนการหมักดินใช้ระยะเวลาการหมัก 2 วันต่อดิน 400 กิโลกรัม ทำให้มีความจำเป็นที่ต้องปรับปรุงเนื้อที่หมักดินได้ 600 กิโลกรัม หรือเพิ่มบ่อหมักอีก 2 บ่อทำให้ลดระยะเวลาการหมักดิน (4,500 กิโลกรัม) จาก 22.5 วัน เหลือ 15 วัน

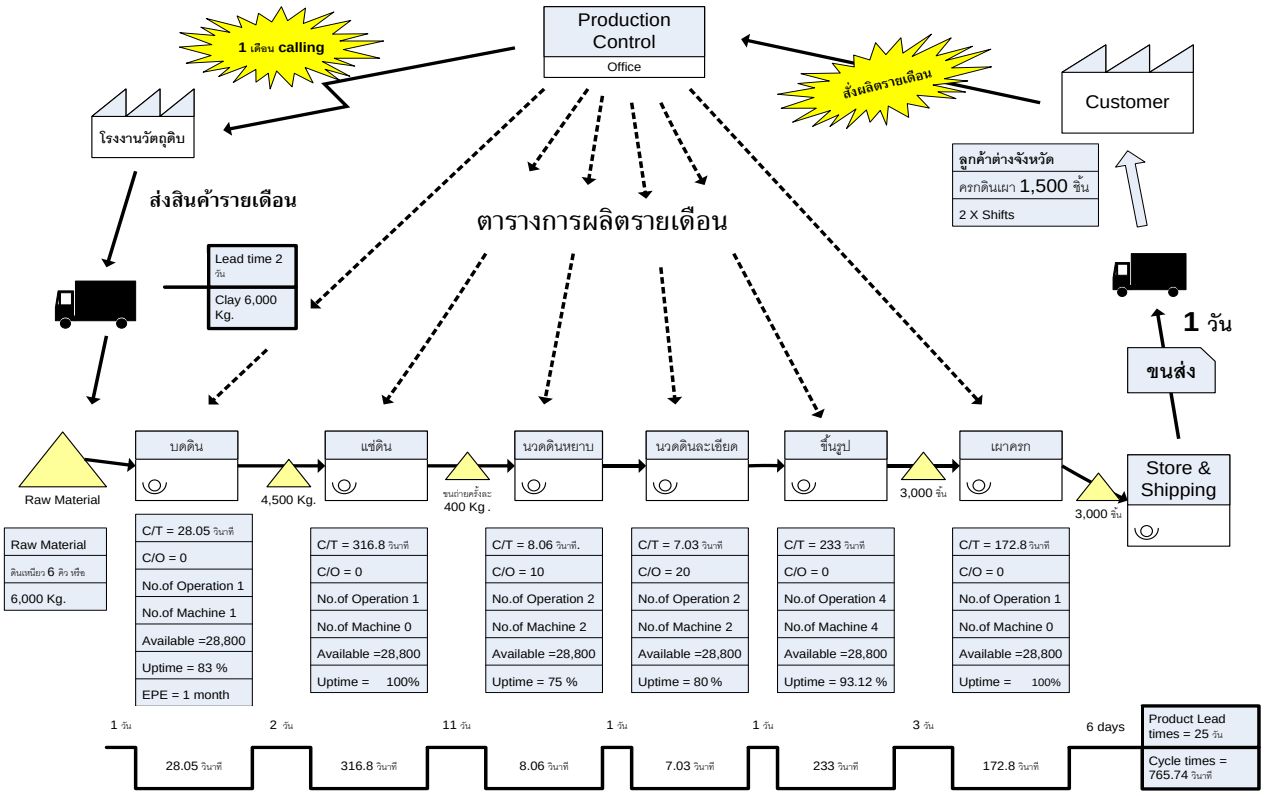
4. จากการดำเนินการปรับปรุงค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) และการสร้างผังสายธารคุณค่าแห่งอนาคตด้วยการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตลดระยะเวลานำการผลิต (Product Lead time) โดยรวมจาก 40 วัน เหลือ 31 วัน สามารถประหยัดค่าแรงงาน เท่ากับ 8,000 บาทต่อรอบการผลิต แสดงในผังสายธารคุณค่าแห่งอนาคตรูปที่ 8

ในการเสนอแนะจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. โรงงานกรณีศึกษาควรมีการปรับปรุงการผลิตเพิ่มเติม เช่น การจัดสมดุลสายการผลิต การปรับเรียบงานให้เท่ากัน การแยกกิจกรรมที่มีคุณค่า (Value added) กิจกรรมที่ไม่มีคุณค่าออก (Non-Value added) จากขั้นตอนการผลิต และการลดจำนวนชิ้นงานระหว่างทำ (Work in Process)

2. โรงงานกรณีศึกษาควรเพิ่มระบบการควบคุมด้วยสายตา (Visual control) เพื่อเป็นการสร้างเครื่องมือเพื่อช่วยในการแสดงให้พนักงานที่ทำงานได้ทราบถึงเป้าหมายต่างๆ รวมถึงทราบสถานะของสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่ต้องการจะแจ้งให้ทราบเกี่ยวกับการควบคุม คุณภาพจากการตรวจสอบของแผนกคุณภาพ โดยใช้แถบสีต่างๆ เป็นตัวแสดงสถานะในการเตือน

3. โรงงานกรณีศึกษาควรดำเนินงานตามหลักไคเซ็น (Kaizen) ทำให้พนักงานทุกๆ ระดับในกระบวนการผลิตมีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิต เป็นการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในองค์กรโดยทุกๆคนมีส่วนร่วมแสดงความคิดเห็น และสามารถนำความคิดไปสร้างเป็นมาตรฐานในการทำงาน



รูปที่ 8 ผังสายธารคุณค่าแห่งอนาคต (Future State Value Stream

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] K. Jundaeng, “Production and Operation Management”, Bangkok Vitti group, 2006.

[2] N. Buakaew, “Introduction to Lean”, Thai-Japan Technology Associate, 2006.

[3] B. Dal, P. Tugwell, and R. Greatbanks, “Overall Equipment Effectiveness as a Measure of Operational Improvement a Practical Analysis”. International Jornal of Operations & Production Managerment, Vol. 19, No.1, pp. 55-78, 2000.

[4] M. Rojprapakorn, “Toyota Production System”, Thai-Japan Technology Associate, 2007.

[5] S. Tangtivarat, “Implementation of lean concept to rubber – product production process”, thesis, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, 2012.

[6] N. Suntornnon, N. Siriwonpisarn and S. Suthammanon, “Productivity Improvement in Concrete Block Process”, Proceeding of the 18th Conference Industrial Engineering Networks, Pullman Hotel, Khonkaen, pp.177-182, 2009.

กลุ่มที่ 6

Materials Engineering

การศึกษาผลกระทบกระบวนการเซาะร่องด้วยลวดคาร์บอนและลวดไฟฟ้าบนวัสดุสเตนเลสเกรด 304

A STUDY EFFECT OF ARC AIR CARBON GOUGING AND CHEMFERTRODE ON STAINLESS STEEL GRADE 304

ภัทรพงษ์ สุระสังวาลย์[1*] , บวรโชค ผู้พัฒน์[2]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร
E-Mail: S.pattarapong@hotmail.com

Pattarapong Surasungwan[1*], Bovornchok Poopat[2]
Department of Production Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand
E-Mail: S.pattarapong@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาด้านงานผลิตในอุตสาหกรรมด้านงานเชื่อมซ่อมแซมงานสเตนเลส จะต้องมีการเซาะร่องด้วยการเจียรนัย(Grinding) เพื่อที่เอาส่วนที่มีรอยบกพร่องออกจากงานเชื่อมแล้วจึงเชื่อมซ่อมแซมตามมาตรฐานงานเชื่อม รวมไปถึงงานที่ต้องทำการเชื่อม 2 ด้านนั้น ก่อนทำการเชื่อมด้านที่ 2 จำเป็นต้องมีการเจียรนัย(Grinding) ก่อนการเชื่อม ซึ่งจะทำให้สูญเสียเวลาในการปฏิบัติงานและวัสดุสิ้นเปลืองเป็นอย่างมากและอาจจะส่งผลกระทบต่อตารางเวลาการส่งมอบงานในสถานการณ์เร่งด่วนได้ แต่การเซาะร่องด้วยลวดเก๊าจ์คาร์บอนบนวัสดุสเตนเลส นั้นจะมีปัญหาเกี่ยวกับการแพร่ของธาตุคาร์บอนลงไปในเนื้อชิ้นงานทำให้ส่งผลต่อคุณสมบัติทางโลหะวิทยาซึ่งจะเกิดการตกผลึกของโครเมี่ยมคาร์ไบด์ (Cr23C6) เมื่อได้รับความร้อนสูง แล้วเย็นตัวลงอย่างช้าๆจะทำให้โครเมี่ยมแยกตัวออกจากเหล็กแล้วบางส่วนไปรวมตัวกับคาร์บอน และตกผลึกอยู่ตามขอบเกรนเป็นโครเมี่ยมคาร์ไบด์ นำไปสู่การกัดกร่อนตามขอบเกรนได้ ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการเซาะร่องด้วยลวดเก๊าจ์คาร์บอน (ARC AIR CARBON GOUGING) และการเซาะร่องด้วยลวดเซาะร่องไฟฟ้า (CHAMFER TRODE) บนวัสดุสเตนเลส เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและการแพร่ของคาร์บอนลงไปในเนื้อวัสดุสเตนเลส ว่าลึกเท่าไรและทำให้รู้ว่าต้องเอาส่วนที่มีการปนเปื้อนออกกี่ไมครอนหลังจากผ่านการเซาะร่องด้วยวิธีดังกล่าว โดยทดลองกับวัสดุสเตนเลสเกรด 304 หนา 20 มิลิเมตร เซาะร่องด้วยลวดคาร์บอน (ARC AIR CARBON GOUGING) และด้วยลวดเซาะร่องไฟฟ้า (CHAMFER TRODE) ขนาด 4 มิลลิเมตร โดยปรับกระแสไฟฟ้าเป็น 3 ช่วงคือ 110A, 208A และ 330A ซึ่งเป็นช่วงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานปกติ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งในแต่และช่วงกระแสไฟฟ้า ความเร็วและองศาลวดถูกควบคุมด้วยช่างเชื่อมตามสภาพหน้างานจริง หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปขัดดูโครงสร้างและนำไปวิเคราะห์ส่องกราดตามแนวเส้นเพื่อจับธาตุคาร์บอน (Carbon Line Scan) ด้วยเครื่อง SEM-QUANTA จากการทดลองพบว่าการใช้ลวดเซาะร่องคาร์บอนจะมีการแพร่ของธาตุคาร์บอนลงไปในเนื้อวัสดุโดยจะเห็นเป็นแถบสีทึบตามขอบชิ้นงาน มีความลึกประมาณ 3-8 ไมครอน เช่นกันผลการทดลองด้วยลวดเซาะร่องไฟฟ้าจะพบบริเวณโครงสร้างเป็น 3 บริเวณคือ 1. ชั้นที่มีการปนเปื้อนจากลวดเซาะร่อง 2. บริเวณกระทบร้อนซึ่งมีโครงสร้างเกรนละเอียด 3. บริเวณเนื้อวัสดุสเตนเลสปกติ ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจึงมีผลต่อความลึกของการแพร่ของธาตุคาร์บอนลงไปในเนื้อวัสดุ

และมีผลต่อความกว้างของบริเวณกระทบร้อน เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะทำให้มีแนวโน้มของการแพร่คาร์บอนที่ลึกขึ้นและขนาดบริเวณกระทบร้อนจะกว้างขึ้นเช่นเดียวกัน

คำหลัก สเตนเลส การแพร่คาร์บอน เซาะร่อง

Abstract

In stainless welding industry, there is a problem during production cycle dealing with repairing finished stainless defects. Hence, grinding is applied in order to remove defects from the work piece and then weld and repair with welding measures. Another problem is with two-sided welding which second to-be-welded-side is to be undergone grinding procedure before being welded. This procedure can be time consuming and waste a lot of materials. As a result, the product submission date may be delayed. However, arc air carbon gouging on stainless can cause carbon contamination on to the product which will result in the crystallization of Cr23C6. When the product is highly heated, and being cooled down slowly, Chromium will be separated from the metal, and then combine with carbon. The result is Cr23C6 crystals on the edge of grain boundary which can be erosive.

This research is to study arc air carbon gouging and chamfertrode on stainless in order to analyze the Micro structure and the depth of carbon diffusion so that we know how to calculate the contaminated portion which is to be removed using the stated method. The study is conducted using 20 mm thick 304 stainless which is undergone arc air carbon gouging and chamfertrode with the size of 4 mm. The levels of current used are 110 A, 208 A, and 330 A which are the normal current range used in the industrials. The speed and angles of the wires are controlled by the welder in actual circumstance. The work pieces are then grinned. The finished work pieces are analyzed using Carbon Line Scan with SEM-Quanta. The experiments show that arc air carbon gouging allows carbon diffusion on material resulting in thick edge of 3-8 micron. Moreover, chamfertrode gives 3 results on each part of work piece: 1. a layer which is contaminated from gouging 2. Heat effected Zone which has fine grain structure, and 3. The normal stainless texture (Base Metal). Hence, current is a reason for the depth of carbon diffusion on to stainless material, and also the width of Heat Effected Zone (HAZ). When the current is increase, the depth of carbon diffusion and width of Heat Effected Zone (HAZ) are also larger.

Keywords: Stainless, Carbon diffusion, Arc Air Gouging, Chemfertrod

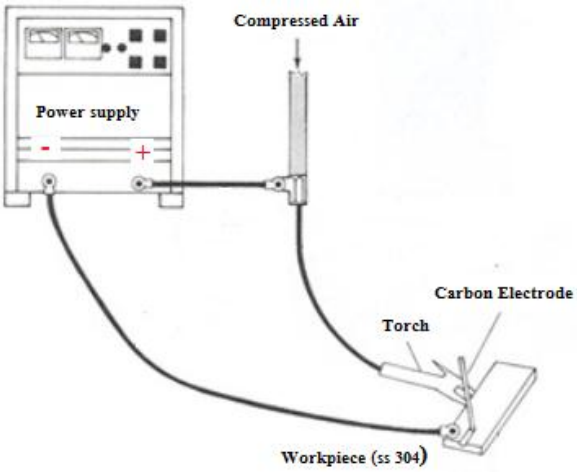
1. บทนำ

กระบวนการเซาะร่องด้วยลวดเก๊าจ์คาร์บอน (ARC AIR CARBON GOUGING) เป็นที่รู้จักกันในงานเชื่อมและการผลิตโครงสร้างเหล็ก ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมิคัล งานก่อสร้างโรงแยกแก๊ส งานก่อสร้างโรงไฟฟ้า งานก่อสร้างแท่นขุดเจาะน้ำมันเป็นต้น โดยการอาร์คจะเกิดขึ้นที่ปลายระหว่างแท่งคาร์บอนกับชิ้นงานจึงทำให้เนื้อโลหะหลอมละลาย และถูกเป่าออกด้วยแรงดันอากาศจากเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor)ก็จะเกิดเป็นร่อง ซึ่งเป็นกระบวนการใช้กับเครื่องเชื่อมไฟฟ้าทั่วไปและประหยัดเวลาในการทำงาน แต่ไม่เหมาะกับการใช้งานบนวัสดุสเตนเลสจากแท่งคาร์บอนจะมีส่วนประกอบคาร์บอนเป็นหลักทำให้เกิดการตกผลึกของโครเมี่ยมคาร์ไบด์ (Cr23C6) เนื่องจากเหล็กกล้าสเตนเลสในกลุ่มนี้ที่อุณภูมิปกติเป็นโครงออสเทนไนท์ ซึ่งไม่เสถียรที่อุณภูมิห้อง เมื่อได้รับความร้อนสูงแล้วเย็นตัวลงอย่างช้าๆ จะทำให้โครเมี่ยมแยกตัวออกจากเหล็กแล้วบางส่วนไปรวมตัวกับคาร์บอน และตกผลึกอยู่ตามขอบเกรนเป็นโครเมี่ยมคาร์ไบด์ นำไปสู่การกัดกร่อนตามขอบเกรน โดยทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมการผลิตและงานก่อสร้างจะทำการ

เซาะร่องโดยเอาเนื้อโลหะออกด้วยเครื่องหินเจีย ซึ่งเสียเวลาและสิ้นเปลืองทรัพยากร ซึ่งมีการศึกษาการแพร่ของธาตุคาร์บอนลงไปในเนื้อวัสดุสะแตนเลส ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการแพร่ของธาตุคาร์บอนในวัสดุสเตนเลสจากนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุโครเมี่ยม [1]. สเตนเลส ในกลุ่มโครงสร้างออสเทนนิติกมีการตอบสนองต่อการเกิด Carburizing มากกว่าสเตนเลสในกลุ่มของมีโครางสร้างแบบมาเทนสิติกที่ อุณหภูมิต่ำ [2]. และการแพร่ของธาตุคาร์บอนและการ decarburizing มีส่วนสำคัญในการตกผลึก M23C6 and G-phase [3] จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังไม่ยังมีการศึกษาเกี่ยวการเซาะร่องด้วยลวดเก๊าจ์คาร์บอนบนวัสดุสเตนเลส ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเซาะร่องด้วยลวดเก๊าจ์คาร์บอน (ARC AIR CARBON GOUGING) และการเซาะร่องด้วยลวดเซาะร่องไฟฟ้า (CHAMFER TRODE) บนวัสดุสเตนเลสจากเพื่อเปรียบเทียบ วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและศึกษาการแพร่ของคาร์บอนลงไปในเนื้อวัสดุสเตนเลสจากว่าแพร่ลงลึกได้เท่าไรและต้องเอาส่วนที่มีการปนเปื้อนออกกี่ไมครอนหลังจากผ่านการเซาะร่องด้วยวิธีดังกล่าวมา

1. Experimental procedure

การทดลองนี้ได้ทำการเตรียมเครื่องมือและชิ้นงานดังรูปที่ 1 ใช้ชิ้นงานทดลอง (Work piece SS 304) เป็นวัสดุสแตนเลสเกรด 304 มีความกว้าง 279 มิลลิเมตร ยาว 288 หนา 20 มิลลิเมตรมีอุณหภูมิชิ้นงานขณะทดลอง 32 องศาเซลเซียสและส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า (DC Welding Generator) โดยต่อหัวเก๊าจ์เข้ากับขั้วบวก(Electrode Positive) และสายกราวด์กับฝั่งขั้วลบ ซึ่งใช้ลวดเซาะร่องเก๊าจ์ขนาด 4 มิลลิเมตร

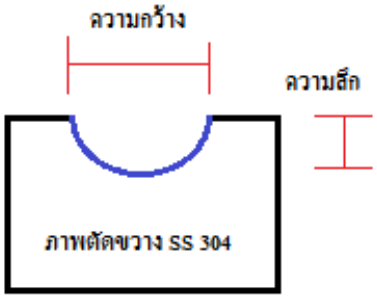


รูปที่ 1 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง(http://www.thermal-mech.com/knowledge.php?id=41&lang=en)

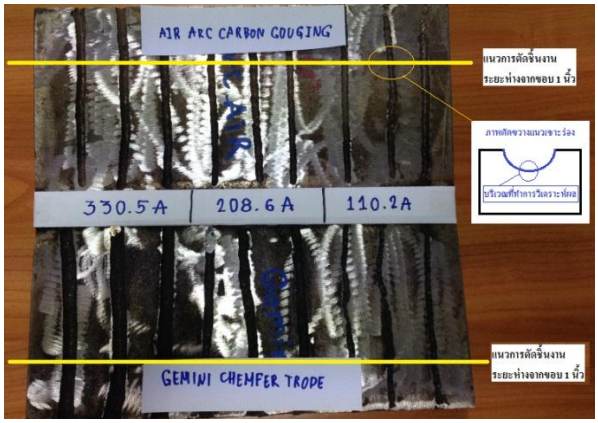
ตารางที่ 1 แสดงค่าส่วนผสมทางเคมีของวัสดุสเตนเลสเกรด 304

element	C	Si	Mn	P	S
%	0.049	0.48	1.11	0.036	0.003
element	c	Cr	Mo	N	Cu
%	8.06	18.21	0.09	0.038	0.24

การทดลองเป็นแบ่งสองชุดคือ 1. กระบวนการเซาะร่องด้วยลวดเก๊าจ์คาร์บอน ขนาด 4 มิลลิเมตร โดยทดลองที่กระแสไฟฟ้า 3 ค่าคือ 110A 208A และ 330A ซึ่งเป็นช่วงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานตามหน้างานจริง ความเร็วในการเซาะร่องประมาน 2.8 มม/วินาทีและองศาจะถูกควบคุมโดยช่างเชื่อมประมาณ 30 องศา โดยแต่ละกระแสไฟฟ้าจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง 2.กระบวนการเซาะร่องด้วยลวดเซาะร่องไฟฟ้าขนาด 4 มิลลิเมตร โดยทดลองที่กระแสไฟฟ้า 3 ค่าเช่นกันคือ 110A 208A และ 330A ซึ่งเป็นช่วงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานตามหน้างานจริง โดยความเร็วที่ใช้ในการการเซาะร่องประมาน และ 5.44 มม/วินาทีและองศาจะถูกควบคุมโดยช่างเชื่อมประมาณ 15 องศา โดยแต่ละกระแสไฟฟ้าจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งเช่นกัน หลังจากทำการทดลองเสร็จแล้วทำการวัดขนาดร่องตามรูปที่ 2 แล้วนำชิ้นงานไปตัดขวางกับแนวเซาะร่องตามรูปที่ 3 หลังจากนั้นนำชิ้นงานทดสอบไปขัดละเอียดและกัดกรดเพื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและนำไปวิเคราะห์ส่องกราดตามแนวเส้นเพื่อจับธาตุคาร์บอนต่อไป



รูปที่ 2 รูปภาพตัดขวางแสดงถึงวิธีการวัดขนาดร่องของชิ้นงานทดลอง



รูปที่ 3 ตัวอย่างชิ้นแสดงถึงทิศทางการตัดชิ้นงานเพื่อนำไปวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและวิเคราะห์ส่องกราดตามแนวเส้น

2. Results and discussions

ผลจากทดลองที่ 1 และ 2 จะได้ชิ้นงานตามรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าการทดลองที่ 1 การเซาะร่องด้วยลวดเก๊าจ์คาร์บอนจะมีแนวค่อนข้างสม่ำเสมอมากกว่าการทดลองที่ 2 ด้วยการเซาะร่องด้วยลวดไฟฟ้า จากตารางที่ 2 ที่กระแสไฟฟ้า 110A พบว่าการทดลองที่ 1 จะมีความลึกและความกว้างมากกว่าทดลองที่ 2 เพราะว่าที่กระแส 110A การเซาะร่องด้วยลวดคาร์บอนจะมีการอาร์คได้สม่ำเสมอมากกว่า และเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าขึ้นไปที่ 208 A และ 330A จะพบว่าการทดลองที่ 2 จะมีความลึกและกว้างมากกว่าการทดลองที่ 1 เพราะขนาดความโตของลวดเซาะร่องไฟฟ้ารวมกับขนาดของฟลั๊กจะมีขนาดที่โตกว่าขนาดของลวดเซาะร่องคาร์บอน แต่อย่างไรก็ตามการทดลองที่ 1 จะมีแนวร่องที่ค่อนข้างสะอาดมากกว่าการ

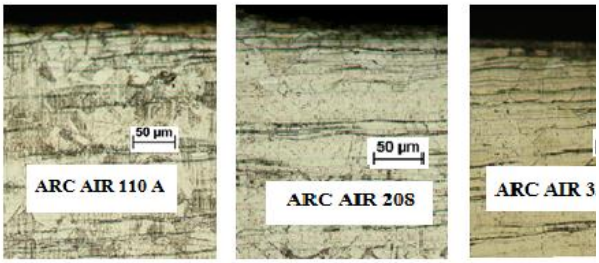
ทดลองที่ 2

รูปที่ 4 ชิ้นงานทดลองหลังจากผ่านกระบวนการ1. เซาะร่องด้วยลวดคาร์บอนที่กระแสไฟฟ้า 110A, 208 A และ 330 A 2.เซาะร่องด้วยลวดเซาะไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 110A, 208 A และ 330 A

ตารางที่ 2 แสดงค่าการวัดความลึกและความกว้างของแนวร่อง

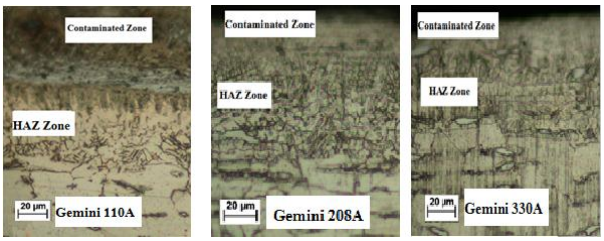
	Arc Air Gouging(Amp)			Chemfertrode (Amp)		
	110	208	330	110	208	330
ความลึก (มม)	3	4	5	1	4	6
ความกว้าง (มม)	4	5	6	3	7	9

จากการทดลองที่ 1 นำชิ้นงานที่ได้จากการตัดตามรูปที่ 3 นำไปขัดเพื่อดูโครงสร้างจุลภาคดังรูปที่ 5 จะพบจะพบเห็นโครงสร้างออสเทนนิติกซึ่งเป็นโครงสร้างปกติของวัสดุสแตนเลสเกรด 304 แต่จะเห็นขอบเป็นแถบสีดำชั้นบางๆกว่า 25ไมครอน ซึ่งน่าจะเป็นคาร์บอนส่วนเกินที่ได้มาจากลวดเซาะร่องคาร์บอน



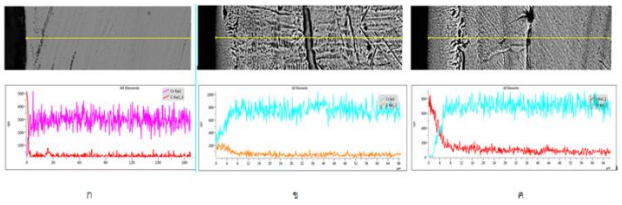
รูปที่ 5 โครงสร้างทางจุลภาคที่ได้จากการเซาะร่องด้วยลวดคาร์บอนที่กระแสไฟฟ้า 110A, 208A และ 330A ตามลำดับ

จากการทดลองที่ 2 นำชิ้นงานที่ได้จากการตัดตามรูปที่ 3 นำไปขัดเพื่อดูโครงสร้างจุลภาคดังรูปที่ 6 พบว่าโครงสร้างแบ่งเป็น 3 บริเวณ คือ 1. บริเวณที่มีการปนเปื้อน(Contaminated Zone) จากลวดเซาะร่องไฟฟ้า 2. บริเวณกระทบร้อน (HAZ) ซึ่งมีขนาดเกรนที่ละเอียดซึ่งเทียบกับบริเวณเนื้อโลหะ 3. บริเวณเนื้อโลหะสะแตสเลสปกติ (Base metal)



รูปที่ 6 โครงสร้างทางจุลภาคที่ได้จากกระบวนเซาะร่องด้วยลวดไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 110A, 208A และ 330A ตามลำดับ

จากการทดลองที่ 1 หลังจากวิเคราะห์ดูโครงสร้างจุลภาคการได้นำชิ้นงานไปทำการวิเคราะห์แบบส่องกราดตามแนวเส้น (line scan analysis) โดยจับธาตุคาร์บอนและธาตุโครเมี่ยมได้ดังรูปที่ 7 วิเคราะห์ส่องกราดตามแนวเส้นบนชิ้นงานการทดสอบที่ผ่านกระบวนเซาะร่องด้วยลวดคาร์บอนแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าจะทำให้การแพร่ของคาร์บอนลงไปได้ลึกขึ้นโดยวัดจากขอบดังตารางที่ 3 และปริมาณของโครเมี่ยมจะแปรผกผันกับปริมาณของคาร์บอนตามรูปที่ 7

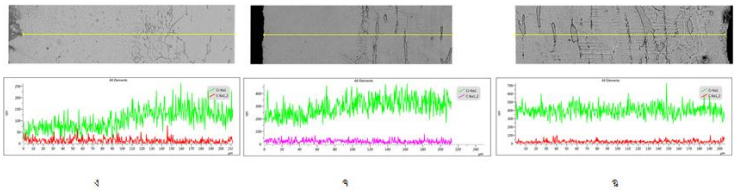


รูปที่ 7 การวิเคราะห์ส่องกราดตามแนวเส้นบนชิ้นงานการทดสอบจากการเซาะร่องด้วยลวดลวดคาร์บอน ก. กระแสไฟฟ้า 110 A ข. กระแสไฟฟ้า 208 A และ ค. กระแสไฟฟ้า 330 A

ตารางที่ 3 แสดงค่าความลึกที่ได้จากการวิเคราะห์ส่องกราดตามแนวเส้น (line scan analysis) จากการทดลองที่ 1

การวิเคราะห์ส่องกราดตามแนวเส้น	ทดลองด้วยลวดคาร์บอน(ความลึกจากผิว ไมครอน)		
	110A	208A	330A
คาร์บอน	3	5	8

จากการทดลองที่ 2 หลังจากวิเคราะห์ดูโครงสร้างจุลภาคการได้นำชิ้นงานไปทำการวิเคราะห์แบบส่องกราดตามแนวเส้น (line scan analysis) โดยจับธาตุคาร์บอนและธาตุโครเมี่ยมได้ดังรูปที่ 8 โดยค่าระดับความลึกดังตารางที่ 4 พบว่าเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าจะทำให้ความกว้างบริเวณกระทบร้อนมีความกว้างมากขึ้น แต่บริเวณที่ 1 คือบริเวณที่มีการปนเปื้อนจากฟลักซ์จะแปรผกพันคือเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าพื้นที่บริเวณนี้จะลดลงเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นสามารถหลอมฟลักซ์ได้ดีกว่าจึงทำให้เหลือบริเวณนี้น้อยลงที่กระไฟฟ้าสูงขึ้น



รูปที่ 8 การวิเคราะห์ส่องกราดตามแนวเส้นบนชิ้นงานการทดสอบจากการเซาะร่องด้วยลวดไฟฟ้า ง. กระแสไฟฟ้า 110 A จ. กระแสไฟฟ้า 208 A และ ฉ. กระแสไฟฟ้า 330 A

ตารางที่ 4 แสดงค่าความลึกที่ได้จากการวิเคราะห์ส่องกราดตามแนวเส้น (line scan analysis) จากการทดลองที่ 2

การวิเคราะห์ส่องกราดตามแนวเส้น	ทดลองด้วยลวดเซาะร่องไฟฟ้า (ความลึก ไมครอน)		
	110A	208A	330A
บริเวณที่ 1 มีการปนเปื้อนจากฟลั๊ก	112	100	20
บริเวณที่ 2 ผลกระทบร้อน	46	70	90
ความลึกรวมจนถึงบริเวณที่ 3 (บริเวณที่ 1 + บริเวณที่ 2)	158	170	110

3. Conclusion

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการแพร่ของคาร์บอนบนวัสดุสแตนเลสเกรด 304 ที่ได้มาจากการการทดลองที่ 1 เซาะร่องด้วยลวดคาร์บอน (Arc Air Carbon Gouging) และการทดลองที่ 2 เซาะร่องด้วยลวดไฟฟ้า (Chemfertrode)โดยทดลองที่กระแสไฟฟ้า 110A, 208A และ 330A

ผลลัพท์พบว่าการทดลองที่ 1 กระแสไฟฟ้ามีผลต่อการแพร่คาร์บอนลงไปในเนื้อวัสดุสแตสเลสซึ่งเมื่อเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าจะทำให้การแพร่คาร์บอนลงไปในเนื้อวัสดุมากขึ้นและผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคก็จะสังเกตุเห็นแถบสีดำเป็นชั้นบางๆ ตามขอบชิ้นงาน

การทดลองที่ 2 พบว่าการเซาะร่องโดยใช้ลวดไฟฟ้า (Chemfertrode) จะโครงสร้าง 3 บริเวณคือ 1. บริเวณที่มีการปนเปื้อนจากฟลั๊กของลวดเซาะร่องไฟฟ้า 2. บริเวณเกรนละเอียดเป็นบริเวณที่มีผลกระทบร้อน 3. บริเวณโครงสร้างเนื้อวัสดุปกติ (ออสเทนนิติก) ซึ่งกระแสไฟฟ้าจะทำให้พื้นที่แต่ละบริเวณแตกต่างกัน บริเวณที่ 1 ลดลงและบริเวณที่ 2 เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า การทดลองนี้สามารถนำค่าที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้กับการนำกระบวนเซาะร่องด้วยลวดคาร์บอนและการเซาะร่องด้วยลวดไฟฟ้ากับวัสดุสแตนเลสได้ โดยเอาเนื้อชั้นบางๆที่ปนเปื้อนคาร์บอนและปนเปื้อนจากฟลั๊กของลวดเซาะร่องไฟฟ้าได้โดยเจียรออก ซึ่งทำให้ประหยัดเวลาและทรัพยากรได้

4. References

[1] R.P AGARWALA, M.C. NAIK, M.S. ANAND and A.R.PUAL, DIFFUSION OF CARBON IN STAINLESS STEEL, Bhabha Atomic Research Center, Chemistry Division, Trombay, Bombay-85, India, Received 7 July 1969 and in Revised from 19 January 1970

[2] D.B Lewis, J. Cawley and A. Matthews, Low-temperature plasma carbon diffusion treatments for stainless steels, Material Research Institute, Sheffield Hallam University, Pond Street, Sheffield S1 IWB (UK)

[3] Sadegh Borjali, Saeed Reza Allahkaram*, Hamed Khosravi, Effect of working temperature and carbon diffusion on the microstructure of high pressure heat-resistant stainless steel tubes used in pyrolysis furnaces during service condition, School of Metallurgy and Materials Engineering, University College of Engineering, University of Tehran, P.O. Box 11155-4563, Tehran, Iran, 29 July 2011

การศึกษาสมบัติทางกลของพอลิเอทีลีนชนิดนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีโครงสร้างร่างแหโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ

Mechanical Properties of Crosslinked Recycle High Density Polyethylene by statistical analysis

อนุชิต คงฤทธิ์[1]*, จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[2]
[1]โปรแกรมวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 E-mail: anuchit_nrru@hotmail.com*
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

AnuchitKhongrit[1]*, Jittiwat Nithikarnjanatharn[2]
[1]Industrial Management Program, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Muang, Nakhon Ratchasima, 30000 E-mail: anuchit_nrru@hotmail.com*
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakhon Ratchasima, 30000

บทคัดย่อ

การศึกษาสมบัติทางกลของพอลิเอทีลีนชนิดนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยเทคนิคการเชื่อมขวางสายโซ่ให้มีโครงสร้างร่างแห เป็นการใช้วิธีทางสถิติเพื่อวิเคราะห์และศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารควบคู่ไซเลนและระยะเวลาในการอบไอน้ำ กระบวนการกราฟระหว่างพอลิเอทีลีนชนิดนำกลับมาใช้ใหม่กับสารควบคู่ใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่แบบหมุนในทิศทางเดียวกัน การเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติโดยกระบวนการกดอัดร้อน หลังจากนั้นนำชิ้นงานทดสอบใส่ในตู้อบไอน้ำในเวลาที่ต่างกัน การทดสอบสมบัติได้แก่ สมบัติความต้านทานแรงดึง, สมบัติต้านทานแรงกระแทก และอัตราการหลอมไหลของพอลิเอทีลีนชนิดนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีโครงสร้างร่างแห จากผลการทดลองพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นและเปอร์เซ็นการยืดตัวของพอลิเอทีลีนชนิดนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีโครงสร้างร่างแหมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณสารควบคู่และเวลาการอบไอน้ำ ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกสูงขึ้นอย่างมากเมื่อเพิ่มปริมาณสารควบคู่แต่เมื่อเพิ่มเวลาการอบไอน้ำค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกต่ำลงเล็กน้อย อัตราการหลอมไหลมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารควบคู่และเวลาในการอบไอน้ำ ซึ่งจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่า ตัวแปรทั้งสองนี้ส่งผลต่อสมบัติของพอลิเอทีลีนชนิดนำกลับมาใช้ใหม่อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติกับพอลิเอทีลีน ที่เป็นเม็ดใหม่พบว่าพอลิเอทีลีนชนิดนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีโครงสร้างร่างแหมีค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกใกล้เคียงกัน แต่ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นและเปอร์เซ็นการยืดตัวยังต่ำกว่าเม็ดใหม่

คำหลัก พอลิเอทีลีนชนิดนำกลับมาใช้ใหม่, การเชื่อมขวางสายโซ่ให้มีโครงสร้างร่างแห, สมบัติเชิงกล

Abstract

This study aims at investigate the mechanical properties of Crosslinked Recycle-high density polyethylene (Crosslinked R-HDPE) via Silane-moisture crosslink technique. Effect of silane crosslink

agent content and moisture crosslink period on properties of Crosslinked R-HDPE was evaluate by statistical analysis. R-HDPE/silane grafting prepared by melt compounding using a co-rotating twin screw extruder, compression molded was used to prepared sample. Subsequently the samples were stored in sauna incubation with difference period. Mechanical properties such Tensile strength, Young's Modulus, %elongation and Izod impact resistance was investigated. The results showed that tensile strength slightly improved with decreasing in modulus and %elongation while increase silane content and sauna period. Impact strength was significantly improved with adding silane, however R-HDPE crosslink demonstrates brittle behavior with raise sauna period. Melt flow rate of R-HDPE crosslink was diminish while increase silane content and sauna period. ANOVA test show that effect of silane content and sauna period were significantly to properties of R-HDPE crosslink. Compared with virgin HDPE, R-HDPE crosslink has superior in tensile strength and impact resistant but not for modulus and %elongation.

Keywords: Recycle-high density polyethylene, Silane-moisture crosslink, mechanical properties

1. บทนำ

จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม พบว่าในปี 2557 ดัชนีผลผลิตอุตสาหกรรมพลาสติก และดัชนีส่งสินค้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้องการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกสูงเพิ่มขึ้น[1] โดยราคาของเม็ดพลาสติกมีความผันผวนตามสภาวะทางเศรษฐกิจและราคาน้ำมัน ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น ทำให้แต่ละองค์กรแสวงหาวิธีในการลดค่าใช้จ่ายโดยเฉพาะวัตถุดิบจึงมีการนำเม็ดพลาสติกที่ได้จากการรีไซเคิลมาใช้เป็นวัตถุดิบ เนื่องจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลจะมีราคาถูกกว่าเม็ดพลาสติกใหม่[2] อีกทั้งในปัจจุบันอุตสาหกรรมรีไซเคิลยังมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากความต้องการใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลยังเติบโตได้ดี เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ อย่างไรก็ดีปริมาณการใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลผสมกับเม็ดพลาสติกใหม่สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์มีสัดส่วนผสมที่เหมาะสมประมาณร้อยละ 35 – 40[3] เนื่องจากหากมีการผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่มากกว่านี้จะทำให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติด้านการใช้งานลดลง

การเชื่อมขวางสายโซ่ของพอลิเอทิลีน (XLPE) เป็นกระบวนการที่สร้างพันธะระหว่างโมเลกุลของพอลิเอทิลีนให้เป็นโครงข่ายสามมิติขนาดใหญ่ (3-Dimensional macro-molecular structure) คล้ายกันกับการเกิดโครงข่ายของพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซ็ตติ้ง ซึ่งเป็นการเกิดโครงสร้างร่างแหภายในโมเลกุล การเชื่อมขวางสายโซ่พอลิเมอร์เพื่อให้เกิดโคราสร้างร่างแหด้วยพันธะไซลอกเซนมีกระบวนการทางเคมีอยู่สองขั้นตอน ในขั้นตอนแรก คือขั้นตอนของทำปฏิกิริยากราฟท์ไซเลนกับสายโซ่พอลิเมอร์ ขั้นต่อมาคือการเชื่อมขวางสายโซ่ของพอลิเมอร์ที่กราฟท์ด้วยไซเลนผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยความชื้นของน้ำ โดยกระบวนการควบแน่นก่อตัวขึ้นจากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เชื่อมต่อกันโดยด้วยพันธะไซล๊อกเซน (Si-O-Si) เป็นโครงสร้างร่างแห โดยผลที่ได้จากการเชื่อมขวางสายโซ่ของพอลิเอทิลีนสามารถเพิ่มสมบัติทางกลบางประการได้แก่ สมบัติการต้านทานแรงดึง หรือการใช้งานที่อุณหภูมิสูง, ความต้านทานการคืบสูงขึ้น ตลอดจนความทนทานต่อสารเคมีและตัวทำละลาย[4-5] ซึ่งเทคนิคนี้มีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้แก่ อุตสาหกรรมหุ้มฉนวนสายไฟและสายไฟแรงสูง, ท่อน้ำ ระบบท่อน้ำร้อน หรือแม้กระทั่งวัสดุประกอบของไม้และพลาสติก โดยจากการศึกษาพบว่าตัวแปรในกระบวนการเชื่อมขวางสายโซ่ของพอลิเอทิลีนได้แก่ ปริมาณสารควบคู่ไซเลนและ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางสายโซ่ [6-8]

ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพลาสติกรีไซเคิลโดยพลาสติกที่เลือกทำการศึกษาคือพอลิเอทีลีนความหนาแน่นสูง (High-density polyethylene, HDPE) ที่ได้จากการรีไซเคิลของขวดพลาสติกบรรจุภัณฑ์ โดยการปรับปรุงสมบัติของพอลิเอทีลีนความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่นี้ใช้กระบวนการเชื่อมขวางสายโซ่โดยไซเลนและไอน้ำ (Silane-Moisture Crosslink Technique) ซึ่งการวิจัยนี้

เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อให้ทราบอิทธิพลของปริมาณสารไซเลนและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางสายโซ่โดยกระบวนการอบไอน้ำ เป็นการใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวที่ส่งผลต่อสมบัติของพอลิเอทีลีนความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่

2. กระบวนการศึกษาวิจัย

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

พอลิเอทีลีนความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ดัชนีการไหลที่ 0.29 กรัม/10นาที (ที่190°C/2.16kg) จากบริษัทโคราชทีอาร์ซี พลาสติก จำกัด สารริเริ่มปฏิกิริยาไดคิลมิลเปอร์ออกไซด์ สารควบคู่ปฏิกิริยาชนิดไวนิลไซเลนและสารเสริมเสถียรภาพจากบริษัท ออฟติโมลเทค จำกัด

2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 1 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

ตัวแบบทดลอง	ชื่อสูตร	ปริมาณสารไซเลน (phr)	ระยะเวลาอบไอน้ำ (ชั่วโมง)
1	r-HDPE/2/24	2	24
2	r-HDPE/2/72	2	72
3	r-HDPE/5/24	5	24
4	r-HDPE/5/72	5	72

การเตรียมชิ้นงานทดสอบเริ่มต้นจากการนำเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ผสมกับสารริเริ่มปฏิกิริยาไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์และสารเสริมเสถียรภาพที่ 0.1 phr และเติมสารไวนิลไตรเมททอกซี่ไซเลน (VTMS) ตามปริมาณที่กำหนด จากนั้นเข้าสู่กระบวนการกราฟ (grafting) ระหว่างพอลิเอทีลีนชนิดนำกลับมาใช้ใหม่กับสารควบคู่ ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่แบบหมุนในทิศทางเดียวกัน (co-rotating twin screw extruder) ที่มี L/D Ratio เท่ากับ 20 ใช้อุณหภูมิในการผสม 180°C และตัดออกมาเป็นเม็ด ต่อมาทำการขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐานการทดสอบสมบัติของ ASTM ด้วยกระบวนการกดอัดร้อน (Compression) ที่อุณหภูมิ 200°C และนำชิ้นงานที่ได้เข้าสู่กระบวนการเชื่อมขวางสายโซ่ (Crosslink) ในตู้อบไอน้ำที่อุณหภูมิ 70°C เป็นระยะเวลาต่างๆ โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาคือปริมาณสารควบคู่และระยะเวลาในการอบไอน้ำสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

2.3 การทดสอบสมบัติและการวิเคราะห์ผล

การทดสอบสมบัติทางกลได้แก่ ความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) โมดูลัสความยืดหยุ่น (Tensile Modulus) ร้อยละของการยืดตัว (%Elongation) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D638 Type I, การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด (Impact strength) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D256, การทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยการทดสอบดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index, MFI) ตามมาตรฐาน ASTM D1238 ซึ่งผลการทดสอบที่ได้นี้นำมาวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของพอลิเอทีลีนชนิดนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีโครงสร้างร่างแห

3 ผลการทดลอง

ผลการทดสอบดัชนีการหลอมไหล, ความทนต่อแรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น ร้อยละของการยืดตัวและความต้านทานต่อแรงกระแทก สามารถแสดงได้ดังนี้

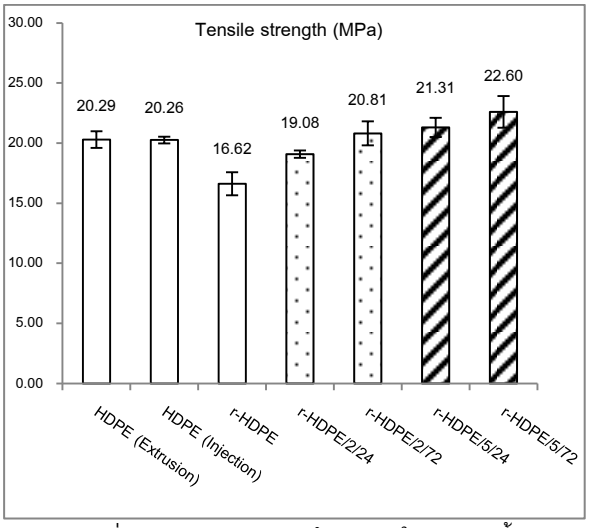
ตารางที่ 2 ค่าอัตราการหลอมไหลในงานวิจัยนี้

ตัวแบบทดลอง	ชื่อสูตร	อัตราการหลอมไหล (กรัม/10 นาที)
1	r-HDPE/2/24	0.213±0.009
2	r-HDPE/2/72	0.056±0.007
3	r-HDPE/5/24	0.080±0.005
4	r-HDPE/5/72	0.035±0.006

ตารางที่ 2 แสดงผลดัชนีการไหลที่เป็นผลมาจากปริมาณการใช้สารควบคู่และเวลาในการอบไอน้ำ ที่สภาวะการทดสอบอุณหภูมิ 280°C และใช้น้ำหนักกดที่ 5 กิโลกรัมพบว่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ลดลงจาก 0.213 เป็น 0.076 กรัม/10 นาทีเมื่อเพิ่มปริมาณสารไซเลนเป็น 5 phr และผลจากระยะเวลาการอบไปน้ำแสดงผลในลักษณะเดียวกันคือ เมื่อเพิ่มเวลาการอบไปน้ำที่มากขึ้นทำให้ดัชนีการหลอมไหลลดลงอย่างมาก โดยพอลิเอทิลีนที่นำกลับมาใช้ใหม่มีดัชนีการไหลต่ำสุดที่ 0.030

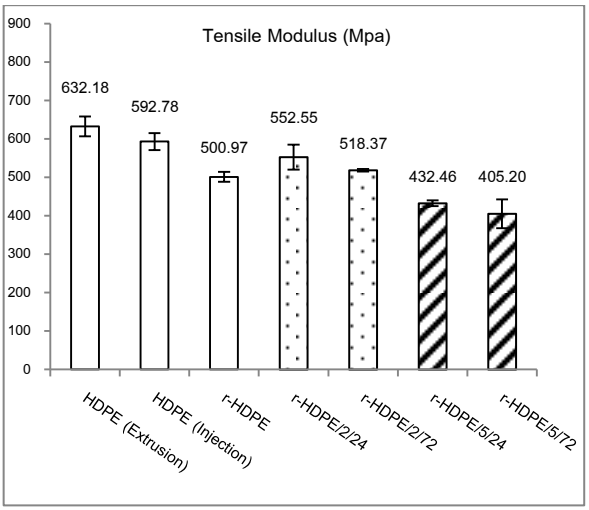
กรัม/10 นาที เมื่อเติมสารไซเลนและผ่านกระบวนการอบไอน้ำ 72 ชั่วโมง

ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 ความต้านทานแรงดึงของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงชนิดนำกลับมาใช้ใหม่มีค่าสูงขึ้นทีละน้อยเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางสายโซ่ด้วยการอบไอน้ำ และเมื่อเปรียบเทียบผลจากปริมาณการเติมสารไซเลนพบว่าสูตรที่เติมสารไซเลนที่ 5 phr มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าสูตรที่เติมสารไซเลน 2 phr เล็กน้อยในทุกช่วงเวลาของการอบไอน้ำ และจากการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าการเติมสารควบคู่ที่ 5 phr และการอบไอน้ำที่ 3 วันทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดอยู่ที่ 22.60 MPa

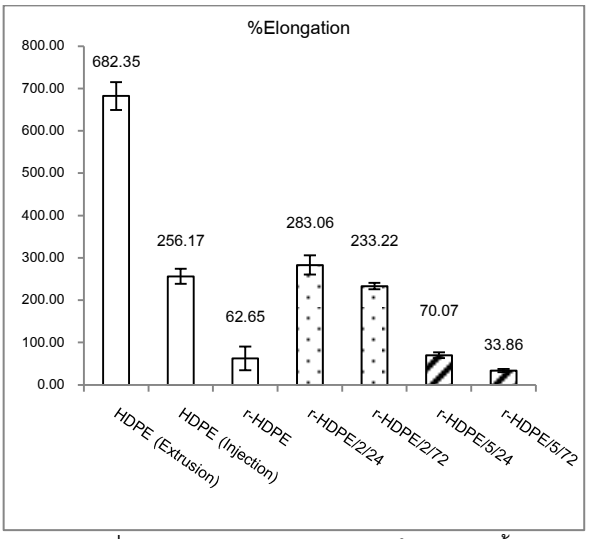


รูปที่ 1 ความต้านทานแรงดึง (MPa) ในงานวิจัยนี้

ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของพบว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงชนิดนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีปริมาณสารไซเลน 2 phr ที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำ 24 ชั่วโมงคือ 552.55 MPa เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการอบไอน้ำจนถึง 72 ชั่วโมง ค่าโมดูลัสความหนืดหยุ่นลดเหลือ 518.37 MPa โดยลักษณะเช่นเดียวกันนี้แสดงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงชนิดนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีปริมาณสารไซเลน 5 phr แสดงแนวโน้มของค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ลดลงจาก 432.46 ถึง 405.20 MPa เมื่อใช้เวลาในการอบไอน้ำมากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่เกิดขึ้นของพอลิเมอร์ที่เติมสารควบคู่ในปริมาณที่ต่างกันพบว่าสูตรที่ใช้สารไซเลนในปริมาณ 2 phr มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสูงกว่าสูตรที่ใช้สารไซเลนในปริมาณ 5 phr ค่าความเหนียวหรือร้อยละของการยืดตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำกลับมาใช้ใหม่ลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางสายโซ่ โดยสูตรที่ใช้สารไวเลน 2 phr ลดลงจาก 283 เหลือ 233% และสูตรที่ใช้สารไซเลน 5 phr ลดลงจาก 70 เหลือ 33% โดยสูตรที่มีการเติมสารไซเลนที่ 5 phr มีการยืดตัวที่ต่ำอย่างมากเมื่อเทียบสูตรที่มีการเติมสารไซเลนที่ 2 phr ในทุกช่วงเวลาของการอบไอน้ำ โดยสูตร r-HDPE/2/24 มีค่าการยืดตัวสูงสุดที่ 283.06% โดยผลการทดสอบค่าโมดูลัสและร้อยละของการยืดตัวที่ได้จากการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

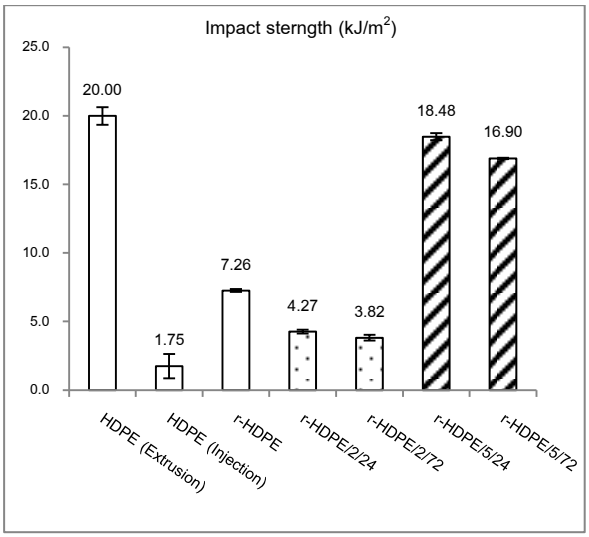


รูปที่ 2 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (MPa) ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 3 ค่าร้อยละของการยืดตัว (%) ในงานวิจัยนี้

ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 พอลิเอทีลีนความหนาแน่นสูงนำกลับมาใช้ใหม่ที่ผ่านการเติมสารไซเลนและกระบวนการอบไอน้ำที่ระดับต่างๆ พบว่าพอลิเอทีลีนความหนาแน่นสูงนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีการเติมสารไซเลน 2 phr และ 5 phr มีค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มเวลาการอบไอน้ำเป็น 72 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณไซเลนจาก 2 phr เป็น 5 phr ทำให้พอลิเอทีลีนความหนาแน่นสูงนำกลับมาใช้ใหม่มีค่าความต้านทานแรงกระแทกสูงขึ้นอย่างมาก โดยสูตรที่มีการเติมสารไซเลน 5 phr และอบไอน้ำ 24 ชั่วโมงให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกสูงสุดที่ 18.48 kJ/m^2



รูปที่ 4 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกในงานวิจัยนี้

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

จากผลการทดสอบดัชนีการหลอมไหล, ความทนต่อแรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น ร้อยละของการยืดตัวและความต้านทานต่อแรงกระแทกที่แสดงดังตารางที่ 2 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95% (=0.05) โดยผลการคำนวณค่า P-value สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งสองตัวแปรคือปริมาณสารไซเลนและเวลาในการอบไอน้ำส่งผลต่อค่าดัชนีการหลอมไหล, ความทนต่อแรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น และร้อยละของการยืดตัว เนื่องจากค่าดังกล่าวมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ส่วนสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกมีเพียงตัวแปรเดียวคือ ปริมาณสารไซเลนที่สงผลต่อสมบัติดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก P-value ของระยะเวลาในการอบไอน้ำมีค่า 0.189 ซึ่งมากกว่า P-value ที่กำหนด

ตารางที่ 3 แสดงค่า P-value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในงานวิจัยนี้

สมบัติ/ตัวแปร	ปริมาณสารไซเลน (phr)	ระยะเวลาอบไอน้ำ (ชั่วโมง)
ดัชนีการไหล	0.000	0.000
ความทนต่อแรงดึง	0.001	0.010
โมดูลัสความยืดหยุ่น	0.000	0.002
ร้อยละของการยืดตัว	0.000	0.001
ความต้านทานต่อแรงกระแทก	0.000	0.189

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรปริมาณสารไซเลน (Silane content) และระยะเวลาในการอบไอน้ำ (Sauna Period) ที่ส่งผลต่อสมบัติที่ได้โดยสมการถดถอย (Regression) ดังนี้

$$MFI = 0.287 - 0.0247 Silane\ Content(phr) - 0.00215 Sauna\ Period(hour) \quad ; R\text{-}Sq = 84.4\%$$

$$STR(MPa) = 17.0 + 0.696 Silane\ Content(phr) + 0.0298 Sauna\ Period(hour) \quad ; R\text{-}Sq = 81.1\%$$

$$MOD(MPa) = 644 - 38.9 Silane\ Content(phr) - 0.640 Sauna\ Period(hour) \quad ; R\text{-}Sq = 97.3\%$$

$$\%Elong = 0439 - 68.7 Silane\ Content(\text{phr}) - 0.896 Sauna\ Period(hour) \quad ; R\text{-}Sq = 98.5\%$$

$$impact\ str = -4.03 + 4.55 Silane\ Content(phr) - 0.0212 Sauna\ Period(hour) \quad ; R\text{-}Sq = 97.7\%$$

จากสมการถดถอยที่แสดงข้างต้นสามารถอธิบายได้ว่า ระยะเวลาในการอบไอน้ำส่งผลต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพในเชิงลบ (Negative effect) นั่นหมายความได้ว่า หากให้เวลาในการอบไอน้ำที่สูงขึ้นทำให้ค่าดัชนีการหลอมไหล, โมดูลัสความยืดหยุ่น, ร้อยละของการยืดตัว และความต้านทานต่อแรงกระแทกลดลง ส่วนอิทธิพลของปริมาณสารไซเลนส่งผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อแรงกระแทกในเชิงบวก (Positive

effect) คือเมื่อเพิ่มปริมาณสารไซเลน ทำให้สมบัติดังกล่าวสูงขึ้น

5. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในสร้างพอลิเอทีลีนชนิดนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีโครงสร้างร่างแหด้วยเทคนิคกระบวนการเชื่อมขวางสายโซ่โดยไซเลนและไอน้ำ โดยผลการทดสอบสมบัติและการวิเคราะห์ทางสถิติทำให้ทราบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพ สามารถสรุปได้ว่าการเติมปริมาณสารไซเลนที่เพิ่มขึ้นและเวลาในการอบไอน้ำที่มากขึ้นทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหที่มากขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้ดัชนีการไหลลดลงอย่างมากหรือมีความหนืดที่สูงขึ้น [9] ส่งผลให้ความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น และเมื่อเกิดโครงสร้างร่างแหที่สูงขึ้นทำให้ความเป็นผลึกลดลงจึงทำให้โมดูลัสความยืดหยุ่นและการยืดตัวลดลงตามไปด้วย [10] และเมื่อเปรียบเทียบสมบัติกับพอลิเอทีลีนความหนาแน่นสูงที่เป็นเม็ดใหม่พบว่าพอลิเอทีลีนชนิดนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีโครงสร้างร่างแหมีค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกใกล้เคียงกัน แต่ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นและเปอร์เซ็นการยืดตัวยังต่ำกว่าเม็ดใหม่

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา และขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และสาขาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและเครื่องจักรในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, รายงานภาวะอุตสาหกรรมไตรมาส 3 ปี 2557 (กรกฎาคม - กันยายน 2557) ข้อมูลจาก http://www.oie.go.th/academic/รายงานภาวะอุตสาหกรรมไตรมาส 3 ปี 2557 (กรกฎาคม - กันยายน 2557) (สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2557)

[2] โอฬาร สุขเกษม, เทียบท่าประชาคม, หนังสือพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ AEC world ปีที่ 34 (2) ฉบับที่ 2,953 (63) วันที่ 1 - 4 มิถุนายน พ.ศ. 2557

[3] ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, ปี'58 ตลาดเม็ดพลาสติกรีไซเคิลสดใส...ดันมูลค่าตลาดพุ่งกว่าร้อยละ 16.8 แตะระดับสูงกว่า 27,000 ล้านบาท, กระแสทรรศน์ ปีที่ 20 ฉบับที่ 2567, 2557

[4] Tseng-Sin Wu, Silane crosslink able polyethylene compounds: applications and manufacturing methods, Plastics, Additives and Compounding, Vol.9 Issue 6: 40–43, 2007

[5] กัลยาณี สิริสิงห, การเตรียม สมบัติและการใช้งานของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีโรงสร้างร่างแหไซลอกเซน, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาลัยมหิดล, 2556

[6] Kalyanee S. and Marnviga B, Improved silane grafting of high-density polyethylene in the melt by using a binary initiator and the properties of silane-crosslinked products, Journal of Polymer Research, Vol.20: 120, 2013

[7] Hamed Azizi, Jalil Morshedian and Mehdi Barikani, Silane Grafting and Moisture Crosslinking of Polyethylene: The Effect of Molecular Structure, Journal of Vinly & Additive Technology, DOI 10.1002/vnl: 185-190, 2009

[8] Yeong-Tarng ShiehE and Chih-Ming Liu, Silane Grafting Reactions of LDPE, HDPE, and LLDPE, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 74: 3404–3411, 1999

[9] S. M. Tamboli, S. T. Mhaske and D. D. Kale, Crosslinked polyethylene. Indian Journal of Chemical Technology, Vol. 11: 853-864, 2004

[10] Y Badr, ZI Ali, AH Zahran and RM Khafagy, Characterization of gamma irradiated polyethylene films by DSC and X-ray diffraction techniques, Polymer International, Vol. 19: 1555-1560, 2000

การพัฒนาโปรแกรมระบบเปิดเพื่อบันทึกข้อมูลและควบคุมเครื่องทดสอบแรงดึง

Development open source program to data logger and control tensile testing machine

เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ[1*] เดชา สุขมา[2] มนูญ เลิศวิจิตรพันธุ์[3]
[1]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศิลปากร คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม
[2]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม
[3]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการเชื่อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ E-mail: akesit@su.ac.th*

Akesit Chanintarapoom[1*] Dacha Sukma[2] Manoon Lertvijitpun[3]
[1]The Demonstration School of Silpakorn University, Nakhon Pathom
[2]Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom
[3]Department of Welding Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut´s University of Technology North Bangkok E-mail: akesit@su.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการพัฒนาเครื่องทดสอบแรงดึงเพื่อการควบคุมการทำงาน แสดงผลแบบตัวเลขและแผนภูมิ รวมถึงบันทึกข้อมูลจากการวัดค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุแบบเวลาจริง โดยใช้โปรแกรมระบบเปิด (Open source) ระบบเดิมเครื่องทดสอบแรงดึงที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเป็นแบบควบคุมด้วยมือ ใช้โปรแกรมแบบ DOS ไม่สามารถแสดงผลในขณะวัดแรงดึงแบบเวลาจริงได้ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม Processing เป็นโปรแกรมจากห้องทดลอง MIT Media Lab ซึ่งเป็นการกำหนดรูปแบบของการเขียนโค้ดหรือที่เรียกว่า Sketch โดยอาศัยภาษา Java เป็นพื้นฐาน สามารถใช้สร้างรูปกราฟิกหรือแบบมีปฏิสัมพันธ์ (Interactive) กับผู้ใช้ได้ได้ง่าย ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR มีจุดเด่นในเรื่องของการใช้งานและการเรียนรู้ได้ง่าย เนื่องจากมีคำสั่งต่างๆ ขึ้นมาสนับสนุนการใช้งาน ด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อน มีราคาไม่แพง มี Bootloader ในตัว เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานได้ทันที สามารถติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้ผ่าน serial communication (USB) ได้โดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ช่วย ในการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องทดสอบแรงดึง ใช้ชิ้นงานทดสอบคือโพลิเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene : LLDPE) โดยเตรียม specimen ตามมาตรฐานแบบ ASTM D 638 จากผลการทดสอบโปรแกรม พบว่าโปรแกรมดังกล่าวแสดงค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นแบบเวลาจริง บันทึกค่าแรงดึงขณะทำการทดสอบได้แบบต่อเนื่อง เปลี่ยนเวลาในการบันทึกข้อมูลได้ง่าย และควบคุมการเคลื่อนที่ของคานบนให้ขึ้น-ลงได้ ในการพัฒนานี้มีต้นทุนเพียง 2,000 บาทเท่านั้น

คำหลัก โปรแกรมระบบเปิด เครื่องทดสอบแรงดึง

Abstract

This research was aims at develops a tensile testing machine to control the operation, display numbers and chart, record data from the tension that occurs during a test the tensile strength of the material in real-time using by Open source. The tensile testing machine originally used in the laboratory is controlled

by manual and used a DOS program. It can not be displayed while measuring the tension in real time. Applications were developed using a program Processing by Laboratory MIT Media Lab, which determine form of coding called Sketch using Java language, It can be used as the basis for creating graphics or interactive, with easily available. The Arduino microcontroller is AVR microcontroller development projects have been featured in the use and it is easy to learn. Since there are various commands more active support with a style that is simple and cheap. The Arduino microcontrollers have Bootloader in order to work immediately. It can interact with the PC using the serial communication (USB) without having to rely on the equipment. The test programs were developed on a tensile testing machine. It is used specimen which is Linear Low Density Polyethylene (LLDPE). And it was prepared to use for according to standard ASTM D 638 specimen. The application is developed display the force of tension that occurs in real time and keeps data from the tensile testing. Moreover, it could change time easily and control the movement of the beam on the up - down. The development cost is 2,000 baht.

Keywords: open source, tensile testing machine

1. บทนำ

เครื่องทดสอบแรงดึงเดิม [1] เป็นเครื่องที่ออกแบบเพื่อใช้สำหรับการศึกษาสมบัติการต้านแรงดึงของพลาสติกในห้องปฏิบัติการ ระบบการวัดแรงดึงโดยใช้ Load Cell ขนาด 1 kN ซึ่งเชื่อมส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์โดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC18F4553 [4-5] และการทดสอบแรงดึงไม่สามารถทราบค่าแรงดึงขณะที่ทำการทดสอบได้ (Real Time Measurement of Tension) ตลอดจนค่าแรงที่วัดได้ไม่ได้อยู่ใน File Excel ทำให้ไม่สะดวกในการใช้งานที่จะนำค่าแรงที่วัดได้ไปประมวลผลหาค่าความต้านแรงดึง (Tensile Strength ; R_m) ความเค้นคราก (Yield Stress ; R_e) เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Elongation ; A) ส่วนเครื่องทดสอบแรงดึง [2-3] ที่ใช้ PLC ในการควบคุมสั่งการและบันทึกข้อมูล สามารถใช้ได้ดีแต่มีราคาสูง ในการสืบค้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว พบว่าการใช้โปรแกรม Processing [6-7] คู่กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino [8-9] รุ่น UNO มีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานแทนไมโครคอนโทรลเลอร์เดิม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โปรแกรมระบบเปิด (Open source)

โปรแกรมระบบเปิด (Open source) คือการพัฒนาระบบใดระบบหนึ่งทางด้านคอมพิวเตอร์ด้วยเงื่อนไขที่ผู้สร้างสรรค์หรือผู้คิดค้นไม่ถือเอาสิทธิแต่เพียงผู้เดียวในการพัฒนาระบบนั้นๆ โดยจะไม่คิดค่าใช้จ่าย เจ้าของซอฟต์แวร์จะอนุญาตให้ผู้ใช้ติดตั้งและใช้งานได้อย่างไม่จำกัดทั้งจำนวน และรูปแบบการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานส่วนตัว ในเชิงการค้า หรือในองค์กร นอกจากนี้ยังอนุญาตและสนับสนุนให้เรียนรู้ทำความเข้าใจการทำงานของซอฟต์แวร์ โดยการเผยแพร่ต้นฉบับ (source code) ของซอฟต์แวร์ออกมา และอนุญาตให้แก้ไขดัดแปลงตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานได้

2.1 โหลดเซล (Load Cell)

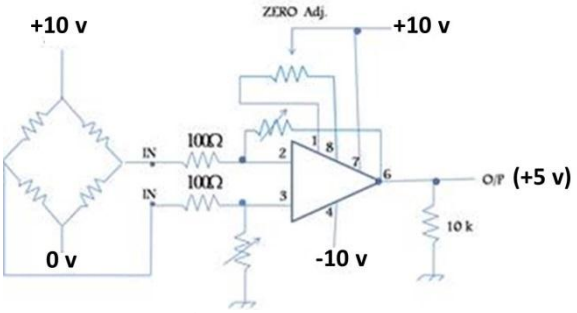
เป็นอุปกรณ์วัดค่าแรงดึงที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องทดสอบแรงดึงโดยทั่วไป ทั้งนี้ค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ที่ออกมาจาก Load Cell จะเป็นสัญญาณ Analog ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้า (Rated Output) มาออกมาน้อยมาก มีค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นมิลลิโวลต์ (mV) จากรูปที่ 1 Load Cell ขนาด 500 kg ค่าแรงดันไฟฟ้า (Rated Output) 2.03 mV/V และใช้แรงดันไฟฟ้า (Power Supply) 10 V สำหรับป้อนให้ Load Cell

Rated capacity:	500 kg
Rated output:	2.03 mV/V
Recommended excitation voltage:	10 V

รูปที่ 1 Load Cell

2.2 ชุดขยายแรงดันไฟฟ้า

หาก Load Cell (จากรูปที่ 1) รับแรงกดแรงดึง (Tension Force) หรือแรงกด (Compression Force)ที่ 500 kg แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ออกมาจาก Load Cell มีค่า 20.3 mV ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวไม่สามารถที่จะนำไปต่อเชื่อมกับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ได้ จำเป็นต้องขยายแรงดันไฟฟ้าต้องขยายแรงดันไฟฟ้าเป็น 0 – 5 V โดยการใช้ IC เบอร์OP07CP เป็นชุดขยายแรงดัน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรขยายแรงดันไฟฟ้า

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการทดลองใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น UNO ดังรูปที่ 3 “Arduino” เป็นภาษาอิตาลีซึ่งเป็นชื่อของโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR แบบ

โปรแกรมระบบเปิด (Open source) มีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายในการเรียนรู้และใช้งาน เนื่องจากมีการออกคำสั่งต่างๆขึ้นมาสนับสนุนการใช้งาน การทำงานเหมือนไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วไป [4-5] รูปแบบคำสั่งที่ง่ายไม่ซับซ้อน รวมถึงมี bootloader เป็น firmware จะทำหน้าที่ช่วย upload data เข้าไปในไมโครคอนโทรลเลอร์

รูปที่ 3 Arduino UNO

3. วิธีวิจัย

ในการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมระบบเปิด (Open source) เพื่อควบคุมการทำงานและบันทึกข้อมูลค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังทดสอบหาค่าแรงดึงของวัสดุของเครื่องทดสอบแรงดึงผ่าน USB แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง ใช้โปรแกรม Processing เป็นภาษาหนึ่งที่ใช้ในการสอนพื้นฐานการเขียนโปรแกรม Processing เป็นโปรแกรมระบบเปิดจากห้องทดลอง MIT Media Lab ในปี 2001 เป็นการกำหนดรูปแบบของการเขียนโค้ดหรือที่เรียกว่า Sketch โดยอาศัยภาษา Java เป็นพื้นฐานแม้ว่าในประเทศไทยจะไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก แต่ภาษา Processing มีข้อดีคือ

- ใช้ได้กับระบบปฏิบัติการ Windows, Linux, Mac OS X เป็นซอฟต์แวร์ประเภท โปรแกรมระบบเปิด (Open source)
- สามารถใช้สร้างรูปกราฟิกแบบ 2 และ 3 มิติ (2D และ 3D) หรือ การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบต่างๆ (Data Visualization)
- รองรับการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object-oriented Programming)

ส่วนที่สอง ใช้โปรแกรม Arduino IDE การเขียนโค้ดอาศัยภาษา C เพื่อ upload data เข้าไปใน Arduino มีข้อดีดังนี้

- ราคาไม่แพง เนื่องจากมี Source Code และวงจร แจกให้ฟรี สามารถต่อวงจรขึ้นมาใช้เองได้ รวมถึงมีการเปิดเผยวงจร Source code ทั้งหมดทำให้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ดี ทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์
- โปรแกรมที่ใช้พัฒนาของ Arduino สามารถรองรับการทำงานทั้ง Window, Linux และ Mac OS X
- รูปแบบคำสั่งง่ายต่อการใช้งาน แต่ก็ยังคงความยืดหยุ่นแต่สามารถนำไปใช้งานจริง
- โปรแกรมระบบเปิด (Open source) Arduino นั้นเป็นรูปแบบ (Platform) ที่เปิดเผยวงจรและซอร์สโค้ดซึ่งสามารถสร้างหรือนำไปพัฒนาต่อได้

3.1 การเขียนโปรแกรม

ในการเขียนโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้โปรแกรม Processing และไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ทำงานร่วมกัน รับข้อมูลและสั่งงานผ่านสาย USB ชุดหน้าจอสั่งการและแสดงผล ประกอบด้วยปุ่มการทำงานต่างๆ ดังรูปที่ 4 โดยแสดงผลเป็นตัวเลข กราฟและบันทึกข้อมูลแบบเวลาจริง ปุ่ม Start เมื่อกดปุ่มนี้จะสั่งให้มอเตอร์หมุนเพื่อดึงชิ้นงานทดสอบตั้งแต่เริ่มต้นและบันทึกค่าแรงดึงที่เกิดขึ้น ปุ่ม Stop เมื่อกดปุ่มนี้จะหยุดการทำงานของมอเตอร์ ปุ่ม UP ใช้สำหรับเตรียมชิ้นงานทดสอบ เมื่อกดปุ่มนี้จะเลื่อนชุดคานบนขึ้น ปุ่ม DOWN ใช้สำหรับเตรียมชิ้นงานทดสอบ เมื่อกดปุ่มนี้จะเลื่อนชุดคานบนลง ปุ่ม 100 mS เมื่อกดเลือกปุ่มนี้คือเวลาในการบันทึกค่าแรงดึงทุกๆ 0.1 วินาที ปุ่ม 500 mS เมื่อกดเลือกปุ่มนี้คือเวลาในการบันทึกค่าแรงดึงทุกๆ 0.5 วินาที ปุ่ม 1000 mS เมื่อกดเลือกปุ่มนี้คือเวลาในการบันทึกค่าแรงดึงทุกๆ 1 วินาที

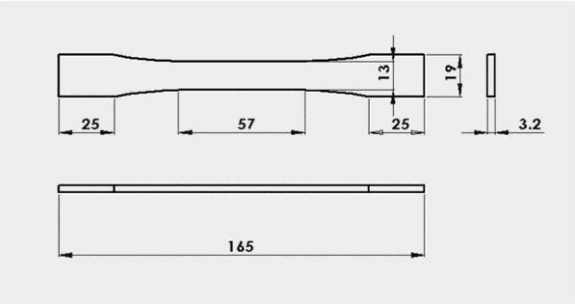
รูปที่ 4 หน้าจอสั่งการ

3.2 ชุดต้นกำลัง

ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า (AC Motor) ขนาด 90 วัตต์ ต่อกับเกียร์ทดรอบ ในอัตราทดรอบ 1:300 ซึ่งต่อไปขับบอลสกรูซึ่งมีชุดแขนจับชิ้นงาน (Gripper) ติดตั้งอยู่เพื่อเลื่อนขึ้น-ลงในแนวแกน สามารถปรับค่าความเร็วในการดึงสำหรับวัสดุชนิดต่างๆ ได้ โดยการปรับค่าความเร็วของมอเตอร์ด้วยชุดปรับ Speed Control ในการวิจัยนี้เลือกใช้ความเร็วในการดึงที่ 50 มม./นาที หรือ 0.833 มม./วินาที

3.3 การเตรียม Specimen

ในการเตรียมชิ้นงานเพื่อใช้ทดสอบแรงดึง แสดงดังรูปที่ 5 ตามมาตรฐาน ASTM D 638 Type -I วัสดุที่ใช้ทดสอบคือ โพลีเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene: LLDPE) ซึ่งได้จากการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding)



รูปที่ 5 ขนาดในเตรียม Specimen

4. ผลการทดลอง

4.1 การติดตั้งกับเครื่องทดสอบแรงดึง

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์เข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึงเรียบร้อยแล้ว ในการทดสอบเบื้องต้นเป็นการทดสอบการวัดค่าแรงกับเวลา โดยการเลือกให้บันทึกข้อมูลทุก 1 วินาที ในการทดลองแขวนมวลน้ำหนัก 5 Kg ไว้กับชุดจับชิ้นงาน (Gripper) จากนั้นกดปุ่ม START หากการเขียนโปรแกรมและระบบการบันทึกข้อมูลถูกต้องจะได้ข้อมูลมีวัดได้เป็นค่าแรงดึงที่มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) และเวลาการเก็บข้อมูลทุก 1 วินาทีซึ่งอยู่ใน File Excel ซึ่งผลการทดลองพบว่า ที่หน้าจอสั่งการ ค่าแรงที่วัดได้ มีค่า 50 N ซึ่งค่าแรงที่แสดงอยู่ในตำแหน่งที่ด้านซ้ายมือมุมบน และมีค่าแรงที่วัดได้ในรูปแบบของกราฟแบบ Real Time แสดงในส่วนล่างของหน้าจอสั่งการดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 แสดงการวัดค่าแรงดึง

เมื่อกดปุ่ม Stop เพื่อหยุดการทำงาน และตรวจสอบค่าแรงที่ถูกบันทึกไว้อยู่ใน File Excel พบว่าได้ผลดังตารางที่ 1 ซึ่งค่าแรงที่วัดได้มีค่า 50 N ข้อมูลมีการบันทึกค่าทุกๆ 1 วินาที

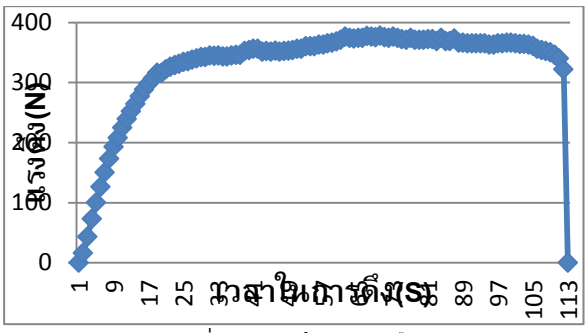
ตารางที่ 1 การค่าแรงกับเวลา

Time	Force
02:38:00:406	50
02:38:01:406	50
02:38:02:406	50
02:38:03:406	50
02:38:04:406	50
02:38:05:406	50
02:38:06:406	50
02:38:07:406	50
02:38:08:406	50
02:38:09:406	50
02:38:10:406	50
02:38:11:406	50
02:38:12:406	50
02:38:13:406	50
02:38:14:406	50
02:38:15:406	50
02:38:16:406	50
02:38:17:406	50
02:38:18:406	50
02:38:19:406	50

4.2 การทดสอบดึงชิ้นงานทดสอบจริง

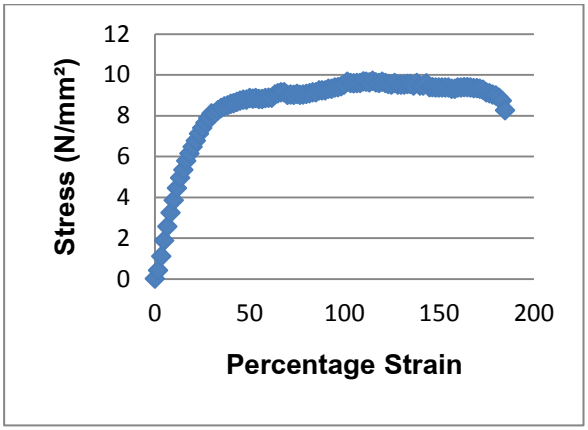
เปิดโปรแกรม Tensile ขึ้นมา และเชื่อมต่อกับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino นำชิ้นงานทดสอบจับยึดให้แน่นด้วยชุดจับชิ้นงาน (Gripper) ที่หน้าจอสั่งการเลือก

เวลา 1000 mS สำหรับการบันทึกข้อมูล เริ่มทำการทดสอบด้วยการกดปุ่ม Start เมื่อชิ้นงานชิ้นทดสอบถูกดึงจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบขาดให้กดปุ่ม Stop เพื่อหยุดการทดสอบ ผลการทดลองพบว่า ที่หน้าจอสั่งการค่าแรงดึงที่วัดได้จะเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาแบบ Real Time เมื่อนำ File Excel มาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ค่าแรงดึงกับระยะยืด

พบว่า ค่าแรงดึงสูงสุดมีค่า 378 N และใช้เวลาในการดึงตั้งแต่เริ่มจนกระทั่งชิ้นงานขาด 113 วินาที ระยะยืดตัวก่อนขาด 92.46 มม.และคำนวณหาการยืดตัวได้ 186.92% เมื่อนำมาเขียนเป็นแผ่นภาพ Stress – Strain Diagram จะได้ดังรูปที่ 8 พบว่า LLDPE มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ 9.69 N/mm² (MPa) ความเค้นคราก (0.2% Proof Stress) 8.10 N/mm² (MPa)



รูปที่ 8 Stress – Strain Diagram ของ LLDPE

4.3 การทดสอบแรงดึง LLDPE ซ้ำ

การทดสอบแรงดึง LLDPE ใหม่ อีก 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของ ค่าความต้านแรงดึง ค่าความเค้นคราก และมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวได้ผลการสอบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของ ค่าความต้านแรงดึง ค่าความเค้นคราก และมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

ค่า	Sample (LLDPE)			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
R_m (MPa)	9.69	9.18	9.23	9.36
R_e (MPa)	8.10	7.58	8.07	7.91
A (%)	186.59	211.58	214.91	204.36

จากตารางที่ 2 พบว่า LLDPE ที่ใช้ทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง มีค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ย (R_m) 9.36 MPa มีค่าความเค้นคราก (R_e) 7.91 MPa และมีค่าการยืดตัว 204.36 %

5. สรุป

ในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมระบบเปิด (Open source) เพื่อควบคุมการทำงานและบันทึกข้อมูลจากการวัดค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุของเครื่องทดสอบแรงดึงสามารถทำงานได้อย่างดีผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับ Lloyd Universal Testing รุ่น LR 50K โดยโปรแกรมระบบเปิด (Open source) Processing เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการพัฒนาการเขียนโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ เมื่อต้องการให้คอมพิวเตอร์สื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ผ่านสาย USB โดย สั่งให้ Arduino เก็บรวบรวมข้อมูลแล้วนำมาแสดงผลที่คอมพิวเตอร์ในรูปของข้อมูล ตัวเลขและกราฟแบบเวลาจริง รวมถึงบันทึกข้อมูลให้สามารถนำมาคำนวณได้ในภายหลัง การบันทึกค่าแรงดึงขณะทำการทดสอบได้แบบต่อเนื่อง ทำให้สะดวก ช่วยประเมินผลค่าความแข็งแรงของวัสดุขณะทำการทดลอง นำผลค่าแรงดึงที่วัดได้ซึ่งอยู่ในรูปแบบของ File Excel มาวิเคราะห์หาค่า Stress, Strain, Elongation ได้ในภายหลัง ในการพัฒนานี้ใช้งบประมาณ 2,000 บาทและไม่มีลิขสิทธิ์ในการทำงาน สามารถแจกจ่ายให้นักพัฒนาทำงานต่อได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนพัฒนาการเรียนการสอน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส แซ่ด่าน ที่ให้คำปรึกษาในการวิจัยจนงานวิจัยสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] เดชา สุขมา, ประกวด หงษาชาติ และเอกสิทธ์ ชนินทรภูมิ, การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 1000 N การประชุมวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการแห่งชาติ 2010, 16-17 ธันวาคม 2553 กรุงเทพฯ

[2] เดชา สุขมา, เอกสิทธ์ ชนินทรภูมิ, ประกวด หงษาชาติ และสมบัติ มุกดา, การพัฒนาเครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 50,000 นิวตัน การประชุมวิชาการข่ายวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ 2556, 17-19 ตุลาคม 2555 ชะอำ เพชรบุรี

[3] เดชา สุขมา, ประกวด หงษาชาติ เอกสิทธ์ ชนินทรภูมิ และศิริพงษ์ ลัมพาภิวัตน์, การประยุกต์ใช้พีแอลซีสำหรับการควบคุมเครื่องทดสอบแรงดึง การประชุมวิชาการข่ายวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ 2555, 16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา ชลบุรี

[4] เดชฤทธิ์ มณีธรรม,คัมภีร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC สำนักพิมพ์เคพีคอมพ์แอนด์คอนซัลท์, กรุงเทพฯ, 2549

[5] อภิชาติ ภู่พลับ, การเขียนโปรแกรมควบคุม Microcontroller ด้วยภาษา C, Assembly, และ Visual Basic. สำนักพิมพ์กรีนมีเดีย, กรุงเทพฯ, 2552

[6] Casey Reas and Ben Fry, Getting started with Processing. O'Reilly, Sebastopol, CA, 2010

[7] Andrew Glassner, Processing for visual artists : how to create expressive images and interactive art. A K Peters, Natick, MA, 2010

[8] Michael Margolis, Arduino cookbook. O'Reilly, Sebastopol, CA, 2010

[9] Michael Margolis, Make an arduino-controlled robot. O'Reilly, Sebastopol, CA, 2013

เปรียบเทียบการทำงานของเครื่องทดสอบความแข็งชนิด Deadweight กับ Load Cell ตามมาตรฐาน ASTM D785-03

Comparing the ASTM D785-03 Operation Between Deadweight and Load Cell Type Hardness Testing Machine

มนตรี ผักกระโทก* และ ทัศนัย แสนพลพัฒน์
ห้องปฏิบัติการความแข็ง ฝ่ายมาตรวิทยาเชิงกล สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
3/4-5 หมู่ที่ 3 ต. คลองห้า อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120 E-mail: montree@nimt.or.th*, tassanai@nimt.or.th

Montree Pakkratoke* and Tassanai Sanponpute
Hardness Laboratory, Mechanical metrology department, National Institute of Metrology (Thailand)
3/4-5 Moo 3, Klong 5, Klong Luang, Pathumthani 12120, E-mail: montree@nimt.or.th*, tassanai@nimt.or.th

บทคัดย่อ

การทดสอบความแข็งชนิด Rockwell หน่วย HRR เป็นที่นิยมใช้ในงานทดสอบความแข็งของพลาสติกที่มีความแข็งสูง งานวิจัยนี้พบว่าเครื่องทดสอบความแข็ง Rockwell หน่วย HRR ชนิด dead weights และ ชนิด load cell ให้ผลการวัดที่มีความต่างอย่างมีนัยสำคัญ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ต้องการศึกษาและหาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนของผลการวัดจากเครื่องวัดความแข็งทั้งสองชนิด โดยใช้เกณฑ์และวิธีการทวนสอบตามมาตรฐาน ASTM D785-03 จากงานวิจัยพบสาเหตุของความคลาดเคลื่อนเชิงระบบนี้มาจากการไม่สามารถควบคุมจังหวะเวลา (testing cycle) ให้เป็นไปตามเงื่อนไขการทดสอบของเครื่องทดสอบความแข็งชนิด load cell สำหรับงานทดสอบที่มีความแข็งต่ำกว่า 100HRR ได้ ทั้งนี้เป็นผลมาจากระยะจมของหัวกดในพลาสติกที่มากกว่าในโลหะและลักษณะสมบัติความคืบ (indentation creep) ของพลาสติกส่งผลให้จังหวะเวลาในการทดสอบนานมากกว่ามาตรฐานกำหนด ปัจจัยดังกล่าวเป็นเหตุให้เกิดความผิดพลาดของผลทดสอบความแข็งในชิ้นงานพลาสติก

คำหลัก การทดสอบความแข็ง Rockwell หน่วย HRR , ASTM D 785-03, indentation creep

Abstract

Rockwell hardness testing scale R (HRR) is one of various scales that can be test with plastic, especially hard plastic. We have found the significant difference results between two types Rockwell hardness testing machines, i.e. dead weights type and load cell type. The aims of this research are study and explore source of error on plastic hardness test using Rockwell scale R. Machine verification and experiment criteria are based on ASTM D 785-03. The experiment results showed that the load cell type machine cannot control its testing cycle to conform the testing condition, i.e. preliminary force dwell time (t_{0-1}) is unusual longer than actual setup time for measurement range below 100HRR. Because indentation creep on plastic materials is longer than metallic materials. That is directly effect to error of measurement results on plastic hardness test.

Keywords: Rockwell hardness testing scale R (HRR), ASTM D 785-03, indentation creep

1. บทนำ

การทดสอบความแข็งของพลาสติกนั้น นิยมทดสอบด้วยหน่วย Rockwell scale R ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ISO 2039-1 [1] หรือเทียบเคียงได้กับมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 785-03 [2] อย่างไรก็ตามการสอบเทียบเครื่องทดสอบ Rockwell hardness tester สำหรับงาน plastic test นั้นไม่มีไว้เป็นมาตรฐานโดยตรงและในปัจจุบันยังไม่มี Certified reference plastic block สำหรับถ่ายทอดความถูกต้องเพื่อการสอบกลับได้แต่อย่างได อย่างไรก็ตามการสอบเทียบ Rockwell hardness tester scale R สำหรับงานโลหะตามมาตรฐาน ASTM E 18-14 [3] ถูกใช้เป็นแนวทางการสอบเทียบสำหรับงานทดสอบพลาสติก ถึงแม้จะมีข้อจำกัดที่จะต้องใช้ certified reference block ที่มีค่าความแข็งมากกว่า 110 HRR ก็ตาม เครื่องทดสอบความแข็งที่ผ่านการสอบเทียบตามมาตรฐาน ASTM E18 เมื่อใช้ทดสอบพลาสติกที่มีช่วงใช้งาน 0 HRR ถึง 115 HRR แล้วจะมีความถูกต้องอยู่ใน ±2 HRR ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASTM D 785-03 หรือไม่นั้นเป็นหัวข้อที่จะถูกพิสูจน์ในการทดลองนี้ เครื่องทดสอบความแข็ง Rockwell ชนิด deadweight และชนิด load cell ที่มีผลการทวนสอบผ่านตามมาตรฐาน ASTM E 18 ในหน่วย HRR ถูกใช้ในการทดลองเชิงเปรียบเทียบ ในขณะที่เครื่องทดสอบความแข็งทั้งสองใช้ทดลองวัดความแข็งชิ้นทดสอบพลาสติกในช่วงความแข็ง 55 HRR ถึง 85 HRR นั้น ปริมาณแรงทดสอบและจังหวะเวลาถูกตรวจสอบและอธิบายผลการทดลอง

2. ขั้นตอนการทดลอง

เครื่องทดสอบความแข็งแสดงดังรูปที่ 1 มีโครงสร้างกำเนินแรงกดด้วย deadweight ยี่ห้อ Mitutoyo corp., model: ATK-F1000, s/n: 291028 และมีโครงสร้างกำเนิดแรงด้วย screw-press โดยวัดและควบคุมแรงกดด้วย load cell ยี่ห้อ Mitutoyo corp., model: HR-522, s/n: 100080812 ได้รับการสอบเทียบตามมาตรฐาน ASTM E 18-14 ผลการสอบเทียบแบบ direct verification และ indirect verification ใช้ยืนยันความถูกต้องของเครื่องทดสอบทั้งสองเครื่อง โดยปกติแล้วในกรณีที่ผลการทวนสอบเป็นไปตามมาตรฐานดังกล่าว เครื่องทดสอบนั้นจะอนุโลมให้ใช้ทดสอบตาม

รูปที่ 1 เครื่องทดสอบความแข็งทั้งสอง

มาตรฐาน ISO 2039-1 หรือ ASTM D 785-03 ได้ หลังจากนั้นทำการตั้งค่า (setup) เครื่องทดสอบให้เป็นไปตามเงื่อนไขจังหวะการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 785-03 แล้ววัดแรงกดและจังหวะการกดขณะที่ทำการทดสอบชิ้นงานพลาสติกที่ช่วงความแข็ง 55 HRR ถึง 85 HRR ผลการวัดถูกอธิบายความถูกต้องของเครื่องทดสอบ ในส่วนของความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบชิ้นงานพลาสติกถูกอธิบายเชิงเปรียบเทียบระหว่างผลการวัดที่ได้จากเครื่องทดสอบแบบ deadweight กับ load cell นอกจากนั้นผลกระทบของเวลา t_x ที่มีต่อผลการทดสอบความแข็งได้ถูกทดลองหาและอธิบายความสัมพันธ์

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1. ผลการสอบเทียบตามมาตรฐาน ASTM E18-14

จากการทำ direct verification และ indirect verification ตามมาตรฐาน ASTM E 18-14 ที่หน่วยทดสอบ HRR พบว่าเครื่องทดสอบความแข็งทั้งสองเครื่องมีความคลาดเคลื่อนของตัวแปรต้น อาทิ แรงกดเบื้องต้น แรงกดทั้งหมด ระยะจมของหัวกด จังหวะการกด และ ขนาดของหัวกด นั้นเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ดังแสดงผลการทวนสอบในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทวนสอบเครื่องทดสอบความแข็งทั้งสองเครื่องตามมาตรฐาน ASTM E 18-14

Parameters	Tolerance	ATK-F1000	HR-522
Minor load (± %error)	± 2.0%	0.6 %	0.2 %
Major load (± %error)	± 0.75%	0.6 %	0.2 %
t_{0-1} (s)	1 to 8	1.5 to 3.5	1.5 to 3.0
t_1 (s)	2 to 6	4 to 5	4 to 5
Depth (error ± μm)	± 1μm	0.6 μm	0.5 μm
Hardness value	±1.0 HRR	0.6 HRR	0.6 HRR

3.2. ความสอดคล้องและการเป็นไปตามกันของข้อกำหนดมาตรฐาน ASTM E 18 และ ASTM D 785-03

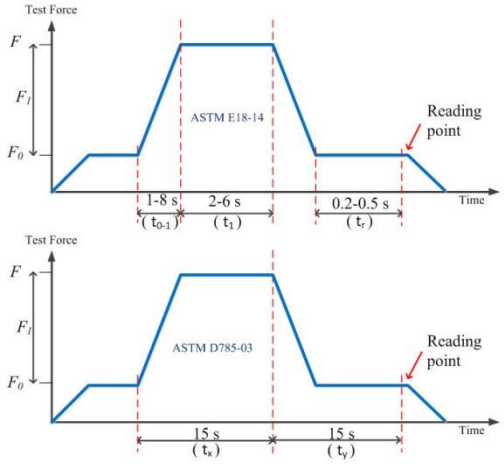
กล่าวได้ว่าเครื่องทดสอบความแข็งเชิงพาณิชย์ที่สามารถจัดหาได้นั้น ถูกผลิตและทวนสอบความถูกต้องให้เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบความแข็งของโลหะ ISO 6508-2 หรือ ASTM E 18 เท่านั้น การนำเครื่องทดสอบดังกล่าวไปทดสอบงานพลาสติก จึงเป็นการประยุกต์ใช้เครื่องทดสอบที่เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E 18 ให้ปฏิบัติการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 785-03 เหตุเพราะข้อกำหนดที่สำคัญในการทวนสอบตามมาตรฐาน ASTM D 785-03 มีความคล้ายคลึงกับ ASTM E 18 อยู่หลายประการ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบข้อกำหนดเครื่องทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ASTM E 18-14 และ ASTM D 785-03

ข้อกำหนด	ASTM E 18-14	ASTM D 785-03
Indenter (mm)	12.700±0.0025	12.700±0.0025
Minor load (kg)	10	10
Major load (kg)	60	60
t_{0-1} (s)	1 to 8	ไม่ระบุ
t_1 (s)	2 to 6	ไม่ระบุ
t_x (s)	ไม่ระบุ	15
t_y (s)	ไม่ระบุ	15
Hardness Value	±1.0 HRR	±2.0 HRR

ข้อแตกต่างที่ชัดเจนของข้อกำหนดการทดสอบความแข็งงานพลาสติกตามมาตรฐาน ASTM D 785-03 และทดสอบโลหะตามมาตรฐาน ASTM E 18 คือจังหวะการกด ดังแสดงดังกราฟในรูปที่ 2 การกดด้วยแรงกดทั้งหมด (t_x) และแรงกดเบื้องต้นหลังถอนแรงทั้งหมดแล้ว (t_y) ในงานทดสอบชิ้นงานพลาสติกใช้เวลานานถึง 15 วินาที ในขณะที่งานทดสอบชิ้นงานโลหะใช้เวลา 1 ถึง 8 วินาที สำหรับการจ่ายแรงกดทั้งหมด, (t_{0-1}) 2 ถึง 6 วินาที สำหรับการคงค่าแรงกดทั้งหมด, (t_1) และ 0.2 ถึง 0.5 วินาที สำหรับการอ่านค่าความแข็งหลังจากการคืนตัวของวัสดุทดสอบ (time for elastic recovery, t_r)

เนื่องจากมีความสอดคล้องและเป็นไปตามกันของข้อกำหนดทั้งสองมาตรฐานอยู่หลายประการ จึงถือเป็นธรรมเนียมปฏิบัติว่าเครื่องทดสอบความแข็งที่ผ่าน



รูปที่ 2 กร๊าฟเปรียบเทียบข้อกำหนดจังหวะเวลา ตามมาตรฐาน ASTM E18-14 และ ASTM D785-03

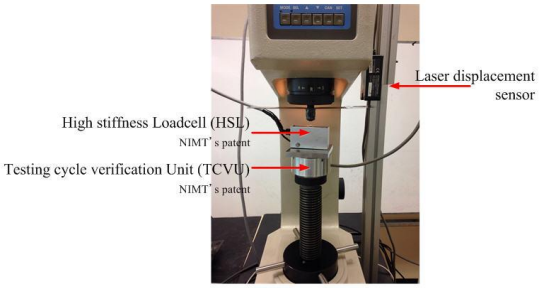
การทวนสอบที่เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบโลหะ ASTM E 18 แล้ว ยอมรับว่าเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบงานพลาสติกตามมาตรฐาน ASTM D 785-03 ด้วยดังเช่นเครื่องทดสอบความแข็งทั้งสองเครื่องที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ แต่ข้อกำหนดของจังหวะการกดมีรายละเอียดที่แตกต่างกันอยู่มาก และตามมาตรฐาน ASTM E 18 นั้นไม่ได้ทำการทวนสอบจังหวะการกดที่ช่วงใช้งานทดสอบพลาสติก 55 HRR ถึง 85 HRR ตลอดจนเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายแล้วว่าเวลาการทดสอบงานพลาสติกและความคืบ (creep) ของชิ้นงานพลาสติกส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องของผลการทดสอบความแข็ง [4] ความถูกต้องจังหวะเวลากดที่ช่วงความแข็งของพลาสติกจึงถูกพิสูจน์ในหัวข้อต่อมา

3.3. การทวนสอบทางตรง (direct verification) ตามมาตรฐาน ASTM D 785-03

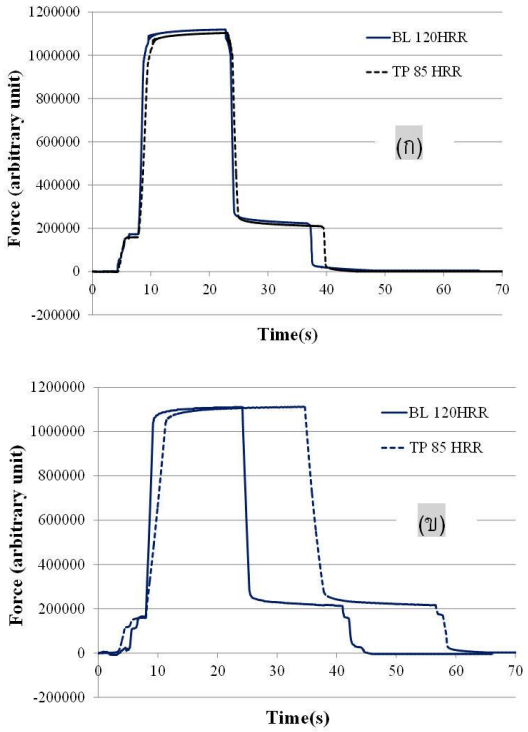
เครื่องทดสอบความแข็งทั้งสองถูกตั้งค่า (setup) ให้มีเงื่อนไขการทดสอบตาม ASTM D 785-03 หลังจากนั้นวัดแรงกดและจังหวะกดขณะทดสอบชิ้นงานพลาสติก ระบบการวัดแรงกดและจังหวะการกดแสดงดังรูปที่ 3 เนื่องจากเครื่องทดสอบความแข็งผลิตมาเพื่อการทดสอบ

ตารางที่ 3 ผลการวัดแรงกดขณะทดสอบชิ้นงานพลาสติก

Parameters	Dead weight type	Load cell type
F_0 (kg)	10.06	10.02
F (kg)	60.36	60.12



รูปที่ 3 ระบบการวัดแรงกดและจังหวะเวลาการกด



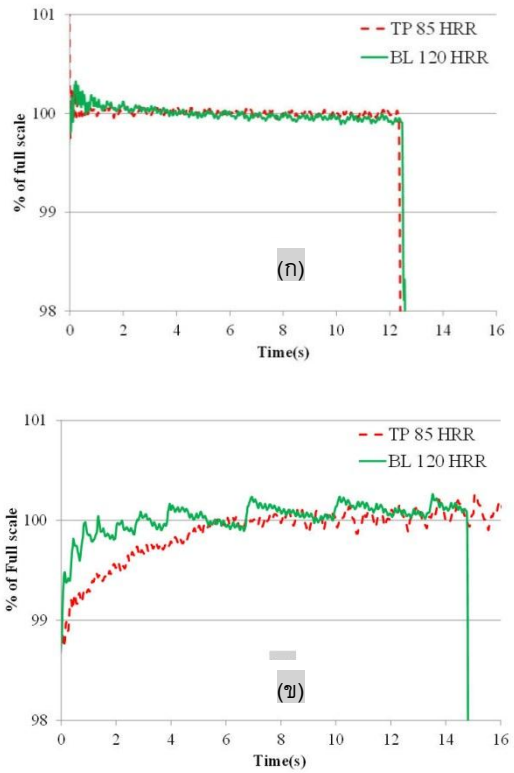
รูปที่ 4 จังหวะเวลาการกดทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 785-03 ของเครื่องวัดความแข็งแบบ deadweight (ก) และ load cell (ข), โดยเส้นทึบคือผลการวัดจาก ก้อนความแข็ง และเส้นประคือผลจากแผ่นพลาสติก

โลหะตามมาตรฐาน ASTM E 18 เป็นหลัก จึงไม่เอื้ออำนวยที่ผู้ใช้งานทั่วไปจะสามารถตั้งค่าตามมาตรฐาน ASTM D 785-03 ได้เอง ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือที่ได้จัดทำขึ้นตั้งค่าจังหวะการกดขณะทดสอบชิ้นงานมาตรฐาน certified reference hardness block 120 HRR ก่อนดำเนินการทวนสอบในช่วงการทดสอบพลาสติกผลการวัดแรงกดแสดงดังตารางที่ 3 และจังหวะการกดแสดงดังกราฟในรูปที่ 4(ก) และ 4(ข)

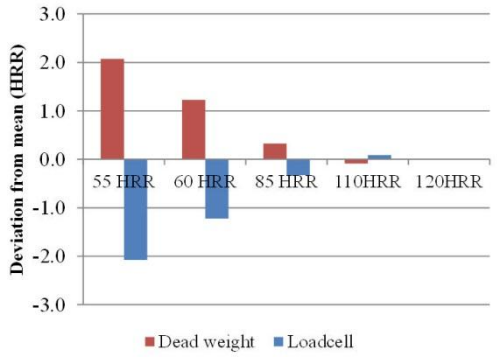
จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าเครื่องทดสอบความแข็งชนิด deadweight มีปริมาณแรงกด 10kgf ±0.54% และ 60kgf ±0.63% สำหรับแรงกดเริ่มต้น (preliminary test force, F_0) และแรงกดทั้งหมด (total test force, F) จังหวะเวลาการกดด้วยแรงกดทั้งหมด (t_x) วัดได้ 14.75 วินาที และแรงกดเบื้องต้นหลังถอนแรงทั้งหมดแล้ว (t_y) วัดได้ที่ 15.2 วินาที ซึ่งถูกต้องตามมาตรฐาน ASTM D 785-03 กำหนด

ในขณะที่เครื่องทดสอบความแข็งชนิด Load cell มีปริมาณแรงกด 10kgf ±0.19% และ 60kgf ±0.21% สำหรับ F_0 และ F ถูกต้องตามมาตรฐาน ASTM D 785-03 กำหนด แต่มีจังหวะการกดนานกว่ามาตรฐานการกดอยู่ 26.53 วินาที สำหรับ t_x และ 25.25 วินาที สำหรับ t_y นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณความคลาดเคลื่อนของจังหวะเวลาสัมพันธ์กับปริมาณความแข็ง ซึ่งจังหวะทดสอบจะมีความคลาดเคลื่อนน้อยลงเมื่อทำการทดสอบชิ้นงานที่มีความแข็งมากขึ้น ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากเครื่องทดสอบชนิด load cell ใช้เวลาในการจ่าย และเวลาถอนแรงกด F_1 นานกว่าเครื่องทดสอบชนิด deadweight อย่างชัดเจนโดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลาที่ใช้ในช่วง 99% ถึง 100% ของ F_1 ใช้เวลาถึง 6 ถึง 8 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 6(ก) และ 6(ข)

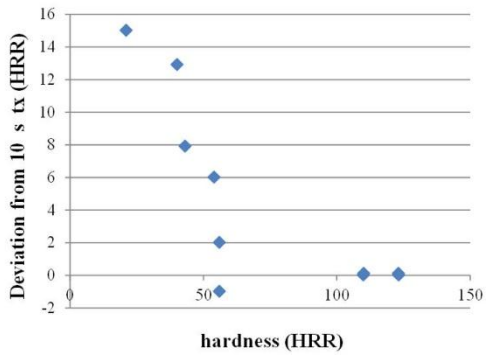
จากผลการทดลองอาจกล่าวได้ว่า เครื่องทดสอบความแข็งชนิด load cell ไม่สามารถรักษาจังหวะการกดให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ได้เมื่อนำมาใช้ทดสอบชิ้นงานพลาสติก และค่าคลาดเคลื่อนดังกล่าวมีปริมาณเป็นสัดส่วนตามปริมาณความแข็งที่ทำการทดสอบ เนื่องจากพลาสติกมีระยะจมในการทดสอบมากกว่าโลหะ ซึ่งระยะจมที่มากกว่าย่อมต้องใช้เวลาจ่ายหรือถอนแรงกดนานกว่า และใช้เวลาควบคุมแรงกดให้เข้าสู่คำสั่งในช่วง 99% ถึง 100% ของ F_1 นานกว่าเครื่อง deadweight เป็นไปตามลักษณะสมบัติความคืบ (indentation creep) ของพลาสติกเอง



รูปที่ 6 แรงกด F_1 ในช่วง 99% ถึง 100% ของเครื่องวัดความแข็งแบบ deadweight (ก) และ Load cell (ข), โดยเส้นทึบคือผลการวัดจาก ก้อนความแข็ง และเส้นประคือผลการวัดจากแผ่นพลาสติก



รูปที่ 7 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบความแข็งในหน่วย HRR ของเครื่องวัดความแข็งทั้งสองแบบ



รูปที่ 8 ค่าเบี่ยงเบนของความแข็งที่จังหวะการกด F_1 ที่ 10 และ 20 วินาที

3.4. เปรียบเทียบผลการทดสอบชิ้นงานพลาสติก

ผลเปรียบเทียบผลการทดสอบความแข็งหน่วย HRR ที่ได้จากเครื่องทดสอบความแข็งชนิด Dead weight และ load Cell ที่ความแข็ง 55HRR, 60HRR, 85 HRR แสดงดังรูปที่ 7 ที่ชิ้นงานทดสอบ 110 HRR และ 120 HRR พบว่าเครื่องทดสอบความแข็งทั้งสองให้ผลทดสอบที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่ความแข็งต่ำกว่า 100 HRR พบว่าเครื่องทดสอบความแข็งชนิด load cell ให้ผลการทดสอบต่ำกว่าชนิด deadweight อย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผลการทดสอบของเครื่องทดสอบชนิด load cell จะให้ผลการทดสอบที่ต่ำกว่าชนิด deadweight มากขึ้นเมื่อความแข็งของชิ้นงานทดสอบมีค่าความแข็งน้อยลง

อธิบายได้จากจังหวะเวลาที่จ่ายและควบคุม F_1 มีเวลานานกว่าที่มาตรฐานกำหนดดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยชิ้นงานที่มีความแข็งน้อยกว่า เครื่องทดสอบชนิด load cell จะใช้เวลาการจ่ายและควบคุม F_1 นานมากกว่า ทำให้หัวกด Indenter จมลึกมากและมีความคืบ (creep) ไปตามเวลา ระยะจมที่มากกว่าปกติทำให้เครื่องทดสอบรายงานผลทดสอบนิ่มกว่าปกติด้วย

เพื่อยืนยันผลกระทบของเวลากด F_1 ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความแข็งชิ้นงานพลาสติกอีกครั้ง โดยเปรียบเทียบผลทดสอบความแข็งระหว่างการตั้งค่าจังหวะการกด F_1 ที่ 10 วินาที กับ 20 วินาที ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งชนิด Load cell ผลการทดลองแสดงในรูปของค่าเบี่ยงเบนความแข็งที่จังหวะเวลากด 20 วินาทีไปจากผลการทดสอบที่ 10 วินาที(แสดงในรูปที่ 8) ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองข้างต้นนั้นคือจังหวะเวลากดที่นานกว่าจะให้ผลการทดสอบความแข็งที่ต่ำกว่า และมีแนวโน้มความแข็งลดลงเมื่อชิ้นงานทดสอบมีความแข็งที่ต่ำลง

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลงานวิจัยนี้ยืนยันได้ว่า เครื่องทดสอบความแข็งชนิด deadweight ที่ผ่านการทวนสอบว่าเป็นไปตาม ASTM E 18-14 แล้วนั้น สามารถให้สมรรถนะการปฏิบัติการทดสอบชิ้นงานพลาสติกได้เป็นไปตาม ASTM D 785-03 ในขณะที่เครื่องทดสอบความแข็งแบบ load cell แม้ผลการทวนสอบยืนยันว่าเป็นไปตาม ASTM E 18-14 แล้วก็ตาม แต่ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะไม่สามารถปฏิบัติการทดสอบชิ้นงานพลาสติกตาม ASTM D 785-03 เนื่องมาจากการใช้เวลาในการจ่ายแรงกดที่นานกว่าปกติ อันเป็นเหตุให้มีค่าคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบความแข็ง นอกจากนั้นเครื่องทดสอบความแข็งทั่วไปยังไม่เอื้ออำนวนต่อการตั้งค่าการทดสอบตาม ASTM D 785-03 จึงจำเป็นต้องตรวจสอบแบบ direct verification ในช่วงความแข็งของการทดสอบพลาสติก เพื่อให้มั่นใจว่าสามารถปฏิบัติการทดสอบได้อย่างถูกต้อง แต่อย่างไรก็ดีเราอาจสามารถลดความผิดพลาดของจังหวะเวลาการจ่ายแรงกดของเครื่องทดสอบความแข็งชนิด load cell ได้โดยการหาความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดดังกล่าวกับค่าความแข็งทดสอบ ซึ่งอาจนำไปสู่การชดเชยหาค่า setting time ที่เหมาะสมได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์สนับสนุนวัสดุทดสอบ, เครื่องทดสอบความแข็ง ตลอดจนสถานที่ทำการวิจัยจากบริษัท UBE Technical Center (Asia) limited (UTCA) ซึ่งทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาศนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ISO 2039-1, Plastics- Determination of hardness Part 1: Ball indentation method, 3rd edition, 2001.

[2] ASTM D 785-03, Standard test method for Rockwell hardness of plastics and electrical insulating materials, 2003.

[3] ASTM E 18-14, Standard test methods for Rockwell hardness of metallic materials, 2014

[4] Gunwoong Bahng, Hyung tak, Effect of time releated parameters on Rockwell hardness measurement of polymers, IMEKO 2010 TC3, TC5 and TC22 conferences, November 22-25, 2010.

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบหาอุณหภูมิอ่อนตัว

Design and Construct Heat Deflection Temperature Testing Machine

เดชา สุขมา[1*] เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ[2] มนูญ เลิศวิจิตรพันธุ์[3]
[1]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม
[2]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศิลปากร คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม
[3]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการเชื่อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ E-mail: Sukma_D@su.ac.th*

Dacha Sukma[1*] Akesit Chanintarapoom[2] Manoon Lertvijitpun[3]
[1]Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom
[2]The Demonstration School of Silpakorn University, Nakhon Pathom
[3]Department of Welding Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut´s University of Technology North Bangkok E-mail: Sukma_D@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบหาอุณหภูมิอ่อนตัว (Heat Deflection Temperature, HDT) ของพลาสติกสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ASTM D648-01 โครงสร้างของเครื่องมือดังกล่าวแบ่งเป็นสองส่วนคือส่วนควบคุมอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิและส่วนวัดการโก่งงอของชิ้นตัวอย่างตามแรงกดตามมาตรฐาน ส่วนควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วยอ่างน้ำมันสองอ่าง โดยอ่างแรกจะมีฮีตเตอร์และระบบควบคุมอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในอัตรา 2 °C/min. และอ่างที่สองสำหรับแช่ชิ้นตัวอย่างได้พร้อมกันสี่ชิ้นงานตัวอย่างโดยมีหัววัดอุณหภูมิของชิ้นตัวแต่ละตัวแยกอิสระ ระหว่างอ่างน้ำมันทั้งสองติดตั้งปั๊มไหลเวียนน้ำมันเพื่อให้อุณหภูมิสม่ำเสมอทั้งสองอ่าง ระบบวัดการโก่งงอประกอบด้วยระบบการยึดจับชิ้นตัวอย่างพร้อมชุดควบคุมแรงกดเพื่อให้เกิดความเค้นบนชิ้นงานตามมาตรฐานและไดอัลเกจจำนวนสี่ตัวเพื่อวัดการโก่งงอของแต่ละชิ้นตัวอย่างที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ เครื่องมือทดสอบ HDT ที่สร้างขึ้นนำมาทดสอบกับพลาสติกทั้งสามชนิดคือ LLDPE LDPE และ PP ผลการทดลองพบว่า LLDPE มีการโก่งงอที่ 0.25 mm มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 45.7 °C LDPE มีการโก่งงอที่ 0.25 mm มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 45.0 °C และผลการทดลองพบว่า PP มีการโก่งงอที่ 0.25 mm มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 74.0 °C ซึ่งสอดคล้องกับค่ามาตรฐานของผู้ผลิตทั้งสามชนิดโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

คำหลัก HDT Heat Deflection Temperature LLDPE LDPE PP

Abstract

This research was aimed to design and construct a heat deflection temperature (HDT) testing machine, in order to measure a deflection temperature under flexural load of the test specimens for using according to ASTM D648-01. It consisted of two parts: first the temperature control system and second the measurement module for deflection temperature of specimens. The first part was made of two heating oil baths; first being the bath with the heating system, where the heating rate was controlled at 2 °C/min, and second being used for measurement system, where the duplicates of 4 specimens set with individual temperature measurements. Two baths of oil baths were connected with circulating pump. The

testing machine was then used to measure the HDT temperatures of LLDPE LDPE and PP. The results showed that the average HDT temperatures of LLDPE, LDPE and PP were 45.7 ° C, 45.0 ° C and 74.0 ° C, respectively. The results were in good agreement with the standard values reported of producer within 5% accuracy.

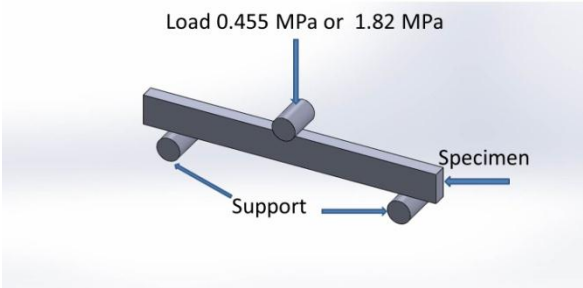
Keywords: Heat Deflection Temperature, ASTM D648-01, LLDPE, LDPE, PP

1. บทนำ

ชิ้นงานเมื่อได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุโดยตรงทั้งนี้โดยเฉพาะวัสดุจำพวกพลาสติกจะส่งผลต่อความแข็งแรงคือความแข็งแรงจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อถึงอุณหภูมิจุดจุดหนึ่งชิ้นงานจะเกิดการยืดตัวและเสียรูปร่างไปจากเดิมหรือเรียกว่าอุณหภูมิอ่อนตัว การทดสอบหาอุณหภูมิอ่อนตัวมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่วิศวกร นักวิจัย ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือการนำวัสดุจำพวกพลาสติกไปใช้งานในช่วงของอุณหภูมิต่างๆ โดยไม่เกิดความเสียหายกับชิ้นงาน เครื่องทดสอบ HDT เป็นเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีราคาค่อนข้างสูง และงบประมาณที่ได้ในแต่ละปีไม่สามารถที่จะจัดซื้อเครื่องทดสอบได้ จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบ HDT ให้มีคุณภาพเทียบเท่าเครื่องทดสอบมาตรฐาน โดยใช้งบประมาณที่ต่ำสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อการเรียนการสอน

2. ทฤษฎีการทดสอบหาอุณหภูมิอ่อนตัว

การทดสอบหาอุณหภูมิอ่อนตัวที่ ตามมาตรฐาน ASTM D648-01 [1] มี 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 ชิ้นงานทดสอบซึ่งมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีแรงกระทำต่อชิ้นงานที่ตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบ เพื่อให้เกิดความเค้นขนาด 0.455 MPa (66 psi) และระยะห่างของจุดรองรับมีระยะห่างคือ 101.6 mm วิธีที่ 2 ชิ้นงานทดสอบซึ่งมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีแรงกระทำต่อชิ้นงานที่ตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบ เพื่อให้เกิดความเค้นขนาด 1.82 MPa (264 psi) และระยะห่างของจุดรองรับมีระยะห่างคือ 100.0 mm ดังรูปที่ 1 แรงที่กระทำกับชิ้นงานทั้งสองวิธีจะทำให้เกิดการการโก่งงอของชิ้นงานทดสอบเพียงเล็กน้อยไม่เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานทดสอบ หากชิ้นงานทดสอบได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้ชิ้นงานทดสอบเกิดการโก่งงอมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งชิ้นทดสอบมีการโก่งงอถึงค่าที่กำหนดคือ 0.25 mm จึงทำการบันทึกค่าของอุณหภูมิอ่อนตัวหรือเรียกว่า ค่า HDT



รูปที่ 1 ภาระโหลดที่ให้กับชิ้นงานทดสอบ

2.1 การคำนวณหาน้ำหนัก

ชุดมวลน้ำหนักที่จะกระทำกับชิ้นงาน เพื่อให้ได้ความเค้นขนาด 0.455 MPa หรือ 1.82 MPa ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 1 และหาน้ำหนักมวลสำหรับกดชิ้นงานทดสอบได้จากสมการที่ 2

$$F = 2sb^2t/3L \quad (1)$$

$$m_w = (F - F_s)/9.80665 - m_r \quad (2)$$

โดยที่ F = โหลด (N)

S = ความเค้นที่เกิดในชิ้นงานทดสอบ (0.455 MPa หรือ 1.82 MPa)

b = ความกว้างขนาดชิ้นงานทดสอบ (mm)

t = ความหนาชิ้นงานทดสอบ (mm)

L = ระยะห่างของจุดรองรับ (mm)

m_w = น้ำหนักมวลที่เพิ่ม (kg)

F_s = แรงต้านของสปริงของไดอัลเกจ (N)

m_r = น้ำหนักของชุดกด (kg)

2.2 การคำนวณค่าพลังงานความร้อน

ในการหาค่าพลังงานที่ทำให้น้ำมันมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากอุณหภูมิ 25 °c เป็น 265 °c โดยมีชุดจับยึดชิ้นงานและหัวกด (สแตนเลสน้ำหนักรวม 10 kg) ที่แช่อยู่ในอ่างน้ำมันปริมาตร 12 ลิตร สามารถหาค่าพลังงานความร้อนได้จากสมการที่ 3

$$Q = m_o c_o \Delta t + m_s c_s \Delta t \quad (3)$$

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อน (J)

m_o = มวลของน้ำมัน (kg)

(Density of oil = 0.877 g/ml)

c_o = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมัน = 1.69 (kJ/kg.K)

m_s = มวลของชุดจับยึดชิ้นงาน (สแตเลส) (kg)

(Density of Stainless 304 = 8000 kg/m^3)

c_s = ค่าความร้อนจำเพาะของสแตนเลส = 0.50 (kJ/kg.K)

Δt = ค่าอุณหภูมิที่แตกต่าง (K)

แต่เนื่องจากต้องให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 2 ° C/min. ดังนั้นค่าพลังงานที่คำนวณได้จะต้องคูณสองเท่า

3. การออกแบบเครื่องทดสอบ

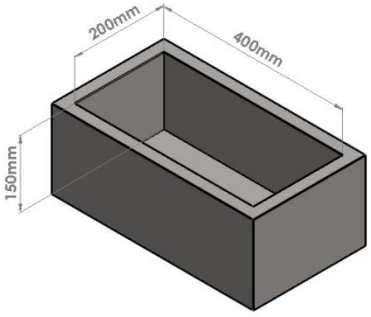
ในการออกแบบเครื่องทดสอบ HDT ประกอบด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

3.1 โครงสร้างหลัก

สร้างจากสแตนเลส (Stainless Steel) โดยมีขนาดกว้าง 600 mm ยาว 1200 mm สูง 720 mm

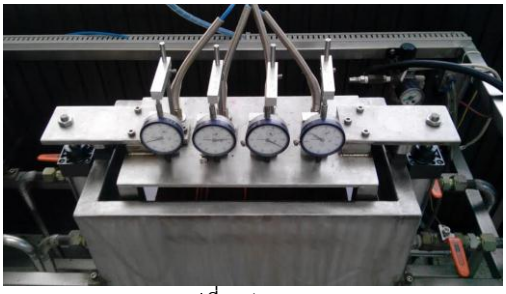
3.2 ระบบชุดอ่างน้ำมัน (Immersion Bath)

จากการศึกษาเครื่อง HDT ที่มีจำหน่าย ในส่วนใหญ่เป็นของนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง และระบบอ่างจะเป็นแบบอ่างเดียวและสามารถทดสอบชิ้นทดสอบได้ 1-3 ชิ้นทดสอบ ในงานวิจัยได้ออกแบบอ่างออกเป็นสองอ่างเพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำ ทั้งนี้อ่างน้ำมันทั้งสองอ่างมีขนาดเท่าๆ กัน สร้างจากสแตนเลส มีขนาดวัดภายในกว้าง 200 mm. ยาว 400 mm สูง 150 mm ดังรูปที่ 2 โดยอ่างแรกขอเรียกชื่อว่า อ่างร้อนจะติดตั้งฮีตเตอร์ขนาด 3000 วัตต์ เพื่อสร้างอุณหภูมิของน้ำมันให้สูงขึ้นดังรูปที่ 3 และอ่างที่สองขอเรียกชื่อว่า อ่าง HDT เป็นอ่างสำหรับทดสอบชิ้นงานเพื่อหาอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการโก่งงอที่ 0.25 mm ดังรูปที่ 4 และติดตั้งปั๊มไหลเวียนน้ำมันเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างทั้งสองอ่าง



รูปที่ 2 ขนาดอ่างวัดภายใน

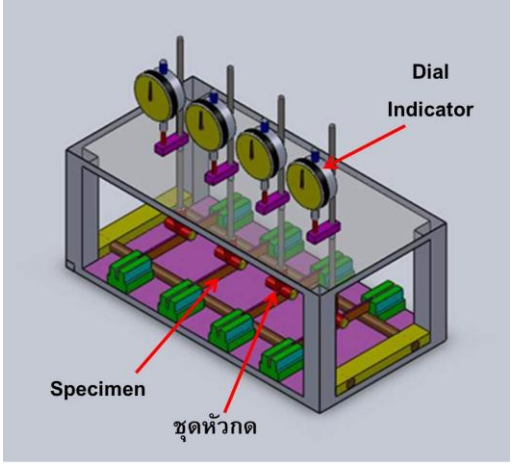
รูปที่ 3 อ่างร้อนจะมีฮีตเตอร์ติดตั้งอยู่ภายในอ่าง



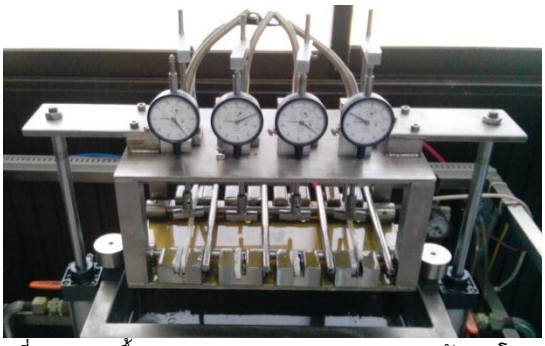
รูปที่ 4 อ่าง HDT

3.3 ชุดทดสอบ HDT และการวัดการโก่งงอ

การออกแบบชุดทดสอบ HDT และการวัดการโก่งงอ มีการจัดวางชิ้นส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยชุดจับยึดชิ้นงานทดสอบ ชุดแกนกดเพื่อส่งแรงกดต่อชิ้นงานทดสอบ และหัววัด Dial Indicator สำหรับวัดการโก่งงอจะติดตั้งอยู่ส่วนบน เมื่อนำชิ้นงานทดสอบ (Specimen) เข้าวางในชุดจับยึดชิ้นงาน และมีชุดน้ำหนักที่สามารถเพิ่มแรงกดต่อชิ้นทดสอบเพื่อให้ได้แรงกดที่ 0.455 MPa (66 psi) หรือแรงกดขนาด 1.82 MPa (264 psi) ในการออกแบบได้ออกแบบเพื่อให้สามารถทดสอบชิ้นงานพร้อมกันได้ 4 ชิ้น เนื่องจากชุดดังกล่าวมีน้ำหนักมากและในการใช้งานขณะทดสอบความร้อนจากน้ำมันซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงจะถูกถ่ายเทความร้อนมายังโครงสร้างทำให้เกิดความร้อนสูงจึงไม่เหมาะที่จะจับหรือยกด้วยมือ จึงได้ออกแบบระบบยกชุดทดสอบ HDT และการวัดการโก่งงอ เพื่อยกขึ้นและยกลงในอ่าง HDT ด้วยระบบนิวเมติก (Pneumatic Systems) ดังรูปที่ 6



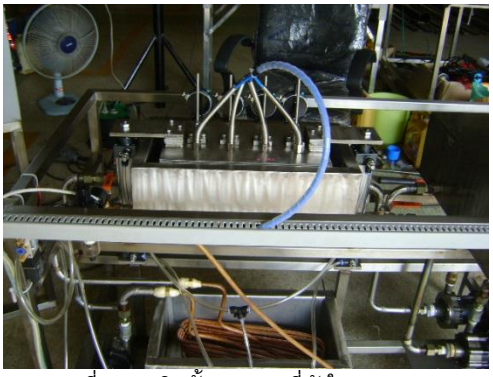
รูปที่ 5 ชุดทดสอบ HDT และการวัดการโก่งงอ



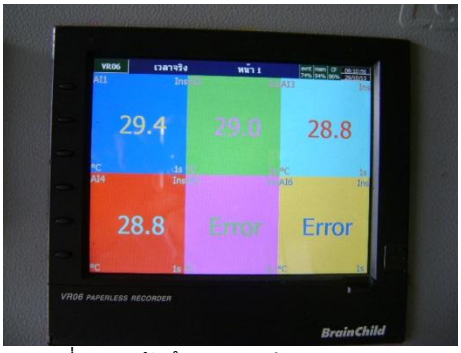
รูปที่ 6 การยกขึ้น-ลง ของชุดทดสอบ HDT และการวัดการโก่งงอด้วยระบบนิวเมติก

3.4 การควบคุมอุณหภูมิและการบันทึกอุณหภูมิ

การควบคุมของน้ำมันของอ่างทั้งสองให้มีอุณหภูมิของน้ำมันให้สูงขึ้นในอัตรา 2 °C/min. ด้วย Temperature Controller ของ Linking Model PLT900 ใช้ Sensor Type K ไว้ในอ่างร้อน ในการวัดอุณหภูมิของน้ำมันในอ่าง HDT ได้ติด Sensor Type K จำนวน 4 หัว ดังรูปที่ 7 โดยหัว Sensor ทั้งสี่หัวจะต่ออยู่กับ Data Logger ของ Brainchild Model VR06 ดังรูปที่ 8 เพื่อบันทึกอุณหภูมิของน้ำมันขณะทำการทดลองตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการทดลอง



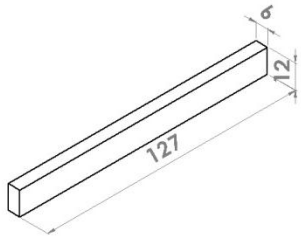
รูปที่ 7 การติดตั้ง Sensor สี่หัวในอ่าง HDT



รูปที่ 8 การบันทึกอุณหภูมิด้วย Data Logger

4. ผลการทดสอบ

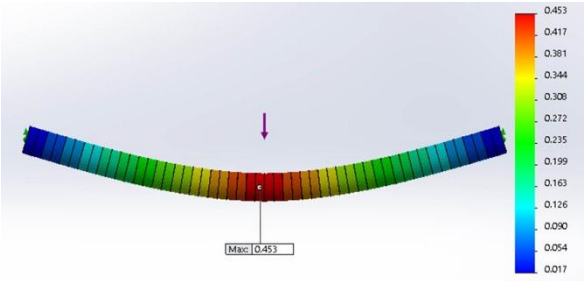
ในการทดสอบเครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อหาค่าอุณหภูมิอ่อนตัว วัสดุที่นำมาทดสอบทั้ง 3 ชนิด คือ Linear low density polyethylene (LLDPE) Low density polyethylene (LDPE) และ Polypropylene (PP) ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบ (Specimen) ซึ่งได้จากการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) ให้มีขนาดกว้าง 12 mm ยาว 127 mm และความหนา 6 mm ดังรูปที่ 9 และเลือกการทดสอบแบบวิธีที่ 1 คือ ใช้แรงกดเพื่อให้เกิดความเค้นขนาด 0.455 MPa และระยะห่างของจุดรองรับมีระยะห่างคือ 101.6 mm



รูปที่ 9 ขนาดชิ้นงานทดสอบ (Specimen)

4.1 การทดสอบค่าน้ำหนักกด

การคำนวณหาค่าน้ำหนักจากสมการที่ 1 เพื่อกดชิ้นงานทดสอบเพื่อให้ได้แรงกด 0.455 MPa ได้ค่าน้ำหนักจากการคำนวณคือ 257.9 g และนำผลจากการคำนวณมาจำลองหาค่า Stress ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) ซึ่งผลการจำลอง (Simulation)พบว่าค่า Stress คือ 0.455 MPa ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ค่า Stress สูงสุดที่ 0.455 MPa

4.2 ผลการทดสอบ LLDPE

ในการทดลองหาอุณหภูมิอ่อนตัวทำให้เกิดการโก่งงอที่ 0.25 mm ได้นำชิ้นงานทดสอบ (Specimen) ที่เตรียมจาก LLDPE จำนวน 4 ชิ้นทดสอบ วางในชุดทดสอบ HDT และการวัดการโก่งงอ ให้ค่าแรงกดให้กับชิ้นงานทดสอบ ที่ 0.455 MPa แล้วนำลงในอ่าง HDT เมื่อวางน้ำหนักกดชิ้นงานทดสอบครบ 5 นาที ให้ set zero ของเข็มวัด Dial Indicator โดยการหมุนให้ตำแหน่ง 0 ให้ตรงกับเข็มชี้ กดสวิตซ์เพื่อ Run โปรแกรมการทำงาน โดย Temperature Controller จะควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองให้เพิ่มขึ้น 2 °C/min.จนกระทั่งเข็ม Dial Indicator มีการเปลี่ยนแปลงที่ 0.25 mm จะบันทึกผลการทดลองนี้คือค่าอุณหภูมิอ่อนตัวหรือค่า HDT ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1 ซึ่งพบว่า LLDPE ชิ้นงานทดสอบที่ 1 มีค่าของอุณหภูมิอ่อนตัว โดยมีค่า HDT คือ 43.2 °C LLDPE ชิ้นงานทดสอบที่ 2 มีค่าของอุณหภูมิอ่อนตัว โดยมีค่าHDT คือ 47.3 °C LLDPE ชิ้นงานทดสอบที่ 3 มีค่าของอุณหภูมิอ่อนตัว โดยมีค่า HDT คือ 42.7 °C LLDPE ชิ้นงานทดสอบที่ 4 มีค่าของอุณหภูมิอ่อนตัว โดยมีค่า HDT คือ 49.5 °C เมื่อคิดค่าเฉลี่ยของ LLDPE พบว่ามีค่าอุณหภูมิอ่อนตัวเฉลี่ย มีค่า HDT เฉลี่ย คือ 45.7 °C

ตารางที่ 1ผลการทดสอบอุณหภูมิทำให้เกิดการโก่งงอของ LLDPE

Specimen	Deflection Temperature (°C)					
LLDPE	0 mm	0.05 mm	0.1 mm	0.15 mm	0.2 mm	0.25 mm
1	23.8	40.1	41.3	41.9	42.4	43.2
2	23.8	39.9	42.2	43.8	46.5	47.3
3	24.0	37.7	38.8	40.2	41.4	42.7
4	23.9	24.2	48.5	47.7	48.4	49.5
					ค่าเฉลี่ย	**45.7**

4.3 ผลการทดสอบ LDPE

ในการทดสอบ LDPE ทำเช่นเดียวกับ LLDPE ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า LDPE ชิ้นงานทดสอบที่ 1 มีค่าของอุณหภูมิอ่อนตัว โดยค่า HDT คือ 40.1 °C LDPE ชิ้นงานทดสอบที่ 2 มีค่าของอุณหภูมิอ่อนตัว โดยมีค่า HDT คือ 42.2 °C LDPE ชิ้นงานทดสอบที่ 3 มีค่าของอุณหภูมิอ่อนตัว โดยมีค่า HDT คือ 49.6 °C LDPE ชิ้นงานทดสอบที่ 4 มีค่าของอุณหภูมิอ่อนตัว โดยมีค่า HDT คือ 48.1 °C เมื่อคิดค่าเฉลี่ยของ LDPE พบว่ามีค่าอุณหภูมิอ่อนตัวเฉลี่ย มีค่า HDT เฉลี่ย คือ 45.0 °C

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบอุณหภูมิทำให้เกิดการโก่งงอของ LDPE

Specimen	Deflection Temperature (°C)					
LDPE	0 mm	0.05 mm	0.1 mm	0.15 mm	0.2 mm	0.25 mm
1	30.9	34.2	36.4	38	39.8	40.1
2	30.2	36.0	37.8	39.5	41.1	42.2
3	30.5	43.4	46	47.5	49.2	49.6
4	30.7	41.1	42.8	43.8	47.4	48.1
					ค่าเฉลี่ย	**45.0**

4.4 ผลการทดสอบ PP

ในการทดสอบ PP ทำเช่นเดียวกับ LLDPE ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่า PP ชิ้นงานทดสอบที่ 1 มีค่าของอุณหภูมิอ่อนตัว โดยมีค่า HDT คือ 76.1 °C PP ชิ้นงานทดสอบที่ 2 มีค่าของอุณหภูมิที่อ่อนตัว โดยมีค่า HDT คือ 72.2 °C PP ชิ้นงานทดสอบที่ 3 มีค่าของอุณหภูมิอ่อนตัว โดยมีค่า HDT คือ 78.8 °C PP ชิ้นงานทดสอบที่ 4 มีค่าของอุณหภูมิอ่อนตัว โดยมีค่า HDT คือ 68.9 °C เมื่อคิดค่าเฉลี่ยของ PP พบว่ามีค่าอุณหภูมิอ่อนตัวเฉลี่ย มีค่า HDT เฉลี่ย คือ 74.0 °C

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบอุณหภูมิทำให้เกิดการโก่งงอของ PP

Specimen	Deflection Temperature (°C)					
PP	0 mm	0.05 mm	0.1 mm	0.15 mm	0.2 mm	0.25 mm
1	28.3	51.3	56.2	68.2	72.2	76.1
2	27.6	49.0	56.3	63.9	69.5	72.2
3	27.9	49.6	60.7	67.3	73.3	78.8
4	28.4	50.5	50.5	51.0	55.4	68.9
					ค่าเฉลี่ย	**74.0**

5. สรุป

จากการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบหาอุณหภูมิอ่อนตัว สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อการเรียนการสอน วัสดุที่นำมาทดสอบทั้ง 3 ชนิด คือ LLDPE LDPE และ PP ตามมาตรฐาน ASTM D648-01 ชิ้นงานทดสอบซึ่งมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง 12 mm ยาว 127 mm และความหนา 6 mm มีแรงกระทำกับชิ้นงานทดสอบบริเวณกึ่งกลางมีค่าความเค้นขนาด 0.455 MPa และมีระยะห่างของจุดรองรับ 101.6 mm ผลการทดสอบพบว่า ชิ้นงานทดสอบ LLDPE เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 2 °C/min.ไปอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบมีการโก่งงอที่ 0.25 mm พบว่าอุณหภูมิอ่อนตัว หรือเรียกว่า ค่า HDT มีค่า HDT เฉลี่ย คือ 45.7 °C ซึ่งมีผลทดสอบที่สอดคล้องกับค่ามาตรฐานของ LLDPE ซึ่งมีค่า 38-49 °C [1-5] สำหรับ LDPE ชิ้นงานทดสอบ LDPE เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 2 °C/min.ไปอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบมีการโก่งงอที่ 0.25 mm พบว่าอุณหภูมิอ่อนตัว มีค่า HDT เฉลี่ย คือ 45.0 °C ซึ่งมีผลทดสอบที่สอดคล้องกับค่ามาตรฐานของ LDPE ซึ่งมีค่า 38-49 °C [1-5] และ PP ชิ้นงานทดสอบ PP เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 2 °C/min.ไปอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบมีการโก่งงอที่ 0.25 mm พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการโก่งงอ มีค่า HDT เฉลี่ย คือ 74.0 °C ทั้งนี้ค่า HDT ของ PP จากมาตรฐาน มีค่า 71-83 °C [1-5]

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนพัฒนาการเรียนการสอน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส แซ่ด่าน ที่ให้คำปรึกษาในการวิจัยจนงานวิจัยสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] ASTM D648-1 Standard Test Method for Deflection Temperature of Plastics under Flexural Load in the Edgewise Position

[2] Utai Meekum, Sandwich Material From PP Blens Skin and X-HDPE Core Manufactured By Co-Injection Moling, School of Polymer Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima , Thailand,

[3] Muhab S., Shalby Hassanien, Evaluation and Improvement of Mechanical, Thermal and Rheological Properties of Polypropylene (PP) using Linear Low Density Polyethylene (LLDPE), International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT) Volume 3, May 2014

[4] Hassanien M S., Seedahmed A I, Mechanical and Rheological/Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) Blend Filled with the Talc and Calcium Carbonate, International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), 2015

[5] Shri Kant , Urmila , Jitendra kumar , Gaurav Pundir, Study of Talc Filled Polypropylene-a Concept for Improving Mechanical Properties of Polypropylene, International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET), 2013

การปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานมาแล้วโดยใช้สารควบคู่

Effects of Filler on the Mechanical Property of High Density Polyethylene and Polypropylene.

จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร[1]* อนุชิต คงฤทธิ์
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
[2]โปรแกรมวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
E-mail: jittiwat.ni@rmuti.ac.th*

Jittiwat Nithikarnjanatharn[1]* Anuchit Khongrit[2]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Isan, Muang, Nakornratchasima, 30000,
[2]Indsutrail management Program, Faculty of Industrial technology,
Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Muang, Nakornratchasima, 30000,
E-mail: jittiwat.ni@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของของพอลิโพรพิลีน:พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งาน (r-PP:r-HDPE) ที่ใส่สารตัวเติม silane ที่ปริมาณผสม 0, 1, 3 และ 5 phr.ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin Screw Extruder) โดยการผสมในอัตราส่วนต่อน้ำหนักระหว่างพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานมาแล้วโดยใช้สารควบคู่ ดังนี้ 100:0, 80:20, 50:50, 20:80 และ 0:100 มีการทดสอบคุณสมบัติทางกลของค่าแรงดึงและความแข็ง ค่า Young's modulus ของ r-PP:r-HDPE คอมโพสิท เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมสาร silane ตามสัดส่วน ค่า Tensile Strength และค่าความแข็งของ r-PP:r-HDPE คอมโพสิทจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมสาร silane ที่มีสัดส่วน 50:50, 80:20 และ 100:0

คำหลัก สารตัวเติม, เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่, ค่าแรงดึง

Abstract

A study to improve the mechanical properties of Polypropylene: High density Polyethylene through recycled (r-PP: r-HDPE) using filler mixture of silane at 0, 1, 3 and 5 phr by twin screw extruder. The weights of the copolymer are high density propylene and polyethylene. Which the parallel was used the 100:0, 80:20, 50:50, 20:80 and 0:100 contents. The mechanical properties were tested for tensile and hardness. Young's modulus of r-PP: r-HDPE composite increases with silane content Tensile strength and Hardness of r-PP: r-HDPE composite increases with silane content at 50:50, 80:20 and 100:0 ratio

Keywords: Filler, Twin screw extruder, Tensile

1. บทนำ

ในปัจจุบันพอลิเมอร์ได้เข้ามามีบทบาทต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์และกระบวนการการผลิตในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ส่งผลให้อัตราการผลิตและใช้ประโยชน์วัสดุประเภทนี้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วพอลิเมอร์ชนิดที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ก็คือ พอลิเอทธิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE)และพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติที่จำเป็นต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ในงานอุตสาหกรรม

พอลีเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene ; HDPE)เป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติแข็งแรง เหนียว ใช้กับงานเป่าขึ้นรูป (Blow Moulding) โดยใช้ทำเป็นขวดพลาสติกและภาชนะบรรจุประเภทต่างๆ ที่ต้องทนต่อแรงดันและต้องมีแรงต้านทานสูง นอกจากนี้ยังใช้ในงานด้านการฉีดขึ้นรูป (Injection) เช่น ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อ และรางน้ำ ทั้งนี้ ท่อที่ทำจาก HDPE สามารถใช้แทนท่อที่ทำจากพีวีซีเนื่องจากมีความทนทานใกล้เคียงกัน แต่มีราคาถูกกว่า

พอลีโพรพิลีน(Polypropylene ; PP) เป็นพอลิเมอร์ที่ทนต่อการหักงอได้ปานกลาง ไม่ว่องไวต่อสารเคมี โปร่งแสงมากกว่า HDPE ป้องกันการผ่านของความชื้นได้สูง ป้องกันการผ่านของอากาศได้ต่ำ มีคุณสมบัติคล้าย HDPE ยอมให้แสงผ่านได้ดี สามารถมองเห็นอาหารที่บรรจุอยู่ภายในได้ ทนความร้อนได้สูงกว่า PE ถึง 149 องศาเซลเซียสรับแรงดึงได้ถึง 100,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และมีความเหนียวทนทานกว่า

จากที่กล่าวมาข้างต้นPP และ HDPE เป็นพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันจึงทำให้เกิดของเสีย (Waste) จากพอลิเมอร์เหล่านี้เพราะพอลิเมอร์มีการสลายตัวช้าจึงกลายเป็นระยะที่สร้างปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมวิธีการกำจัดขยะพอลิเมอร์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น นำไปถมดิน (Landfill) การนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิง(Incineration) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) อีกทางเลือกหนึ่งที่เป็นไปได้ คือการนำขยะพอลิเมอร์เหล่านั้นมาหลอมรวมกันใหม่เป็นกระบวนการผสมเชิงกล(Simple Blends หรือ Physical Blends) จากที่ได้ศึกษาการวิจัยพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกลของ

Tanoue และคณะ (2012) [1] ทำการวิจัยกระบวนการหลอมละลายของ PP/คาร์บอนนาโนทิวป์ โดยการใช้เครื่องเกลียวสกรูคู่ โดยการทดสอบสมบัติทางกล ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค และ การนำความร้อน พบว่าการกระจายตัวของคาร์บอนทำได้เป็นอย่างดี

JIAQI GU, HAIYAN XU และ CHIFEI WU [2] ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้สารเปอร์ออกไซด์เพื่อเชื่อมขวางสายโซ่ของพอลิเอทีลีนความหนาแน่นสูง และการผสมกับพอลิโพรพีลีน โดยการทำปฏิกิริยาในเครื่องอัดรีด เป็นการศึกษาอิทธิพลของสารเปอร์ออกไซด์ (DCP) และพอลิโพรพีลีน (PP) ที่ส่งผลต่อสมบัติ ของพอลิเมอร์ผสม การเพิ่มปริมาณของสารเปอร์ออกไซด์ทำให้อัตราการไหลของพอลิเมอร์หลอมลดลง และทำให้สมบัติในการทนต่อแรงกระแทกสูงขึ้น

M. Beltran และ C. MIJANGOS (2000) [3] ทำการศึกษาการกราฟสายโซ่และการเชื่อมขวางในน้ำร้อนของ พอลิโพรพีลีน โดยใช้สารเปอร์ออกไซด์เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาและ เชื่อมใช้สารไซเลนเป็นตัวเชื่อมขวางในประปริมาณที่แตกต่างกัน และเตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยวิธีการกดอัดด้วยความร้อน โดยทำการศึกษาสมบัติทางกล ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการใช้สารไซเลนที่สูงกว่า 4 phr ทำให้ความหนืดของพอลิโพรพิลีนหลอมสูงขึ้น เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของสมบัติทางกลที่ดีขึ้นด้วย ค่าความต้านทานแรงดึงและโมดูลัสสูงขึ้น

Yanjie An และคณะ (2008) [4] ได้ศึกษาปรับปรุงสมบัติการนำไปใช้ของพอลิโพรพีลีนโดยการสร้างเป็นพอลิโพรพีลีนที่มีความหนืดขณะหลอมละลายสูง (High melt strength polypropylene, HMSPP) โดยใช้เทคนิคการกราฟและเชื่อมขวางสายโซ่พอลิเมอร์โดยใช้สารไซเลน ผลการศึกษาโดยเทคนิค FTIR ทำให้ทราบถึงปฏิกิริยาของการกราฟระหว่างสายโซ่พอลิโพรพีลีนกับสารไซเลน ทำการวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติของ HMSPP ผลที่ได้ทำให้ทราบว่าปริมาณการกราฟของสารไซเลนที่สูงขึ้นเป็นตัวแปรสำคัญต่อค่าความหนืดขณะหลอมละลายจะสูงขึ้นตามไปด้วย

Kalyanee Sirisinha, Keskanok Kawko (2005) [5] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมขวางโครงสร้างร่างแห โดยไซเลนของพอลิโพรพีลีนที่ผสมแคลเซี่ยมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม การเพิ่มปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยาทำให้สายโซ่ของพอลีโพรพีลีนถูกตัดออก เป็นผลทำให้ความหนืดลดลง และการเชื่อมขวางสายโซ่โดยไซเลนทำให้สมบัติทางกลคือ ความต้านทานแรงดึงและโมดูลัสสูงขึ้น

Kalyanee Sirisinha, and Keskanok Kawko (2005) [6] ทำการวิจัยเกี่ยวกับการกราฟด้วยไซเลนและเชื่อมขวางสายโซ่ด้วยน้ำของพอลิโพรพีลีน โดยมุ่งเน้นการศึกษาสมบัติของการกราฟและการเชื่อมโยงสายโซ่ของผลิตภัณฑ์ ใช้การกราฟไซเลนโดยการหลอมโดยการใช้ไวนิลไซเลนและไดคิลมิลเปอร์ออกไซด์ อิทธิพลจากการเชื่อมขวางสายโซ่ต่อสมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพีลีนพบว่า โครงสร้างที่เกิดจากการเชื่อมขวางสายโซ่สามารถเพิ่มค่าโมดูลัส, ความเค้นแรงดึง

ด้วยเหตุผลข้างต้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการนำ PP และ HDPE ที่ผ่านการใช้งานแล้ว มาหลอมรวมกันใหม่ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin Screw Extruder) เพราะเป็นการหลอมรวมพอลิเมอร์สองชนิด เพื่อศึกษาและปรับคุณสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ ให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งานของพอลิเมอร์ ทั้งนี้อาศัยการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง r-PPกับ r-HDPE ที่สัดส่วนต่าง ๆ ด้วยการใช้สารที่เรียกว่า สารควบคู่ (Coupling agent) หรือสารที่ทำให้เข้ากันได้ (Compattibilizer) สารควบคู่ที่ใช้คือ silaneช่วยในการผสมและศึกษาสมบัติเชิงกล ของพอลิเมอร์ผสมr-PP กับ r-HDPEเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ของขยะ PP/HDPE และมีการศึกษาเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในงานอุตสาหกรรมต่อไป

2. วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาเรื่องคุณสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วโดยใช้สารควบคู่ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วยการการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการทดสอบ การขึ้นรูปชิ้นทดสอบ สำหรับการศึกษาวิเคราะห์สมบัติทางกล

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. พอลิโพรพิลีน (PP) และ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) จากการรีไซเคิลของบริษัทโคราชทีอาร์ซีพลาสติกจำกัด

2. สารควบคู่ปฏิกิริยาไซเลนชนิดไวนิลไตรทอกซี่ไซเลน (Vinyl-TriethoxySilane; VTMS) A-171จากบริษัทออฟติมอลเทค จำกัด

3.ตัวเริ่มปฏิกิริยาไดคิวเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl Peroxide; DCP)

2.2 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับ r-PP ผสมกับ r-HDPE ประกอบด้วย เครื่องชั่งน้ำหนักและเตาอบลมร้อน รูปที่ 1

(ก) (ข)

รูปที่ 1 (ก) เครื่องชั่งน้ำหนักพอลิเมอร์(ข) เตาอบลมร้อน

เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการขึ้นรูปชิ้นทดสอบประกอบด้วยเครื่องผสมพอลิเมอร์โดยการอัดรีดชนิดเกลียวสกรูคู่, แม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นทดสอบและเครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นทดสอบ

รูปที่ 2 เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง

รูปที่ 3 เครื่องทดสอบความแข็งDurometer แบบ Shore D

เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกล ดังในแสดงรูปที่ 2 เครื่องทดสอบความต้านแรงดึง และ รูปที่ 3 เครื่องทดสอบความแข็งแบบDurometerแบบ Shore Dยี่ห้อ TECLOCK รุ่น GS-702G Type D

2.3การเตรียมวัสดุ r-PP ผสมกับ r-HDPE สำหรับการขึ้นรูป

การเตรียม r-PP ผสมกับ r-HDPE สำหรับการอัดรีดเกลียวสกรูคู่เพื่อใช้ในการผสมVTMS กับ r-PP ผสม r-HDPE หลังจากนั้นจึงนำไปทำการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ในการทดลองนี้มีการกำหนดอัตราส่วนผสม r-PP กับ r-HDPE ที่สัดส่วน 0:100 , 20:80 , 50:50 , 80:20 และ100:0 โดยน้ำหนักและเติม VTMS เท่ากับ 0, 1, 3, 5 phrในแต่ละสัดส่วนที่ผสม

2.4ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบ

รูปที่ 4 เครื่องผสมแบบอัดรีดเกลียวคู่(Twin Screw Extruder)

รูปที่ 5เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

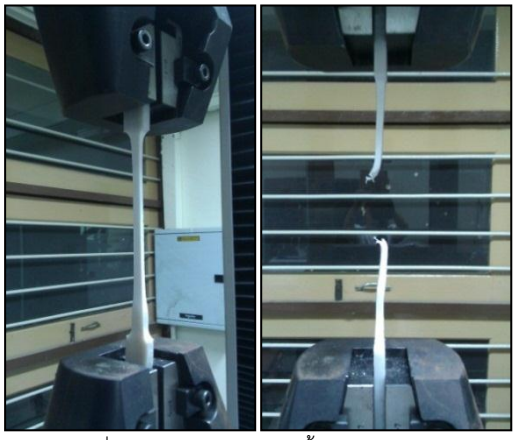
การขึ้นรูปชิ้นทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบของ ASTM เริ่มจากการที่นำส่วนผสมตามสัดส่วนต่างๆที่เตรียมไว้ใส่ในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin Screw Extruder)ดังรูปที่ 4 ความเร็วรอบ 150 rpm L/D 40 โดยทำการผสมพอลิเมอร์อย่างน้อยสัดส่วนครั้งละ 2 กิโลกรัม แล้วนำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปขึ้นรูปชิ้นทดสอบด้วยอัดขึ้นรูป (Compression molding)รุ่น PR2D-W30L350ดังรูปที่ 5 ที่สภาวะการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 200°Cแรงดัน 1,000 Psi โดยขึ้นรูปตามมาตรฐาน ASTM D638 สำหรับการทดสอบสมบัติแรงดึงและมาตรฐานASTM D256 สำหรับการทดสอบแรงกระแทกส่วนผสมละ 10 ชิ้นต่อการทดสอบ

2.5 ทดสอบสมบัติทางกล ของพอลิเมอร์ผสม r-PP/ r-HDPE

1. การทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง (Tensile test)

ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบจะเป็นชิ้นงานแบบ Dog Bone ตามมาตรฐาน ASTM D638 Type I ความยาวเกจ50 มิลลิเมตร ซึ่งขึ้นรูปด้วยวิธีอัดขึ้นรูป (Compression Molding)ดังรูปที่ 6 ชิ้นงานจะถูกนำไปทดสอบด้วยเครื่องแรงดึง Universal Testing Machine รุ่น LS 100 plus ของบริษัท LLOYD ในการทดสอบจะใช้ความเร็วดึง (Cross Head Speed) 50 มิลลิเมตรต่อนาที ด้วยน้ำหนักกด 10 กิโลนิวตันดังรูปที่ 7

รูปที่ 6 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่ได้จากการอัดชิ้นรูป



รูปที่ 7การจับยึดและการดึงชิ้นทดสอบแรงดึง

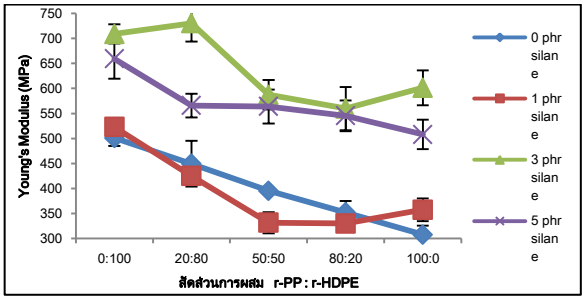
2. การทดสอบความแข็ง(Hardness test)

การทดสอบความแข็ง Durometerแบบ Shore D ที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTMD2240 โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบยี่ห้อ TECLOK รุ่น GS-702G Type D ดังในรูปที่ 8

รูปที่ 8 **แสดงการทดสอบความแข็ง**Durometerแบบ Shore D

3. ผลการทดสอบ

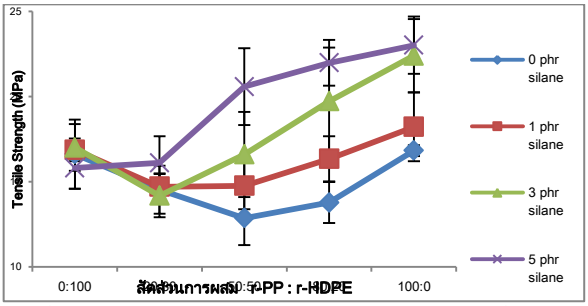
3.1 **มอดุลัสของยัง** (Young's modulus)



รูปที่ 9 แสดงค่า Young's modulus ของ r-PP:rHDPE ที่ปริมาณการผสมsilane ที่สัดส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 9 Young's modulus ของ r-PP:rHDPEที่ใส่สารตัวเติมsilaneมีลดลงสัดส่วน 0:100 และ 20:80 และคงที่สัดส่วน50:50, 80:20 และ 100:0 โดยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการเติม silane 3 และ 5 phr. เนื่องจากสารตัวเติมมีค่า Young's modulus ที่มากกว่าพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด จึงส่งผลให้ค่า Young's modulus ของพอลิเมอร์ที่ผสมกับสารตัวเติมเพิ่มขึ้น และเมื่อเติมsilaneมากขึ้นจึงสามารถขึดเกาะกับพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดได้ดีขึ้น แต่ในทางตรงกับข้ามหามีการเติมสารมากเกินไปค่า Young's modulus จะมีค่าลดลงเนื่องจากโครงสร้างร่างแห่ที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีในการเพิ่มปริมาณ silane มาเกินไป ส่งผลให้ค่าสารตัวเติมที่ 3 phrให้ผลดีที่สุดโดยเฉพาะที่สัดส่วน 20:80 ให้ค่า Young's modulus เท่ากับ 730.49 MPa

3.2 ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Tensile Strength)



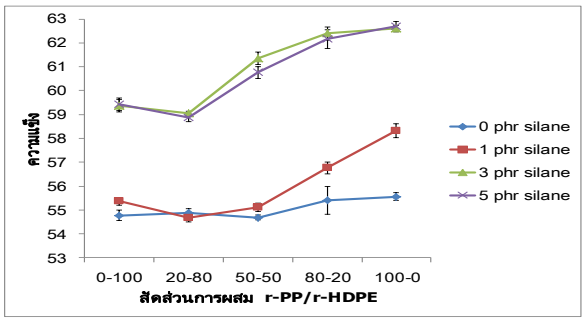
รูปที่ 10 แสดงค่า Tensile Strength ของ r-PP:rHDPE ที่ปริมาณการผสมsilane ที่สัดส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 10 ค่าTensile Strength ของr-PP:r-HDPE ที่ผสมsilane ที่ปริมาณผสม 1, 3 และ 5 phr. พบว่ามีแนวโน้มคงที่ที่สัดส่วน 0:100 และ 20:80 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน ทั้งนี้ค่า Tensile Strength สัมพันธ์กับการเสียรูปอย่างถาวร (Permanent Deformathion ซึ่งสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างหลัก (Matrix) โดยที่โครงสร้างหลักของ

คอมโพสิท คือ 0:100 ดังนั้นค่า Tensile Strength ของคอมโพสิทที่ได้ จึงมีไม่ต่างจากค่า Tensile Strength ของ 20:80 ในทางตรงกันข้าม Tensile Strength จะเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็นอย่างมาก โดยปริมาณสารตัวเติม silane และค่า Tensile Strength สูงสุดที่ 5 phr. ที่สัดส่วน 50:50, 80:20 และ 100:0 ค่า Tensile Strength มีค่า 20.58, 21.99 และ 23.02 MPa ตามลำดับ

3.3 ความแข็ง

ผลการตรวจสอบค่าความแข็ง ของr-PP:r-HDPE ที่ผสมsilane ที่ปริมาณผสม 1, 3 และ 5 phr. พบว่ามีแนวโน้มคงที่ที่สัดส่วน 0:100 และ 20:80 เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่ปลายสายโซ่พอลิเมอร์ ส่วนค่าความแข็งจะมีแนวโน้มสูงที่สัดส่วน 50:50, 80:20 และ 100:0 จะพบ 2 กลุ่มข้อมูลคือที่ ไม่เติมสาร และเติม silane 1 phr. จะมีค่าความแข็งที่ 54.5- 57.5 Shore D ตามลำดับ และ เมื่อเติมสาร silane 3 และ 5 phr. จะมีค่าความแข็ง 60.5 – 62.5 Shore D ตามลำดับ



รูปที่ 11 แสดงค่าความแข็งของ r-PP:rHDPE ที่ปริมาณการผสม silane ที่สัดส่วนต่างๆ

4. สรุป

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของของr-PP:r-HDPE ที่ใส่สารตัวเติม silane ที่ปริมาณผสม 1, 3 และ 5 phr.ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin Screw Extruder) พบว่า ค่า Young's modulus ของ r-PP:r-HDPE คอมโพสิท เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมสาร silane ตามสัดส่วน ค่า Tensile Strength และค่าความแข็งของ r-PP:r-HDPE คอมโพสิทจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมสาร silane ที่มีสัดส่วน 50:50, 80:20 และ 100:0

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัทโคราชทีอาร์ซีพลาสติกจำกัด, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

เอกสารอ้างอิง

[1] Tanoue Shuichi, Nithikarnjanatharn Jittiwat, Suzuki Takeo, Uematsu Hideyuki, Iemoto Yoshiyuki. Effect of Electric Irradiation on the Mechanical Properties of Polypropylene/Vapor Grown Carbon Fiber Composites Prepared by Melt Compounding, (2012) Journal of Textile Engineering, Vol. 58, No.1, , pages 1-7

[2] JIAQI GU, HAIYAN XU and CHIFEI WU 2013. The Effect of PP and Peroxide on the Properties and Morphology of HDPE and HDPE/PP Blends. Advances in Polymer Technology, Vol. 32, No. 1, DOI 10.1002/adv.21326.

[3] Beltran. B and Mijangos. C (2000) Silane Grafting and Moisture Crosslinking of Polypropylene, POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, Vo.40: 1534-1541.

[4] Yanjie An, Zhenjiang Zhang, Wuguo Bi, Yanhui Wang and Tao Tang. (2008) Characterization of High Melt Strength Polypropylene Synthesized via Silane Grafting Initiated by In Situ Heat Induction Reaction, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 110: 3727–3732.

[5] Kalyanee Sirisinha, Keskanok Kawko (2005) Crosslinkable Polypropylene Composites Made by the Introduction of Silane Moieties, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 97: 1476–1483.

[6] Kalyanee Sirisinha, and Keskanok Kawko (2005) Properties and Characterization of Filled Poly(Propylene) Composites Crosslinked Through Siloxane Linkage, Macromol. Mater. Eng.Vol.290:128–135

การหาปัจจัยที่เหมาะสมในการอบหลอมละลายบางส่วนของอลูมิเนียมผสมเกรด A356 ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อกึ่งของแข็ง SIMA

Optimization of the Partial Melting Parameters of A356 Aluminum Alloy Produced by SIMA Semi-Solid Process

นุชจิรา วรรณสิทธิ์[1] จรวยพร แสนทวีสุข[2*] วิธวัช หารอาษา[3] อนุชา เล่าเรียน[4]
1,2,3,4 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี
E-mail: charuayporn.s@ubu.ac.th*
Nutchira Wannasit[1] Charuayporn Santhaweesuk[2*] Wittawat Harnarsa[3] Anucha Laorian[4]
1,2,3,4 Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani
E-mail: charuayporn.s@ubu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูปโลหะผสมของอลูมิเนียมเกรด A356 โดยวิธีการขึ้นรูปแบบกึ่งของแข็ง (Semisolid Metal Processing: SSM) และใช้เทคนิควิธีการกระตุ้นด้วยการหลอมละลายและความเครียด (Strain Induced Melt Activation: SIMA) ให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างเกรนจากเดนไดร์ท (Dendrite) ไปเป็นโครงสร้างเม็ดกลม (globular structure) ด้วยการอบอ่อนเต็มที่และรีดเย็นเพื่อลดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานลง 50 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนำมาอบหลอมละลายบางส่วนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ และทำให้โลหะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วในน้ำ โดยการทดลองนี้ ได้ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการเปลี่ยนโครงสร้าง ภายใต้ 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบหลอมละลายบางส่วน 3 ระดับ: 585 595 และ 605 องศาเซลเซียล และเวลาที่ใช้ในการอบหลอมละลายบางส่วน 3 ระดับ: 15 25 และ 35 นาที ผู้วิจัยได้ใช้รูปแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็ม 3^2 (3^2 full factorial design) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 รอบ ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยด้านเวลาในการอบมีอิทธิพลต่อค่าความกลมสม่ำเสมอของเกรน (Shape factor) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเปลี่ยนโครงสร้างที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป MINITAB V.14 คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบหลอมละลายบางส่วน 595 องศาเซลเซียส และอบแช่เป็นเวลานาน 35 นาที โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยรูปร่างนี้ได้รับการยืนยันโดยการทดสอบซ้ำเพื่อยืนยันผล

คำหลัก : วิธีการกระตุ้นด้วยการหลอมละลายและความเครียด, โครงสร้างเม็ดกลม, โลหะผสมเกรดหล่อ A356, การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็ม 3^2

Abstract

In this study, the influences of heat treatment conditions in strain induced melt activation process (SIMA) on semi-solid A356 aluminum alloy microstructure were investigated. The new SIMA process was proposed in order to produce the non-dendritic A356 feedstock. The as-cast A356 aluminum alloy slab was firstly fully annealed in an induction furnace. Secondly, the annealed slab was cold rolled at room temperature up to 50% reduction of area. Finally, the deformed slab was partially remelted at various partial melting temperatures and soaking times and quenched in water at room temperature. In the present investigation, three levels of partial remelting temperature (585°C, 595°C, and 605°C) and three levels of soaking time (15 min, 25 min and 35min) were selected for study. The design of experiment 3^2 full factorial technique was

used to determine the optimal heat treatment parameters at 0.05 statistically significant level. Based on this, 3^2 full factorial design experiments were conducted and repeated for three samples for each set to check the reproducibility. The effect of partial remelting temperature and soaking time on shape factor of deformed A356 aluminum alloy slab was measured using the Dewinter Material Plus 4.0 image analysis software. Results from the MINITAB V.14 program indicate that the soaking time has significant effect on the shape factor of specimen at 0.05 level of statistical significance. The optimal shape factor was obtained at 595°C remelting temperature and 35 minutes soaking time. The predicted optimal value of shape factor was confirmed by conducting the confirmation test using optimum parameters.

Keywords: Strain Induced Melt Activation (SIMA), Globular Structure, A356 Aluminum Alloy, 3^2 Full Factorial Design

1.บทนำ

ปัจจุบันนี้ อลูมิเนียมเกรด A356 มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ และยังมีแนวโน้มที่จะใช้เพิ่มขึ้น[1] สำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมผสม A356 ที่นิยมใช้คือกระบวนการหล่อ (Liquid Casting Process) ซึ่งสามารถขึ้นรูปที่ซับซ้อนได้ดี แต่กระบวนการหล่อนี้มีข้อเสียคือ ชิ้นงานเกิดการหดตัวเนื่องมาจากมีรูพรุนของอากาศแทรกอยู่ในโครงสร้างจุลภาค นำไปสู่สมบัติทางกลที่ด้อยลง อีกทั้งต้องใช้พลังงานในการหลอมละลายโลหะสูงมาก [2] ดังนั้นจึงได้มีการนำเทคโนโลยีการขึ้นรูปแบบกึ่งของแข็ง(Semi-Solid Metal Processing: SSM)มาใช้ ซึ่งกระบวนการ SSM มีข้อดีหลายประการ เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการขึ้นรูปโลหะแบบดั้งเดิม เช่น การเกิดโครงสร้างก้อนกลม (Globular grain) จะช่วยลดปริมาณโพรงอากาศ ส่งผลให้ปริมาณรูพรุนลดลงอย่างมาก การหดตัวต่ำลงและได้ขนาดใกล้เคียงกับต้นแบบ เป็นต้น ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น [3-4] ซึ่งเทคนิคการขึ้นรูปแบบ SSM สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามสถานะของโลหะตั้งต้น ได้แก่ กลุ่มที่สถานะของโลหะตั้งต้นเป็นของเหลว (liquid routes) [3-8] และกลุ่มที่สถานะของโลหะตั้งต้นเป็นของแข็ง (solid routes) [8] วิธีการผลิตเกรนก้อนกลมของกลุ่มที่สถานะของโลหะตั้งต้นเป็นของเหลวมีข้อเสียคือ มีสิ่งปนเปื้อนภายในเนื้อโลหะ เช่น สารประกอบออกไซด์ ฟองอากาศ และมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เทคนิคการเตรียมโครงสร้างก้อนกลมของกลุ่มที่สถานะของโลหะตั้งต้นเป็นแบบของแข็ง เช่น กระบวนการ SIMA จึงถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว [9] โดยกระบวนการ SIMA เป็นวิธีการเตรียมโครงสร้างก้อนกลมที่ทำง่าย ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ไม่ซับซ้อน และราคาต้นทุนในการผลิตต่ำ โดยขั้นตอนการเตรียมโครงสร้างแบบ SIMA ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ นำแท่งบิลเลตที่มีโครงสร้างเดนไดร์ทมาขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิเหนืออุณหภูมิตกผลึกใหม่ และนำมาขึ้นรูปเย็นเพื่อให้เกิดความเครียดภายในชิ้นงาน แล้วขั้นตอนสุดท้ายจึงนำมาให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิกึ่งของแข็งเพื่อให้เกิดของผสมระหว่างของเหลวกับของแข็งก้อนกลมในปริมาณและขนาดที่เหมาะสม [8] สุรชัย นุ่มสารพัดนึก [10] ได้พัฒนาเทคนิค SIMA เพื่อผลิตวัตถุดิบโครงสร้างเกรนก้อนกลมสำหรับการหล่อขึ้นรูป thixoforming ที่มีต้นทุนไม่สูงนักและขั้นตอนการผลิตไม่ซับซ้อน โดยนำอลูมิเนียมผสมรีดเย็นเกรด 2024 ผ่านวิธีอบอ่อนเต็มที่ อัดขึ้นรูปเย็น และนำมาอบละลายบางส่วนที่อุณหภูมิกึ่งของแข็งและทำให้โลหะกึ่งของแข็งเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วในน้ำอุณหภูมิห้อง และพบว่าเทคนิค SIMA ที่ถูกพัฒนาขึ้นใหม่นี้สามารถผลิตโครงสร้างเกรนก้อนกลมได้ นอกจากนี้ ยังมีวิธีในการเตรียมวัตถุดิบโครงสร้างก้อนเกรนกลมอีก 2 วิธี ที่ทำได้ง่ายกว่า และขั้นตอนไม่ซับซ้อน คือ วิธีการหลอมละลายบางส่วนโดยตรง (Direct Partial Remelting: DPRM) โดยการนำเอาอินก็อทไปทำการอบละลายบางส่วนที่อุณหภูมิกึ่งของแข็งและทำให้โลหะกึ่งของแข็งเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วในน้ำอุณหภูมิห้อง[11] และวิธีการทำ Solid-Solution Treatment and Partial Remelting[12] โดยการนำเอาอินก็อทไปทำการอบเพื่อปรับปรุงโครงสร้างแล้วเย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำที่อุณหภูมิห้องเพื่อรักษาโครงสร้างที่ได้ หลังจากนั้นนำไปอบละลายบางส่วนที่อุณหภูมิกึ่งของแข็งและทำให้โลหะกึ่งของแข็งเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วในน้ำอุณหภูมิห้อง แต่ทั้งสองวิธีนี้สามารถทำได้กับโลหะบางเกรดเท่านั้น[8]

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาและพัฒนากระบวนการ SSM ที่สะดวก ไม่ซับซ้อนและมีต้นทุนต่ำเพื่อเตรียมโครงสร้างเกรนก้อนกลมสำหรับขึ้นรูปของอลูมิเนียมผสมเกรด A356 โดยเลือกใช้เทคนิคการอบอ่อนเต็มที่ผสมผสานกับเทคนิค SIMA และใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตโครงสร้างก้อนกลม โดยในการศึกษานี้ได้ศึกษาปัจจัยของเวลาในการอบละลายบางส่วน และเวลาที่ใช้อบแช่ที่เหมาะสม โดยกำหนดให้ค่าการแปรรูปของชิ้นงานมีค่าคงที่ และอุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อนเต็มที่คงที่ และใช้โปรแกรม MINITAB V.14 ในการออกแบบและวิเคราะห์ผล และนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเปลี่ยนโครงสร้างที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้กับเทคนิค DPRM และเทคนิค Solid-Solution Treatment + Partial Remelting เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำสองเทคนิคนี้มาใช้เพื่อเตรียมโครงสร้างเม็ดกลมของอลูมิเนียมผสม A356

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการทดลองเพื่อเตรียมโครงสร้างก้อนกลมด้วยเทคนิคการอบอ่อนเต็มที่ผสมผสานกับเทคนิค SIMA ส่วนที่สองเป็นการทดลองเพื่อเตรียมโครงสร้างก้อนกลมด้วยเทคนิค DPRM และเทคนิค Solid-Solution Treatment + Partial Remelting

2.1 วิธีการกระตุ้นด้วยการหลอมละลายและความเครียด (SIMA)

อลูมิเนียมเกรด A356 มีส่วนประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 1 ถูกนำมาใช้ในการทดลอง แท่งอลูมิเนียมอินก็อทนี้ถูกนำมาตัดแบ่งเป็นชิ้นงานขนาดพื้นที่หน้าตัด 1x1 ซม. ยาว 6 ซม. จากนั้นนำชิ้นงานไปอบอ่อนเต็มที่ ที่อุณหภูมิ 530 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวในเตา เพื่อปรับส่วนผสมทางเคมีและโครงสร้างให้สม่ำเสมอทั่วชิ้นงาน หลังจากนั้นนำชิ้นงานมากระตุ้นให้เกิดความเครียดสะสมและเพิ่มความหนาแน่นของดิสโลเคชั่นด้วยการรีดเย็น (Rolling) เพื่อลดพื้นที่หน้าตัดลงจากเดิม โดยทำการรีดซ้ำหลายครั้ง แต่ละครั้งมีการลดลงของพื้นที่หน้าตัดลงประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ รีดซ้ำจนกระทั่งสามารถลดพื้นที่หน้าตัดลงจากเดิม 50 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการตัดแบ่งชิ้นงานที่มีขนาดหน้าตัด 0.5 x 0.5 ตร.ซม. ให้ยาว 3 ซม.

การออกแบบการทดลองแบบ 3^2 Full factorial design ถูกนำมาใช้ในการวิจัยนี้เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการเปลี่ยนโครงสร้าง ภายใต้ 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบหลอมละลายบางส่วน และเวลาที่ใช้ในการอบหลอมละลายบางส่วน โดยมีระดับของปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 2 ระดับปัจจัยอุณหภูมิที่เลือกศึกษาอยู่ในช่วงระหว่าง solidus temperature และ liquidus temperature ของอลูมิเนียม A356 ซึ่งก็คือ 574 และ 612 องศาเซลเซียส ตามลำดับ [13-14] โดยชิ้นงานแต่ละชุดจะถูกอบเพื่อหลอมละลายบางส่วนในเตาอบชนิดเหนี่ยวนำไฟฟ้า Digicon รุ่น DD-6 220V/3A/50Hz และมีการควบคุมอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคับเปิลชนิด K ตลอดเวลา หลังจากอบตามเวลาที่กำหนดเรียบร้อยแล้วชิ้นงานจะถูกนำมาเย็นตัวในน้ำอุณหภูมิห้องทันที โดยการทดลองนี้จะถูกทำซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของอลูมิเนียมเกรด A356 ที่ใช้ในการทดลองเทียบกับมาตรฐาน ASTM [15]

	Composition, %wt										
	Si	Fe	Cu	Zn	Mg	Mn	Ni	Ti	Cr	Pb	Sn
ASTM (A356)	6.5-7.5	≤ 0.17	≤ 0.05	≤ 0.07	0.25 - 0.40	≤ 0.10	≤ 0.05	0.10-0.20	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05
As recieved material (A356)	7.09	0.106	0.018	0.0046	0.328	0.0038	0.0087	0.108	0.0006	0.0003	0.0006

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองและระดับของปัจจัย

Parameter	Unit	Level		
		1	2	3
Temperature	^{o}C	585	595	605
Time	min.	15	25	35

2.2 วิธี DPRM และวิธี Solid-Solution Treatment + Partial Remelting

การทดลองนี้เป็นการทดลองขั้นต้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กรรมวิธีทางความร้อนเพียงอย่างเดียวเพื่อเตรียมโครงสร้างเม็ดกลมของชิ้นงานอลูมิเนียมผสม A356 โดยปราศจากการกระตุ้นด้วยความเครียดจากการรีดเย็น ชิ้นงานถูกตัดให้มีขนาดหน้าตัด 0.5 x 0.5 ซม. ยาว 3 ซม. โดยแบ่งการเตรียมชิ้นงานทดสอบออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

2.2.1 ชิ้นงานทดลองสำหรับวิธีการ DPRM โดยทำการตัดแบ่งชิ้นงานจากแท่งอินก็อทที่รับมา

2.2.2. ชิ้นงานทดลองสำหรับวิธีการ อบอ่อนเต็มที่ + Partial Remelting โดยทำการอบอ่อนเต็ม 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 530 องศาเซลเซียส แล้วเย็นตัวในเตา

2.2.3 ชิ้นงานทดลองสำหรับวิธีการ Solid-Solution Treatment + Partial Remelting โดยทำการอบ Solution Treatment ที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส และเย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำอุณหภูมิห้อง

หลังจากเตรียมชิ้นงานทั้ง 3 แบบแล้ว นำชิ้นงานดังกล่าวมาทำการอบเพื่อละลายบางส่วนโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB V.14 โดยอบชิ้นงานในเตาชนิดเหนี่ยวนำไฟฟ้า Digicon รุ่น DD-6 220V/3A/50Hz และมีการควบคุมอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคับเปิล Type K ตลอดเวลา หลังจากอบตามเวลาที่กำหนดเรียบร้อยแล้ว

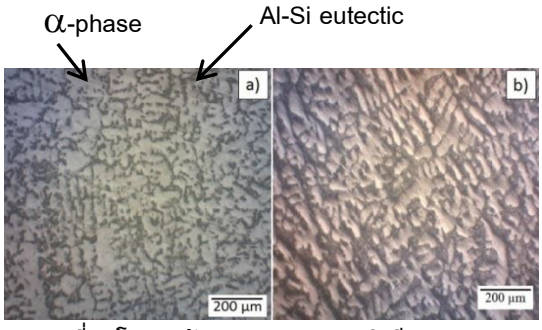
นำชิ้นงานมาเย็นตัวในน้ำอุณหภูมิห้องทันที โดยการทดลองนี้จะถูกทำซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง

ในขั้นตอนการศึกษาโครงสร้างจุลภาค ชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนแล้ว ถูกนำมาขัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120 240 360 400 600 800 และ 1000 ตามลำดับ และขัดเงาด้วยผงขัดอะลูมินาขนาดอนุภาค 5 และ 1 ไมครอน ตามลำดับ กรดที่ใช้กัดผิวงานคือ สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ร้อยละ 0.5 ในน้ำ จุ่มแช่เป็นเวลาประมาณ 15 วินาที จากนั้นบันทึกภาพชิ้นงานโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง ที่ผลิตโดยบริษัท Olympus รุ่น BX60M และซอฟแวร์ไดโน่ แคปเจอร์ เวอร์ชั่น 2.0

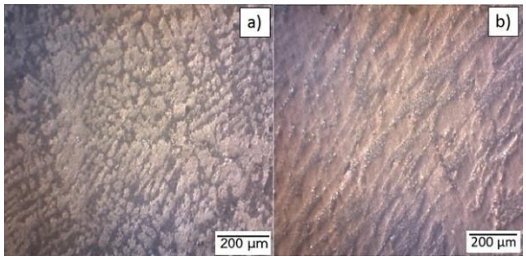
3. ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผล

3.1 ผลการศึกษาด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยการหลอมละลายและความเครียด (SIMA)

โครงสร้างจุลภาคของแท่งวัตถุดิบอลูมิเนียมผสมเกรด A356 ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย Primary dendrite α-phase (สีขาว) และเฟส Al-Si eutectic (สีเทา) ดังแสดงในรูปที่ 1(a) และเมื่อนำแท่งอินก็อทอลูมิเนียมผสมที่ตัดให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 1x1 ซม. ยาว 6 ซม. และนำไปอบอ่อนเต็มที่ ที่อุณหภูมิ 530 องศาเซลเซียส นาน 5ชั่วโมง เพื่อปรับโครงสร้างและส่วนผสมทางเคมีให้สม่ำเสมอ พบว่า เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นและสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 1(b) และรูปที่ 2 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการรีดลดพื้นที่หน้าตัดลง 50% พบว่า เกรนถูกยืดตัวให้ไหลไปตามทิศทางของแรงกระทำ ส่งผลให้ความหนาแน่นของดิสโลเคชั่นเพิ่มขึ้น พลังงานความเครียดสะสมและความเค้นตกค้างเพิ่มขึ้น [10,16-17]

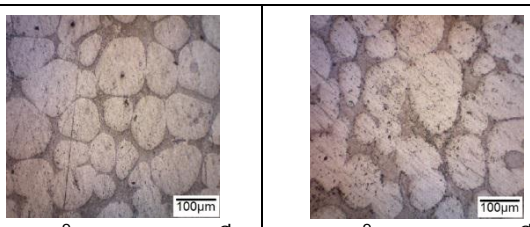


รูปที่ 1 โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียม A356 a) แท่งวัตถุดิบ b) หลังผ่านกระบวนการอบอ่อนเต็มที่ที่อุณหภูมิ 530 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง

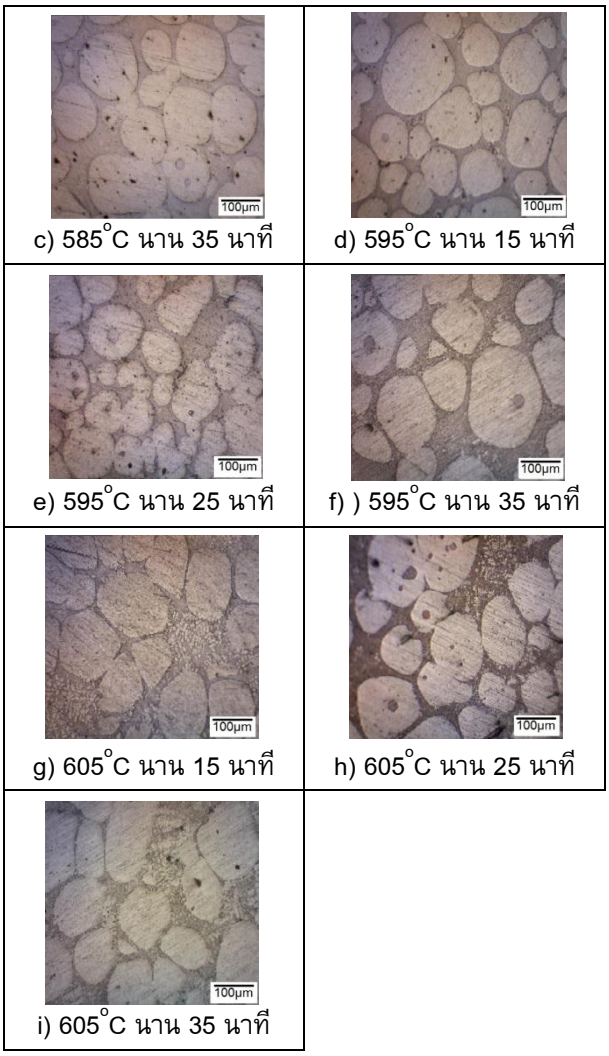


รูปที่ 2 โครงสร้างจุลภาคหลังผ่านรีดเพื่อลดพื้นที่หน้าตัดลง 50% (a) ตัดตามขวาง (b) ตัดตามยาว

หลังจากอบชิ้นงานตามตารางการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็ม 3^2 และนำชิ้นงานเย็นตัวในน้ำอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า โครงสร้างก้อนกลมของ α-phase ล้อมรอบด้วยเฟส Al-Si eutectic สามารถพบได้ในทุกชิ้นงาน แต่ปริมาณและขนาดของเกรนก้อนกลมแตกต่างกันออกไปตามเงื่อนไขทางความร้อนในการอบ เมื่ออุณหภูมิในการอบละลายบางส่วนคงที่ พบว่า ความกลมของเกรน α-phase เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการอบแช่นานขึ้น และเมื่อเวลาในการอบคงที่ พบว่า ปริมาณเฟสที่เป็นของเหลวเพิ่มขึ้นล้อมรอบขอบเกรนของ α-phase และเกรนก้อนกลมมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบละลายบางส่วนสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาในการอบละลายบางส่วน และกลไก Ostwald Ripening เป็นกลไกหลักของการเติบโตของเกรนเมื่อสัดส่วนเฟสของเหลวสูง [8, 10, 16-19]



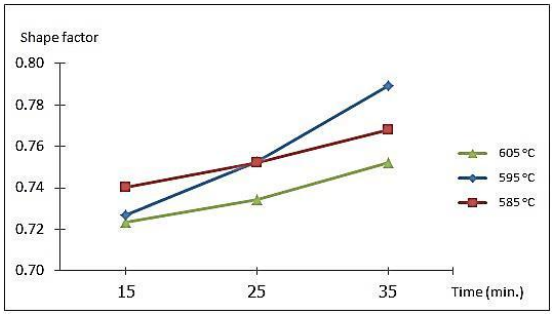
a) 585°C นาน 15 นาที	b) 585°C นาน 25 นาที



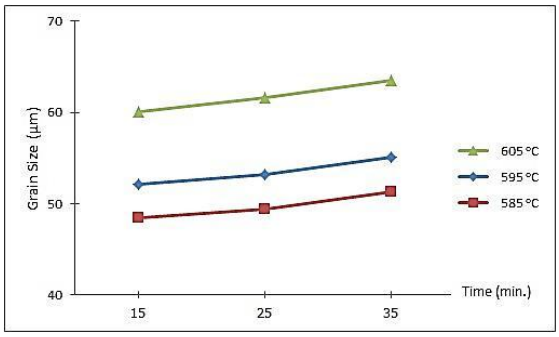
c) 585°C นาน 35 นาที
d) 595°C นาน 15 นาที
e) 595°C นาน 25 นาที
f)) 595°C นาน 35 นาที
g) 605°C นาน 15 นาที
h) 605°C นาน 25 นาที
i) 605°C นาน 35 นาที

รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียม A356 หลังการเย็นตัวที่ได้จากอบละลายบางส่วน ณ อุณหภูมิและเวลาอบ ดังแสดงใต้ภาพ

ผลการวัดค่าปัจจัยรูปร่าง และขนาดเกรนเฉลี่ยของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองหาปัจจัยอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบละลายบางส่วน ด้วยโปรแกรม Dewinter Material Plus 4.0 แสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ตามลำดับ โดยค่าแต่ละจุดเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้มาการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จากการวิเคราะห์กราฟในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 พบว่า ผลของค่าปัจจัยรูปร่างของเกรนแปรผันตามเวลาที่อบแช่ ในขณะที่ผลของขนาดเกรนเฉลี่ยแปรผันตรงกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบละลายบางส่วน อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการตกผลึกใหม่มาก เกรนที่ตกผลึกใหม่จะเกิดการเติบโตของเกรน ส่งผลให้ชิ้นงานมีเกรนขนาดใหญ่และสม่ำเสมอ [16]



รูปที่ 4 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบหลอมละลายบางส่วนต่อค่าปัจจัยรูปร่างของชิ้นงาน



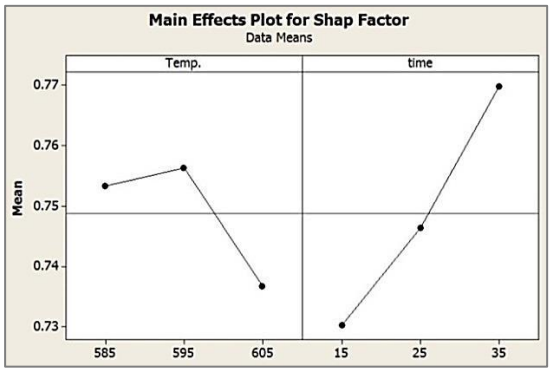
รูปที่ 5 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบหลอมละลายบางส่วนต่อขนาดเฉลี่ยของเกรนของชิ้นงาน

เมื่อนำค่าปัจจัยรูปร่าง มาวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Minitab v.14 พบว่า ปัจจัยด้านเวลามีผลต่อค่าปัจจัยรูปร่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 3 รูปที่ 6 แสดงกราฟ Main effects ของปัจจัยรูปร่าง สำหรับอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมชิ้นงานโครงสร้างเกรนก้อนกลม คือ อุณหภูมิอบละลายบางส่วนที่ 595 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการอบแช่ 35 นาที ซึ่งอุณหภูมิและเวลาดังกล่าวทำให้ได้ค่าปัจจัยรูปร่างดีที่สุด คือ 0.79 และได้ขนาดของเกรนเฉลี่ย 55.13 ไมครอน โครงสร้างจุลภาคในรูปที่ 7 เป็นโครงสร้างที่ได้จากการอบชิ้นงานตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์โดยการทดลองซ้ำ

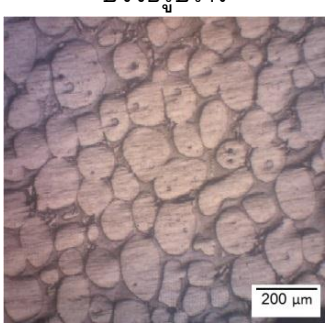
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าปัจจัยรูปร่าง

Parameters	DF	Seq. SS	Adj. SS	F	P
Temperature	2	0.0000057	0.0000057	0.06	0.946
Time	2	0.0008645	0.0008645	8.42	0.003

Temperature*Time	4	0.0001149	0.0001149	0.56	0.695
Error	18	0.0009242	0.0009242		
Total	26	0.0019093	0.0019093		



รูปที่ 6 ผลของปัจจัยหลักอุณหภูมิและเวลา ที่มีต่อค่าปัจจัยรูปร่าง

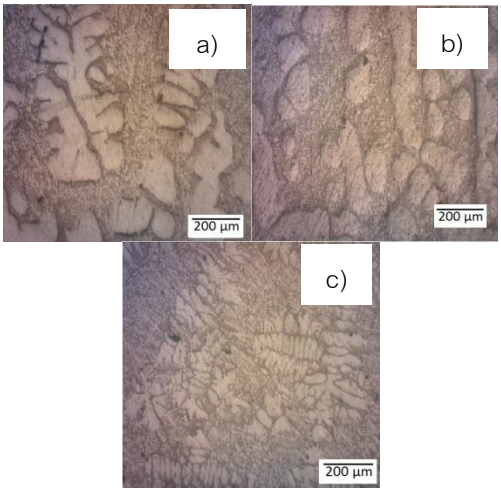


รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียม A356 หลังการอบอ่อนเต็มที่ รีดเย็นเพื่อลดขนาดพื้นที่หน้าตัดลง 50% และอบหลอมละลายบางส่วนที่อุณหภูมิ 595 นาน 35 นาที และเย็นตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้องอย่างรวดเร็ว

3.2. ผลการศึกษาขั้นต้นของวิธี DPRM และวิธี Solid-Solution Treatment + Partial Remelting

รูปที่ 8 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดลองที่ได้จากวิธี DPRM และวิธี Solid-Solution Treatment + Partial Remelting โดยใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการเตรียมชิ้นงานโครงสร้างก้อนเกรนกลมที่ได้จากการวิเคราะห์วิธี SIMA คือ อุณหภูมิในการอบหลอมละลายบางส่วน 595 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการอบแช่ 35 นาที พบว่า วิธีการดังกล่าวไม่สามารถเปลี่ยนโครงสร้างเดนไดร์ทของอลูมิเนียมผสมเกรด A356 ไปเป็นโครงสร้างเกรนก้อนกลมได้ เนื่องจากพลังงานกระตุ้นที่ทำให้เกิดการแตกหักของแขนเดนไดร์ทยังไม่เพียงพอ

ในขณะที่กระบวนการ SIMA นั้น เมื่อปริมาณการเสียรูปอย่างถาวรของชิ้นงานสูงขึ้น เกรนจะถูกยืดออกและแขนเดนไดร์ทจะถูกดัดโค้งตามแรงกระทำ พลังงานความเครียดตกค้างจะถูกสะสมไว้ในแขนเดนไดร์ทจำนวนมากในรูปของดิสโลเคชั่น ซึ่งพลังงานนี้จะถูกปลดปล่อยโดยดิสโลเคชั่นเหล่านั้นจะจัดเรียงตัวใหม่ในรูปของการเกิดขอบเกรนมุมสูงผ่านกระบวนการตกผลึกใหม่ เมื่อชิ้นงานถูกทำให้ร้อนขึ้นอีกครั้ง พลังงานอิสระของขอบเกรนมุมสูงมีค่ามากกว่าพลังงานดึงผิวระหว่างเฟสของแข็งและของเหลวสองเท่า ดังนั้น บริเวณขอบเกรนมุมสูงซึ่งมีพลังงานสะสมสูงจะถูกละลายออกไปอย่างรวดเร็วเกิดเป็นฟิล์มของเหลวล้อมรอบตัวเกรน และเกิดการหลอมละลายบริเวณแขนของเดนไดร์ท และเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็นเกรนก้อนกลม ยิ่งปริมาณการเสียรูปมากขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณระนาบเลื่อนและจำนวนขอบเกรนมากขึ้นด้วย เมื่อปริมาณระนาบเลื่อนและจำนวนขอบเกรนเพิ่มสูงขึ้นย่อมนำไปสู่สัดส่วนการแตกหักไปเป็นเกรนย่อยๆมากขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่า กลไกการเกิดโครงสร้างเกรนก้อนกลมของกระบวนการ SIMA เกิดจากการแตกหักของแขนเดนไดร์ท และหลอมละลายบริเวณบางส่วนของขอบเกรน (Dendrite Arm Fragmentation and Partial Remelting of boundary) [17, 20]



รูปที่ 8 โครงสร้างจุลภาคของอลูมิเนียม A356 หลังผ่านการอบหลอมละลายบางส่วน 595 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการอบแช่ 35 นาที โดยมีสภาวะเริ่มต้นก่อนอบ a) เป็นชิ้นงานอินก็อท (DPRM) b) เป็นชิ้นงานที่

ผ่านการอบอ่อนเต็มที่ 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 530 องศาเซลเซียส แล้วเย็นตัวในเตา และc) เป็นชิ้นงานผ่านการอบ Solution Treatment ที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส และเย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ

4. สรุป

1). การเตรียมวัตถุดิบโครงสร้างเกรนก้อนกลมของอลูมิเนียมผสม A356 ด้วยกระบวนการ SIMA โดยพิจารณาจากปัจจัยรูปร่าง เมื่อชิ้นงานผ่านการอบอ่อนเต็มที่ และกระตุ้นด้วยความเครียดโดยการรีดลดพื้นที่หน้าตัดลง 50 เปอร์เซ็นต์ และนำมากระตุ้นด้วยการอบละลายบางส่วนในช่วงอุณหภูมิกึ่งของแข็ง พบว่า ค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการอบหลอมละลายบางส่วนของอลูมิเนียมผสมA356 คือ อุณหภูมิอบละลายบางส่วน 595 องศาเซลเซียส และเวลาอบแช่นาน 35 นาที

2) ปัจจัยด้านเวลาในการอบมีอิทธิพลต่อค่าความกลมสม่ำเสมอของเกรน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยค่าปัจจัยรูปร่างของเกรนแปรผันตรงตามเวลาที่อบแช่

3) กลไกการเกิดโครงสร้างเกรนก้อนกลม เกิดจากการแตกหักของแขนเดนไดร์ท และหลอมละลายบริเวณบางส่วนของขอบเกรน

4) วิธี DPRM และวิธี Solid-Solution Treatment + Partial Remelting ไม่สามารถทำให้อลูมิเนียมเกรด A356 เปลี่ยนโครงสร้างเป็นเกรนก้อนกลมได้ เนื่องจากพลังงานกระตุ้นในการเกิดเกรนก้อนกลมไม่เพียงพอ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย และขอขอบคุณ คุณเจษฎา ชานันโทและบริษัท นิคเคอิ เอ็มซี อลูมินัม (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนวัสดุสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] A. Morita, in: A.K. Bhasin, J.J. Moore, K.P.Young, S. Midson (Eds.), Proceedings of the 6th International Conference on Aluminum Alloys, Toyohashi, Japan, 1998.

[2] Y. Birol, Material Institute, Marmara Research Center, Tubitak, Kocaeli, Turkey, 2008.

[3] M.C. Flemings, Metallurgical Transactions A, vol. 22, no.5, 1991.

[4] D.H. Kirkwood, international material review, vol. 39, 1994.

[5] E. J. Zoqui, M. Paes, and E. Es-Sadiqi, Journal of Materials Processing Technology, vol. 120, 2002

[6] M.H. Robert, E. J. Zoqui, F. Tanabe, and T. Motegi, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, vol. 20, 2007.

[7] รอมฎอน บูระพา และคณะ. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7, 2552.

[8] M.N. Mohammed, et al., Scientific World Journal, vol. 2013, 2013.

[9] K.P. Young, C.P. Kyonka, and J.A. Courtois, US Patent No.4415374, 1983.

[10] S. Numsarapatnuk, S.Chayong, Songklanakarin Journal of Science and Technology, vol. 35, no.5, 2013.

[11] M.Z. Omar, A. Alfan, J. Syarif, and H.V. Atkison, Journal of Materials Science, vol. 46, 2011

[12] M. A. M. Arif et.al, Journal of Science and Technology, vol. 29, no.8, 2013.

[13] G. Hirt, R. Cremer, A. Winkelmann, T. Witulski, M. Zillgen, Journal of Materials Processing Technology, vol. 45, 1994.

[14] J. Wannasin, S. Thanabumrungkul, Songklanakarin Journal of Science and Technology, vol. 30, no.2, 2008.

[15] J. Gilbert Kaufman, Elwin L. Rooy, Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications, 2004.

[16] William D. Callister, Jr, Materials Science and Engineering An Introduction 6th Edition, John Wiley & Sons, Inc, 2003.

[17] Y. Sirong, L. Dongcheng, N. Kim, Materials Science and Engineering A, vol. 420, 2006.

[18] H. Arami, R. Khalifehzadeh, H. Keyvan, F. Khomamizadeh, Journal of Alloys and Compounds, vol. 468, 2009.

[19] E. Parshizfard, S.G. Shabestari, Journal of Alloys and Compounds, vol. 509, 2011.

[20] Z.Fan, International Material Reviews, vol. 47, no.2, 2002.

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยวิธีการไฮโดรเทอร์มอลที่มีราคาถูกเพื่อประยุกต์ใช้ในด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์

Nano-hydroxyapatite synthesized by low cost hydrothermal method for biomedical engineering

ภัทรเวช ธาราเวชรักษ์[1,*], ธนัญญา คุ้นเคย[2], ภัทรานิษฐ์ เตชะเศรษฐพงศ์[3], ภัทร์ สุขแสน[4], ชูศักดิ์ พรสิงห์[5]
[1,2,3,4]ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000
[5]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000
Tharawetcharak_p@silpakorn.edu[1,*]

P. Tharawetcharak[1,*], Th. Kunkoey[2], P. Techasettapong[3], P. Sooksaen[4] Ch. Pornsing[5]
[1,2,3,4]Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhonpathom, 73000, Thailand
[5]Department of Industrial Engineering and Management,
Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhonpathom, 73000, Thailand
Tharawetcharak_p@silpakorn.edu[1,*]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีความต้องการนำอนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ไปใช้ในงานด้านการแพทย์ วิศวกรรมเนื้อเยื่อ และงานทันตกรรม เนื่องจากมีการตอบรับทางชีวภาพที่ดี มีความเข้ากันดีกับเนื้อเยื่อ สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดเนื้อเยื่อกระดูก และไม่ส่งผลเสียต่อร่างกาย งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้หม้อความดันที่ใช้ภายในครัวเรือน เนื่องจากต้องการประหยัดพลังงาน และลดต้นทุนในการผลิตอนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่จะนำไปใช้ในงานด้านการแพทย์ โดยวิธีการไฮโดรเทอร์มอลเป็นกระบวนการที่ใช้ความดันสูง แต่อุณหภูมิต่ำ ในการสังเคราะห์สามารถทำได้โดยใช้ แคลเซียมไนเตรทเตตระไฮ-เดรท (Calcium nitrate tetrahydrate ($Ca(NO_3)_2{\cdot}4H_2O$)) และไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนออโธฟอสเฟต (Di-ammonium hydrogen orthophosphate ($(NH_4)_2HPO_4$)) ในอัตราส่วน Ca/P เท่ากับ 1.67 เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาที่นำไปสู่ อนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่าค่า pH อุณหภูมิ และเวลา เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยา ขนาดและความเป็นผลึกของอนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งทำการพิสูจน์เอกลักษณ์โดยเทคนิค XRD, SEM และ FE-SEM หลังจากนั้นได้มีการนำอนุภาคที่ได้จากการสังเคราะห์ไปทำเป็นวัสดุคอมโพสิตรูพรุนกับ polylactic acid (HA/PLA) โดยใช้เทคนิค SEM ในการตรวจสอบการเกิดชั้น apatite layer

คำสำคัญ: ไฮดรอกซีอะพาไทต์ วิธีการไฮโดรเทอร์มอล ผลึกระดับนาโนเมตร วัสดุทางชีวการแพทย์

Abstract

Nano-hydroxyapatite (HA) is important in medical, tissue engineering and dentistry because of good biocompatibility and bioconductivity and bioactivity with tissue. This research studied the synthesis of nanocrystalline hydroxyapatite by hydrothermal method using pressure cooker aiming at low cost process. The synthesis of nano-HA was carried out by reacting calcium nitrate tetrahydrate and di-

ammonium hydrogen orthophosphate (Ca/P=1.67). From this research, it was found that pH, temperature and time were the important factors that effected morphology and crystallinity of nano-HA. The nanoparticles have been characterized by XRD, SEM and FE-SEM. Composite materials (HA/PLA) were synthesized and studied for bioactivity was studied by soaking in simulated body fluid (SBF) solution.

Keywords: Hydroxyapatite (HA), hydrothermal method, nano crystals, biomedical enginering

1. บทนำ

เนื่องมาจากความต้องการวัสดุทดแทนกระดูกมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในขณะนี้วิทยาการด้านการแพทย์มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าวัสดุที่จะนำมาทดแทนกระดูกจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ากระดูกในธรรมชาติประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ปะปนกันอยู่ ซึ่งวัสดุในกลุ่มแคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate based materials) โดยเฉพาะไฮดรอกซีอะพาไทต์ ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$: HA) มีส่วนประกอบคล้ายกับแร่ที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของสารอนินทรีย์ในพื้นผิวกระดูกมีความเข้ากันทางชีวภาพ (biocompatibility) มีความสามารถในการชักนำให้เกิดเนื้อเยื่อกระดูก (osteoconductivity) และมีความสามารถในการส่งเสริมการทำงานของเซลล์ที่สร้างกระดูกทำให้มีความเหมาะสมอย่างมากในการนำมาเป็นวัสดุเพื่อใช้งานด้านการรักษาและการซ่อมแซมกระดูกในร่างกายของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ไฮดรอกซีอะพาไทต์ยังนำไปใช้ในงานด้านทันตกรรม เช่น การเคลือบรากฟันเทียม หรือทำหน้าที่เป็นสารเติมแต่งในกระดูกและฟัน ซึ่งวัสดุทดแทนกระดูกควรมีลักษณะที่เป็นรูพรุน เนื่องจากต้องการให้มีการเหนี่ยวนำให้กระดูกเกิดการเจริญเติบโตภายในโครงสร้างของรูพรุน โดยขนาดของรูพรุน รูปร่างของรูพรุน ความต่อเนื่องของ รูพรุนเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการช่วยเสริมสร้างการ ยึดเกาะของกระดูก [1]

การศึกษาและการพัฒนาไฮดรอกซีอะพาไทต์ ที่นำมาใช้ในวัสดุทดแทนกระดูกสามารถสังเคราะห์ได้หลายกระบวนการ เช่น กระบวนการโซล-เจล กระบวนการตกตะกอนแบบเปียก กระบวนการเจลคอมบัสชัน (gel combusion) ปฏิกิริยาแบบ solid-state polymeric precursor route และเทคนิค micro emulsion [2, 3] แต่กระบวนการเหล่านี้จะมีค่าใช้จ่ายของต้นทุนในการผลิตที่สูง สิ้นเปลืองพลังงาน มีการใช้สารเคมีที่เป็นพิษ และสามารถควบคุมลักษณะรูปร่างสัณฐานวิทยาได้ยาก อีกทั้งอนุภาคที่ได้อาจจะไม่ใช่อนุภาคที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติด้านการตอบรับทางชีวภาพ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษากระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ซึ่งเป็นกระบวนการที่ประหยัดพลังงาน ใช้เวลาในการสังเคราะห์ที่รวดเร็ว สามารถควบคุมลักษณะสัณฐานวิทยาได้ สามารถสังเคราะห์อนุภาคที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร และอนุภาคที่ได้จะมีความสม่ำเสมอมากกว่าการสังเคราะห์ในกระบวนการอื่นๆ

การสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์โดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้หม้อความดันที่ใช้ภายในครัวเรือน ซึ่งลดต้นทุนในการผลิตไฮดรอกซีอะไทต์และสามารถสังเคราะห์ได้ในปริมาณที่มาก โดยทั่วไปแล้วกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล จะมีการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า autoclaves ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง และสามารถสังเคราะห์ปริมาณของไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้ในปริมาณน้อย ดังนั้นจึงไม่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลจะมีการใช้น้ำเป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยา ซึ่งกระบวนนี้สามารถควบคุมลักษณะสัณฐานวิทยาได้ด้วยการควบคุมค่า pH และระยะเวลาในกระบวนการสังเคราะห์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีอิทธิพลต่อรูปร่างของอนุภาค ร่วมถึงกลไกที่เป็นไปได้ในการก่อตัวของไฮดรอกซีอะพาไทต์ [4]

2. วิธีการทดลอง

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ต้องทำการเตรียมสารละลายแคลเซียมไนเตรทเตตระไฮเดรท ($Ca(NO_3)_2{\cdot}4H_2O$) และสารละลายไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนออโธฟอสเฟต ($(NH_4)_2HPO_4$) ในอัตราส่วนความเข้มข้น 0.1 M และ 0.06 M ตามลำดับ หลังจากนั้นผสมสารละลายทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันโดยนำสารละลายไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนออโธฟอสเฟต เติมลงใน

สารละลายแคลเซียมไนเตรทเตตระไฮเดรท ที่มีการกวนตลอดเวลาที่อุณหภูมิห้อง ขั้นตอนที่สองนำสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ที่มีความเข้มข้น 30 (vol.%) เติมลงในสารละลายที่ได้เตรียมไว้ข้างต้นเพื่อทำการปรับค่า pH เท่ากับ 5, 7, 9 และ11 เมื่อทำการปรับค่า pH ตามที่กำหนดไว้แล้ว ให้กวนสารละลายต่อเป็นเวลา 10 นาที ขั้นตอนต่อไปนำสารละลายที่เตรียมไว้ใส่ลงในหม้อความดัน และใส่น้ำชดเชยในปริมาณที่คำนวณไว้ ปิดฝาหม้อความดันให้เรียบร้อย โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ เท่ากับ 120°C, 160°C และ 200°C แล้วตั้งเวลาเพื่อรอให้สารละลายถึงจุดเดือด ซึ่งจะสังเกตได้จากไอน้ำที่ปล่อยออกมา หลังจากนั้นทำการจับเวลาในการทำไฮโดรเทอร์-มอลเป็นเวลา 30, 45 และ 60 นาที หลังจากทำกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลแล้วให้นำสารที่เหลือไปทำการเหวี่ยง และล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นจำนวน 5 รอบ แล้วทำการวัดค่า pH แล้วนำตะกอนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100°C จนกระทั่งตะกอนแห้งสนิทหลังจากนั้นนำสารที่ได้ไปบดจนละเอียดจะได้อนุภาคผงสีขาวระดับนาโนเพื่อทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ในขั้นตอนถัดไป

การพิสูจน์เอกลักษณ์อนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ ด้วยเทคนิค X-ray Diffractometer (XRD: Miniflex II, Rigaku) ในการวิเคราะห์การเกิดผลึก โดยใช้รังสีเอกซ์ CuK_α ความยาวคลื่น 1.5406 อังสตรอม ช่วงข้อมูล 10° (2θ) ถึง 80° (2θ) ความเร็วในการสแกน 2° ต่อนาที ที่ 40 kV และ 30 mA หลังจากนั้นทำการศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยา (morphology) ของอนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ ด้วยเทคนิคจากเครื่อง Camscan SEM และ Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM: JSM-7001F)

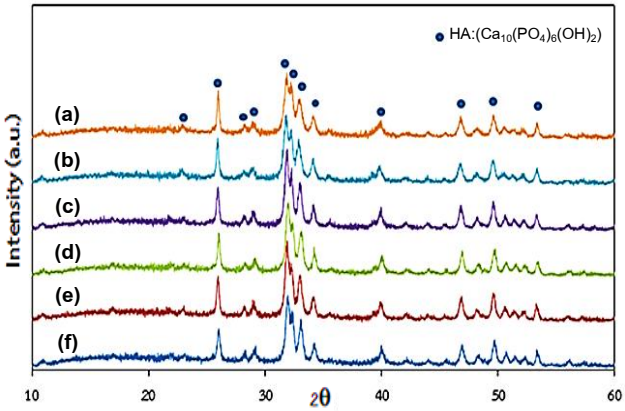
3. ผลการทดลอง

3.1 ลักษณะของพื้นผิวและผลึกที่เกิดขึ้น

รูปที่1 แสดงการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย XRD พบการปรากฏพีคของเฟสไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จาก [PDF#74-565, (hydroxyapatite, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$)] โดยอนุภาคที่สังเคราะห์ได้นั้นไม่ปรากฏพีคของเฟสอื่นๆ หรือเฟสของสิ่งเจือปน ทำให้ทราบว่าอนุภาคที่ได้นั้นเป็นอนุภาคของไฮดรอกซีอะพาไทต์ แม้ว่าในกระบวนการสังเคราะห์มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เวลา และค่า pH

หลังจากทำการผสมสารละลายทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน โดยในสารละลายทั้งสองชนิดมีอัตราส่วนของไอออนของ Ca/P เท่ากับ 1.67 มีการปรับค่า pH โดยการเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) โดย OH^- ที่อยู่ในสารละลายจะเป็นตัวช่วยทำให้เกิดอนุภาคไฮดรอกซีอะพาต์ และนอกจากค่า pH แล้วสิ่งที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเป็นอนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทต์ก็คือ ระยะเวลา และอุณหภูมิ เป็นไปตามสมการที่ 1 [5]

$$10Ca(NO_3)_2.4H_2O + 6(NH_4)_2HPO_4 + 2NH_4OH + H_2O \rightarrow Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 14NH_4NO_3 + 5H_2O \; ; \qquad (1)$$



รูปที่1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย XRD ของอนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มอลที่สภาวะต่างๆ ดังนี้ (a)200°C/60นาที/pH=5, (b)120°C/60นาที/pH=5, (c)200°C/60นาที/pH=11, (d)120°C/60นาที/pH=11, (e)200°C/30นาที/pH=11 และ (f)120°C/30นาที/pH=11

โดยระนาบของผลึกที่เกิดขึ้นในอนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้นั้นได้แก่ ระนาบ (200), (002), (102), (210), (211), (300), (202), (130), (222), (213) และ (004) ซึ่งระนาบที่สนใจคือ ระนาบ (002), (211) และ (300) เนื่องจากเป็นระนาบที่มีความเข้มของพีคค่อนข้างสูง เนื่องจากมีปริมาณการเกิดผลึกในระนาบเหล่านี้สูง นอกจากนี้ความกว้างของพีคในแต่ละระนาบสามารถนำไปคำนวณขนาดของผลึกได้ด้วยสมการที่(2) Scherrer equation [5, 6]

$$D_{hkl} = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \qquad (2)$$

$D_{(h\,k\,l)}$ เป็นขนาดของผลึก k เท่ากับ 0.9 ในกรณีนี้ λ สำหรับรังสีเอกซ์ CuK_{α} ความยาวคลื่น 1.5406 อังสตรอม และ β หาได้จากความกว้างที่ความสูงครึ่งหนึ่งของพีค ในระนาบที่ต้องการวัดขนาดของผลึก (Full With Half Maximum: FWHM) ในหน่วย radians และ θ คือมุม diffraction angle ซึ่งขนาดของผลึกในแต่ละระนาบผลึกแสดงในตารางที่ 1

จากสมการของ Scherrer ทำให้ทราบว่าอนุภาคของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มอลนี้มีขนาดผลึกเฉลี่ยอยู่ประมาณ 30 ถึง 40 นาโนเมตร โดยระนาบที่นำมาคำนวณหาขนาดของผลึกคือระนาบ (002) และระนาบ (300) มีทิศทางการเจริญเติบโตของผลึกตามทิศทาง c-axis และ a-axis ตามลำดับ โดยอนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีลักษณะเป็นแท่งจะมีขนาดของผลึกในทิศทาง c-axis

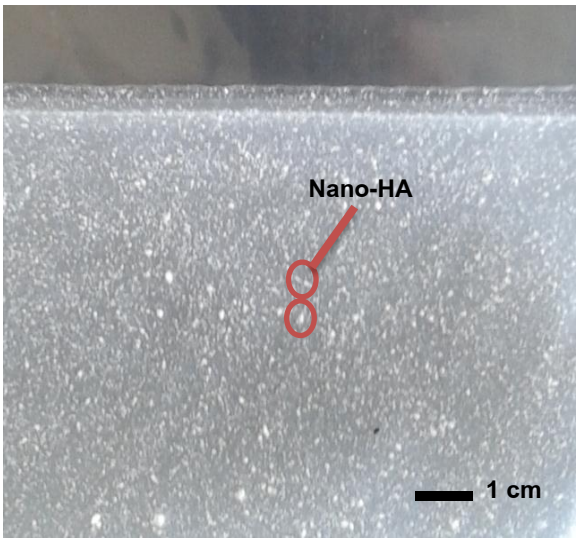
ตารางที่ 1 แสดงขนาดของผลึกในแต่ละระนาบผลึกและขนาดของผลึกเฉลี่ย

ชิ้นงาน	ขนาดของผลึก (D_{002},nm)	ขนาดของผลึก (D_{211},nm)
120°C/30min/pH=11	30.22	37.45
200°C/30min/pH=11	35.50	43.44
120°C/60min/pH=11	47.93	31.75
200°C/60min/pH=11	31.35	37.56
120°C/60min/pH=5	40.79	39.30
200°C/60min/pH=5	45.33	41.32

ชิ้นงาน	ขนาดของผลึก (D_{300},nm)	ขนาดของผลึก เฉลี่ย
120°C/30min/pH=11	33.17	33.61
200°C/30min/pH=11	29.58	36.17
120°C/60min/pH=11	24.39	34.69
200°C/60min/pH=11	30.71	33.21
120°C/60min/pH=5	34.52	38.20
200°C/60min/pH=5	24.68	37.11

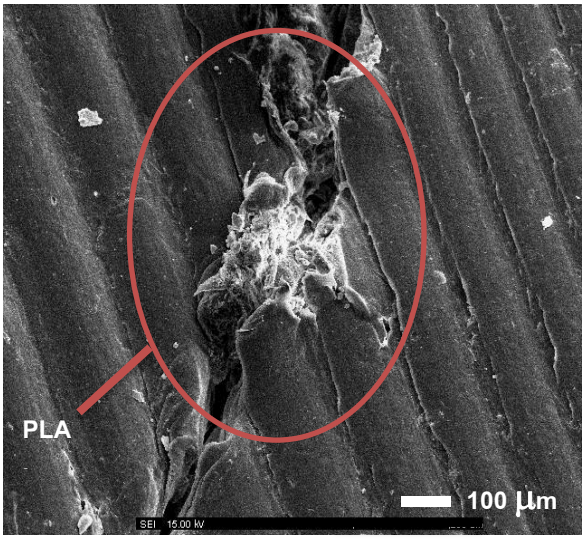
ที่มากกว่าขนาดของผลึกในทิศทาง a-axis และคิดขนาดผลึกที่ระนาบ (211) เนื่องจากมีความเข้มของพีคสูงที่สุด [5, 6] จากตารางที่ 1 พบว่าเมื่อค่า pH ที่ใช้ในการสังเคราะห์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ขนาดของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์มีขนาดลดลง เป็นผลมาจากเมื่อค่า pH สูงทำให้มีความเข้มข้นของ OH^- สูงขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นตัวช่วยในการเกิดนิวเคลียสของอนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทต์ จำนวนมากทำให้นิวเคลียสไม่สามารถเจริญเติบโตซ้อนทับกันได้ ดังนั้นขนาดของผลึกจึงมีขนาดเล็กแต่เมื่อทำการให้เวลาในการสังเคราะห์เพิ่มมากขึ้นพบว่าผลึกมีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นขึ้นเนื่องจากระยะเวลาที่นานทำให้ผลึกมีเวลามากพอที่จะเกิดการเจริญเติบโตในทิศทางที่เหมาะสม

3.2 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา และโครงสร้างจุลภาคของอนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์

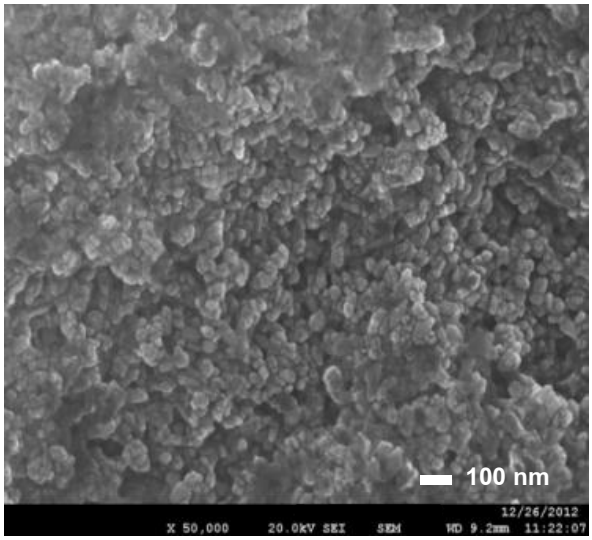


รูปที่ 2 ภาพถ่ายจากกล้องดิจิตอลของฟิล์มคอมโพสิท PLA/Hydroxyapatite ที่อุณหภูมิ 120°C/60min/pH=11 ก่อนการแช่ฟิล์มในสารละลาย SBF

รูปที่ 2 แสดงภาพถ่ายจากกล่องดิจิตอลของฟิล์มคอมโพสิท polylactic acid / hydroxyapatite (PLA/HA) ก่อนแช่ฟิล์มคอมโพสิทในสารละลาย simulated body fluid (SBF) ซึ่งเป็นสารละลายที่มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายของเหลวในร่ายกายของมนุษย์ พบว่าเกิดการกระจายตัวแบบเป็นกลุ่มก้อนเล็กๆ (agglomerate) ของไฮดรอกซีอะพาไทต์ในพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม PLA และรูปที่ 3 หลังจากการนำฟิล์มคอมโพสิทไปแช่ในสารละลาย SBF ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 สัปดาห์ เกิดการเกาะกลุ่มกันของไฮดรอกซีอะพาไทต์บริเวณรอยแตกของชิ้นงาน พบว่าเกิด porous apatite layer ในปริมาณที่มาก

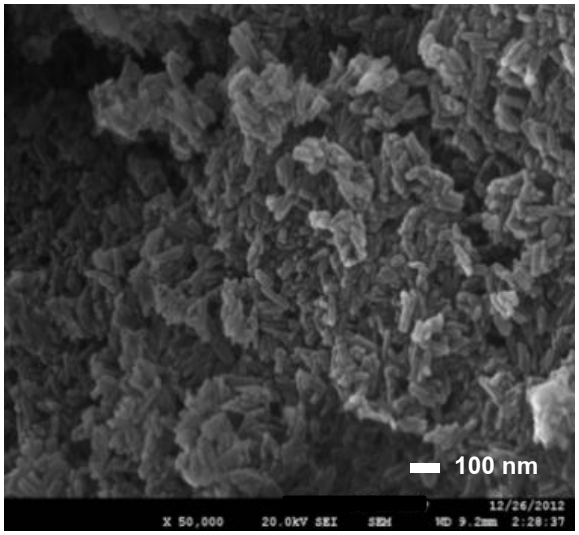


รูปที่ 3 ภาพจาก SEM แสดงโครงสร้างจุลภาคของไฮดรอกซีอะ-พาไทต์หลังจากการแช่ฟิล์มในสารละลาย SBF ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์

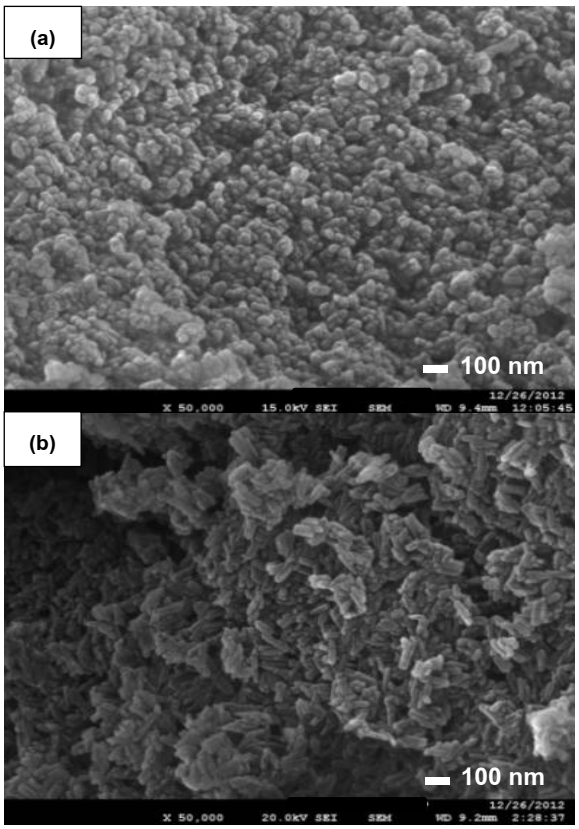


รูปที่ 4 ภาพจาก FE-SEM ของวิธีการสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพา-ไทต์ด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มอล เป็นเวลา 60 นาที ที่ค่า pH=11 อุณหภูมิ 200°C

โครงสร้างและลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ จากการวิเคราะห์โดย FE-SEM ในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอนุภาคไฮดรอกซีอะพาไทต์มีรูปร่างเป็นทรงกลมขนาดเล็กรวมกลุ่มกัน โดยที่อุณหภูมิสูงสารละลายมีความเข้มข้นที่เจือจางลงมากกว่าอุณหภูมิต่ำจึงเป็นอนุภาคนาโนทรงกลม และไม่มีอัตราส่วนของความยาวต่อความกว้างเกิดขึ้น [5]



รูปที่ 5 ภาพจาก FE-SEM ของวิธีการสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มอล เป็นเวลา 60 นาที ที่ค่า pH=11 อุณหภูมิ 120°C



รูปที่ 6 ภาพจาก FE-SEM ของวิธีการสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะพาไทต์ด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มอล ที่อุณหภูมิ 120°C ค่า pH=11 เป็นเวลา (a) 30 นาที และ (b) 60 นาที

เมื่อพิจารณารูปที่ 6 พบว่าระยะเวลาในการสังเคราะห์ส่งผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ เมื่อทำการสังเคราะห์ที่ระยะเวลา 30 นาที อนุภาคจะมีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีการรวมกลุ่มกัน แต่ที่ระยะเวลา 60 นาที พบว่ารูปร่างของอนุภาคมีลักษณะเป็นแท่งสั้นๆ (nanorod) รวมกลุ่มกัน

4. สรุปผลการทดลอง

จากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะ-พาไทต์ โดยวิธีการใช้หม้อความดันที่ใช้ภายในครัวเรือน พบว่าเกิดไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีความบริสุทธิ์ที่ค่า pH สูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมโครงสร้างจุลภาคและพื้นที่ผิวจำเพาะ โดยการควบคุมอุณหภูมิและเวลา โดยที่อุณหภูมิต่ำทำให้อนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์มีลักษณะที่เป็นแท่งสั้นๆ อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวสูง และการรวมกลุ่มกันของอนุภาค ส่งผลต่อความเข้ากันได้ในทางชีวภาพ [7] ผลของงานวิจัยนี้พบว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ค่า pH=11 เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 120°C ทำให้เกิดลักษณะสัณฐานวิทยาดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการควบคุมพื้นที่ผิวจำเพาะและลักษณะสัณฐานวิทยาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ได้อย่างเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในการเอื้อเฟื้อสถานที่และทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] A.A. Chaudhry, S. Haque, S. Kellici, P. Boldrin, I. Rehman, F.A. Khalid, and J.A. Darr, Instant nano-hydroxyapatite: a continuous and rapid hydrothermal synthesis. The Royal Society of Chemistry, 2006: p. 2286–2288.

[2] J. Liu, X. Ye, H. Wang, M. Zhu, B. Wang, and H. Yan, The influence of pH and temperature on the morphology of hydroxyapatite synthesized by hydrothermal method. Ceramics International, 2003. 29(6): p. 629–633.

[3] R. Zhu, R. Yuc, J. Yao, D. Wang, and J. Kea, Morphology control of hydroxyapatite through hydrothermal process. Journal of Alloys and Compounds, 2008. 457(1–2): p. 555–559

[4] A.R. Kumar and S. Kalainathan, Sol–gel synthesis of nanostructured hydroxyapatite powder inpresence of polyethyleneglycol. Physica B: Condensed Matter, 2010. 405 (13): p. 2799–2802

[5] M. Sadat-Shojai, M.T. Khorasani, and A. Jamshidi, Hydrothermal processing o fhydroxyapatite nanoparticles—A Taguchi experimental design approach. Crystal Growth, 2012. 361: p. 73-84.

[6] B. Viswanath and N. Ravishankar, Controlled synthesis of plate-shaped hydroxyapatite and implications for the morphology of the apatite phase in bone. Biomaterials, 2008. 29(36): p. 4855–4863.

[7] H. Zhou and J. Lee, Nanoscale hydroxyapatite particles for bone tissue engineering. Acta Biomaterialia, 2011. 7(7): p. 2769–2781

การศึกษาผลกระทบของเกจบล็อคที่ใช้วัสดุเคลือบผิวต่างชนิดกัน

A Preliminary Study of Effect of Costing Substance on Gauge Block Properties

วิศรุต คงสกุล*
ศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัดสำหรับอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131
E-mail: wissarut@eng.buu.ac.th*

Wissarut Kongsagul*
Calibration Center for Industry, Faculty of Engineering
Burapha University, Muang, Chonburi, 20131
E-mail: wissarut@eng.buu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของสารเคลือบผิวแต่ละชนิดที่มีผลกระทบต่อการเกิดสนิมบนผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อคด้วยการเคลือบเกจบล็อคด้วยสารเคลือบผิว ดังนี้ วาสลิน ปิโตรเลียม เจลลี่, สารเคลือบผิวอเนกประสงค์, น้ำมันมะพร้าวบริสุทธ์, น้ำมันออโตลูปรถมอเตอร์ไซน์, น้ำมันเครื่องรถยนต์ และเกจบล็อคที่ไม่ได้เคลือบผิว และปล่อยไว้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่ได้ควบคุม เป็นระยะเวลานาน 1 ปี พบว่าขนาดของเกจบล็อคเปลี่ยนไปดังนี้ 0.00 μm, -0.02 μm, -0.01 μm, 0.62 μm, -0.02 μm และ 4.72 μm พบสนิมเกิดขึ้นที่ผิวเกจบล็อคขนาด 0.000 mm, 3.459 mm, 1.453 mm, 2.251 mm, 2.336 mm และ 12.856 mm ตามลำดับ และเวลาในการล้างเกจบล็อคไม่แตกต่างกันโดยใช้เวลา 15 วินาที/ชิ้น จากผลการวิจัยพบว่า วาสลิน ปิโตรเลียม เจลลี่ เป็นสารเคลือบผิวที่เหมาะสมในการใช้เคลือบเกจบล็อคมากที่สุด เพราะว่าสามารถปกป้องเกจบล็อคได้นานกว่าสารเคลือบผิวชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คำหลัก เกจบล็อค, สารเคลือบผิว, สนิม

Abstract

This research studied effect of cost surface gauge block from other costing surface such as Vaseline petroleum jelly, Oil silicone (sonax), Coconut oil, Autolube oil, Engine oil flush and gauge block none costing surface. Operative demonstrate cost surface gauge block and set in environment not control as long as 1 year. Seeing gauge block change dimension for 0.00 μm, -0.02 μm, -0.01 μm, 0.62 μm, -0.02 μm and 4.72 μm and seeing rust appear on surface gauge block side 0.000 mm, 3.459 mm, 1.453 mm, 2.251 mm, 2.336 mm and 12.856 mm respective and times for use cleaning gauge block not differ about 15 second/item. For this research found Vaseline petroleum jelly is costing surface decent more than other cost surface. Because it can protect is surface gauge block long standing for significant 95%.

Keywords: Gauge block; Costing surface; Rust;

1. บทนำ

เกจบล็อคหรือแท่งความยาวมาตรฐาน เป็นเครื่องมือที่มีความถูกต้องสูง มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากมีความเรียบและความขนานสูงทั้ง 2 ด้าน [1] เกจบล็อคทำจากวัสดุได้หลายประเภท เช่น โลหะสติล, เซรามิค, ทังสเตนคาร์ไบด์ [2] แต่ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบนิยมใช้มากคือเกจบล็อคที่ผลิตจากวัสดุชนิดโลหะสติล โดยขนาดที่ถูกต้องของเกจบล็อคจะอ้างอิงที่อุณหภูมิ 20 $^{\circ}$C ตามมาตรฐาน UKAS Lab 36 [3] ลักษณะของเกจบล็อคเป็นไปตามรูปที่ 1

รูปที่ 1 เกจบล็อคหรือแท่งความยาวมาตรฐาน

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะต้องควบคุมสภาวะแวดล้อมในการเก็บรักษาเกจบล็อคที่เป็นสติล โดยควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50±10 %RH เพื่อป้องกันการเกิดสนิมที่บริเวณผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อค โดยปฏิกิริยาการเกิดสนิมจะเกิดขึ้นกับเกจบล็อคโลหะสติลที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้เมื่อเหล็กสัมผัสกับน้ำและความชื้นในอากาศโดยจะค่อย ๆ เกิดการสึกกร่อนกลายเป็นเหล็กออกไซด์หรือที่เรียกว่าสนิม($Fe_2O_3.H_2O$) [4] เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นช้า ๆ ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาเป็นไปตามสมการ (1)

$$4Fe + 3O_2 + 3H_2O \rightarrow 2Fe_2O_3.3H_2O \quad (1)$$

ปัญหาของห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่มีเกจบล็อคเป็นเครื่องมือมาตรฐานคือมีค่าใช้จ่ายสูงในการควบคุมสภาวะแวดล้อมห้องปฏิบัติการสอบเทียบไว้ตลอดเวลา[5] ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของวัสดุเคลือบผิวเกจบล็อคชนิดต่าง ๆ จากความเสียหายของการเกิดสนิมเมื่อเก็บเกจบล็อคไว้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่ได้ควบคุมเป็นระยะเวลานานตลอด 1 ปี ทำการวิเคราะห์ข้อมูลสารเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ จากสภาพผิว และขนาดของเกจบล็อคที่เปลี่ยนไป

2. วัสดุอุปกรณ์

2.1 ขนาดของเกจบล็อคที่เปลี่ยนไป

เครื่องเกจบล็อคคอมพาราเตอร์ใช้สำหรับวัดขนาดของเกจบล็อคที่เบี่ยงเบนไปจากค่าความยาวมาตรฐานมีความละเอียดในการอ่านค่าผลการวัดในระดับ 0.01 μm และมีค่าความไม่แน่นอนในการวัด 0.032 μm [6] เครื่องเกจบล็อกคอมพาราเตอร์มีลักษณะตามรูปที่ 2

รูปที่ 2 เครื่องเกจบล็อคคอมพาราเตอร์

2.2 ขนาดของสนิมที่เกิดขึ้น

เครื่องโปรไฟร์โปรเจคเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดขนาดของสนิมที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อค มีความละเอียดในการอ่านค่าผลการวัดในระดับ 0.001 mm มีค่าความไม่แน่นอนในการวัด 0.0015 mm เครื่องโปรไฟร์โปรเจคเตอร์มีลักษณะตามรูปที่ 3

รูปที่ 3 เครื่องโปรไฟร์โปรเจคเตอร์

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้วางแผนดำเนินการตามหลักการสถิติเพื่อคำนึงถึงความมีนัยสำคัญ และความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง โดยเริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูลหาปัจจัยที่

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบต้องการจากสารเคลือบผิวเกจบล็อค และทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการเคลือบเกจบล็อคไว้นาน 1 ปี โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ต่อจากนั้นถึงจะกำหนดสารเคลือบผิวหน้าสัมผัสเกจบล็อคที่เหมาะสมที่สุด กับการนำไปใช้งานภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

3.2 เตรียมเกจบล็อค และสารเคลือบผิว

เกจบล็อคที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเกจบล็อคสภาพใหม่ เกรด 1 ตามมาตรฐาน JIS B 7506 : 1997 จำนวน 42 ชิ้น และจากแบบสอบถามความต้องการใช้สารเคลือบผิว พบว่าสารเคลือบผิวหน้าสัมผัสเกจบล็อคที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบทางมิตินิยมใช้มีทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ 1. วาสลิน ปิโตรเลียม เจลลี่, 2.สารเคลือบผิวอเนกประสงค์, 3.น้ำมันมะพร้าวบริสุทธ์, 4.น้ำมันออโตลูปรถมอเตอร์ไซน์ , 5.น้ำมันเครื่องรถยนต์

3.2 คุณสมบัติที่สำคัญของสารเคลือบผิว

งานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลจากแบบสอบถามความต้องการใช้สารเคลือบเกจบล็อคจากเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการสอบเทียบของห้องปฏิบัติการสอบเทียบด้านมิติ จำนวนทั้งสิ้น 34 คน จากทั้งหมด 10 ห้องปฏิบัติการ ในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ และภาคตะวันออก จากข้อมูลที่ได้พบว่าคุณสมบัติของสารเคลือบผิวหน้าสัมผัสเกจบล็อคที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบต้องการ เมื่อต้องเคลือบผิวเกจบล็อคทิ้งไว้นาน 1 ปี จากแบบสอบถามสามารถหาค่า %ความสำคัญ ได้จากสมการ (2)

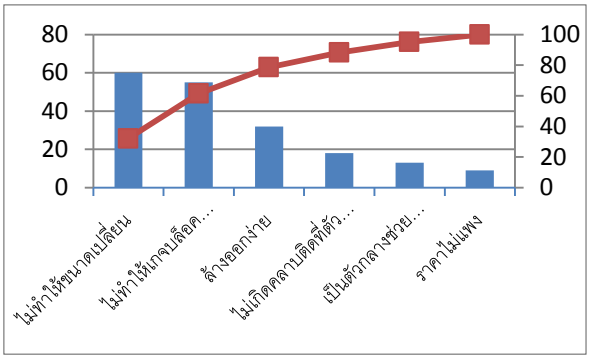
$$\%\text{ความสำคัญ} = \frac{\text{ข้อมูลที่ได้} \times 100}{\text{ข้อมูลที่ได้ทั้งหมด}} \qquad (2)$$

พบว่าคุณสมบัติ และ %ความสำคัญ ที่เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการสอบเทียบต้องการจากสารเคลือบผิวเกจบล็อคสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติและเปอร์เซนต์ความสำคัญของสารเคลือบผิวเมื่อต้องเคลือบเกจบล็อคทิ้งไว้นาน 1 ปี

ลำดับ	คุณสมบัติ	%ความสำคัญ
1	ไม่ทำให้ขนาดเกจบล็อคเปลี่ยน	32%
2	ไม่ทำให้เกจบล็อคเกิดสนิม	29%
3	ล้างออกง่าย	17%
4	ไม่เกิดคลาบติดที่ตัวเกจบล็อค	10%
5	เป็นตัวกลางช่วยประกบเกจบล็อคได้	7%
6	ราคาไม่แพง	5%

จากข้อมูลพบว่าคุณสมบัติของสารเคลือบผิวหน้าสัมผัสเกจบล็อคที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบต้องการในลำดับที่ 1-3 มีเปอร์เซนต์ความสำคัญที่รวมกันมากถึง 78% ซึ่งเป็นคุณสมบัติหลักของสารเคลือบผิวเกจบล็อคที่ดี โดยจะต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่ 1.ไม่ทำให้ขนาดของเกจบล็อคเปลี่ยนไป 2.ไม่ทำให้เกจบล็อกมีสนิมเกินขึ้น 3.สามารถล้างออกได้ง่าย วิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต[7] แสดงได้ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภาพพาเรโตคุณสมบัติที่สำคัญของสารเคลือบผิว

4. ผลการวิจัย และวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้ทำการทดลอง และศึกษาผลกระทบของผิวหน้าสัมผัสเกจบล็อคที่ใช้สารเคลือบผิวต่างชนิดกันเคลือบทิ้งไว้เป็นระยะเวลานาน 1 ปี สรุปผลการวิจัยและพิจารณาหาสารเคลือบที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4.1 ขนาดของเกจบล็อคที่เปลี่ยนไป

ผลจากการทดลอง สามารถหาขนาดของเกจบล็อคที่เปลี่ยนแปลงไปโดยการวัดด้ยเครื่องเกจบล็อคคอมพาราเตอร์ ได้ผลการวัดตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขนาดของเกจบล็อคที่เปลี่ยนแปลงไปจากการใช้สารเคลือบผิวแต่ละชนิด

ชนิดของสารเคลือบผิว	ขนาดเกจบล็อคก่อนเคลือบ	ขนาดเกจบล็อกหลังเคลือบ	ขนาดเกจบล็อกที่เปลี่ยนแปลงไป
1. วาสลิน	0.04 μm	0.04 μm	0.00 μm
2. สารเคลือบผิว WD-40	-0.13 μm	-0.15 μm	-0.02 μm
3. น้ำมันมะพร้าว	-0.12 μm	-0.13 μm	-0.01 μm
4. น้ำมันออโตลูป	0.02 μm	0.64 μm	0.62 μm
5. น้ำมันเครื่องรถยนต์	0.10 μm	0.08 μm	-0.02 μm
6. เกจบล็อคไม่ได้เคลือบ	0.06 μm	4.78 μm	4.72 μm

พบว่าเกจบล็อคที่ไม่ได้เคลือบมีสนิมเกิดขึ้น สนิมสร้างความเสียหายต่อขนาดของเกจบล็อคได้โดยตรง สำหรับสารเคลือบผิวชนิดอื่น ๆ พบว่า น้ำมันออโตลูปรถมอเตอร์ไซน์มีผลกระทบต่อขนาดของเกจบล็อคมากที่สุด สำหรับสารเคลือบผิวชนิดอื่นถือว่าไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดของเกจบล็อคมากนักตามมาตราฐาน JIS B 7506 : 1997 [8] เพราะมีความเปลี่ยนแปลงไม่เกิด ±0.08 μm จะไม่ส่งผลกระทบจนทำให้เกจบล็อคตกจาก เกรด 1 ซึ่งเป็น เกรดของเกจบล็อกที่ใช่ทำการทดลองงานวิจัยนี้

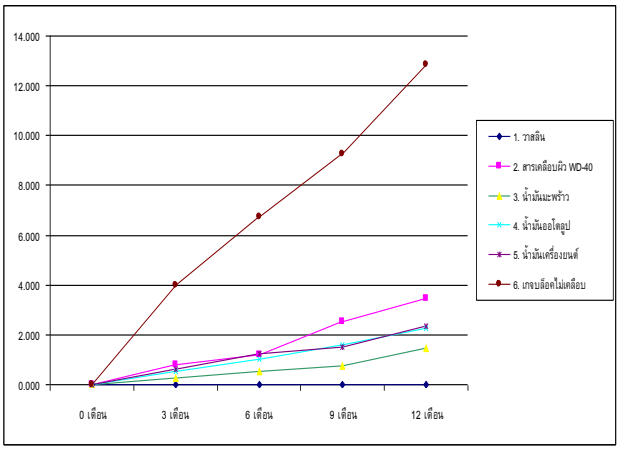
4.2 ขนาดของสนิมที่เกิดขึ้น

ผลจากการทดลอง สามารถวัดขนาดของสนิมที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อค ที่วัดด้วยเครื่องโปรไฟร์โปรเจคเตอร์ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาดของสนิมที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าสัมผัสเกจบล็อคที่เกิดขึ้นจากสารเคลือบผิวแต่ละชนิด หน่วย : mm

ชนิดของสารเคลือบผิว	3 เดือน	6 เดือน	9 เดือน	12 เดือน
1. วาสลิน	0.000	0.000	0.000	0.000
2. WD-40	0.786	1.215	2.536	3.459
3. น้ำมันมะพร้าว	0.278	0.536	0.748	1.453
4. น้ำมันออโตลูป	0.534	1.008	1.589	2.251
5. น้ำมันเครื่อง	0.627	1.254	1.514	2.336
6. ไม่ได้เคลือบ	3.985	6.732	9.269	12.856

พบว่ามีเพียงสารเคลือบผิวชนิดเดียวเท่านั้น คือ วาสลินปิโตรเลียม เจลลี่ ที่สามารถป้องกันการเกิดสนิมบนผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อคได้ ส่วนสารเคลือบผิวชนิดอื่นๆ จะทำให้ผิวหน้าสัมผัสเกจบล็อคเกิดสนิมขึ้นทีละน้อย และค่อยๆ ขยายใหญ่ขึ้น เพราะว่าสารเคลือบผิวจะเริ่มแห้งเมื่อเคลือบทิ้งไว้นานขึ้น และอาจทำให้ส่วนประกอบของเหล็กในตัวเกจบล็อคสัมผัสกับน้ำและความชื้นในอากาศอันเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดสนิม ซึ่งสนิมสามารถสร้างความเสียหายต่อผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อคได้ จากการทดลองสามารถแสดงลักษณะการเกิดสนิมบนผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อคในลักษณะกราฟเชิงเส้นได้ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความเป็นเชิงเส้นของการเกิดสนิมบนผิวหน้าสัมผัสเกจบล็อกของสารเคลือบผิวแต่ละชนิด

4.3 เวลาในการล้างเกจบล็อค

ผลจากการทดลอง จับเวลาที่ใช้ในการล้างสารเคลือบผิวแต่ละชนิดออกจากผิวหน้าสัมผัสเกจบล็อคให้สะอาดจนสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการสอบเทียบได้ โดยจับเวลาที่ใช้ในการล้างเกจบล็อคจำนวน 10 ชิ้น ขนาด 0.5 mm, 1 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 50 mm, 75 mm และ 100 mm ตามละดับและหาค่าเฉลี่ยในการล้างเกจบล็อค ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เวลาที่ใช้ในการล้างเกจบล็อคให้สะอาดจากการเคลือบด้วยสารเคลือบผิวแต่ละชนิด

ชนิดของสารเคลือบผิว	เวลาที่ใช้ในการล้างเกจบล็อคให้สะอาด
1. วาสลิน ปิโตรเลี่ยม เจลลี่	15.5 วินาที
2. สารเคลือบผิวเอนกประสงค์	14.6 วินาที
3. น้ำมันมะพร้าวบริสุทธ์	14.8 วินาที
4. น้ำมันออโตลูปรถมอเตอร์ไซน์	15.7 วินาที
5. น้ำมันเครื่องรถยนต์	15.9 วินาที

พบว่าเวลาที่ใช้ในการล้างเกจบล็อคจากสารเคลือบผิวแต่ละชนิดใช้เวลาในการล้างไม่แตกต่างกัน คือ ประมาณ 15 วินาที / ชิ้น

4.4 สรุปหาสารเคลือบผิวเกจบล็อคที่เหมาะสม

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยเทคนิค One Way Analysis of Variance ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปผลการออกแบบการทดลอง (DOE) โดยการทดสอบสมมุติฐาน ตามสมการ (3)

$$H_0 : \mu 1 = \mu 2 = \mu 3 = \mu 4 = \mu 5 \qquad (3)$$
$$H_1 : \mu 1 \neq \mu 2 \neq \mu 3 \neq \mu 4 \neq \mu 5$$

เพื่อหาสารเคลือบผิวที่เหมาะสมที่สุดโดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากปัจจัยของขนาดของเกจบล็อคที่เปลี่ยนไป ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุด เมื่อสอดคล้องกับขนาดของสนิมที่เกิดขึ้น เมื่อเคลือบเกจบล็อกด้วยสารเคลือบผิวแต่ละชนิด จำนวน 5 ชิ้น เคลือบทิ้งไว้นาน 1 ปี จากข้อมูลที่ได้จะสามารถนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจนได้จากค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน นำมาทดสอบสมมติฐาน ที่ระดับนัยสำคัญ 95% เพื่อทดสอบว่าจากสารเคลือบผิวแต่ละชนิดให้ผลการเปลี่ยนแปลงขนาดของเกจบล็อคที่เปลี่ยนไปตามความสัมพันธ์กับขนาดของสนิมที่เกิดขึ้นมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันหรือไม่ แสดงข้อมูลได้ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การทดลองหาสารเคลือบผิวที่เหมาะสมจากการวัดขนาดของเกจบล็อคที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเคลือบทิ้งไว้ 1 ปี หน่วย : μm

สารเคลือบ	1	2	3	4	5
1.วาสลิน	0.08	0.09	0.12	0.11	0.07
2. WD-40	0.15	0.14	0.13	0.17	0.16
3.น้ำมันมะพร้าว	0.16	0.17	0.14	0.18	0.13
4.น้ำมันออโตลูป	0.17	0.19	0.11	0.14	0.18
5.น้ำมันเครื่อง	0.14	0.12	0.09	0.13	0.20

ทำการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% [9] จากข้อมูลที่ได้สามารถนำมาแสดงในรูปแบบของ ANOVA ได้ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตาราง ANOVA การออกแบบการทดลอง

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*F crit*
สารเคลือบผิว	0.014	4	0.00351	4.60	2.87
Error	0.015	20	0.00076		
Total	0.029	24			

จากการออกแบบการทดลองพบว่า *F* มากกว่า *Fcrit* แสดงผลว่าปฏิเสธ H_0 ยืนยันว่า H_1 เป็นจริง อธิบายผลได้ว่าค่าเฉลี่ยขนาดของเกจบล็อคทีเปลี่ยนไปจากการเคลือบผิวด้วยวาสลีน ให้ความแตกต่างจากขนาดค่าเฉลี่ยของเกจบล็อคที่เคลือบด้วยสารเคลือบชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5. สรุป

จากผลการวิจัยพบว่าสารเคลือบผิวหน้าสัมผัสเกจบล็อกที่เหมาะสมในการใช้งานภายในห้องปฏิบัติการสอบเทียบคือ วาสลิน ปิโตรเลียม เจลลี่ เมื่อทำการทดลองเคลือบเกจบล็อคทิ้งไว้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่ได้ควบคุมหรือสภาวะแวดล้อมปกติเป็นระยะเวลานาน 1 ปี เพราะมีผลกระทบกับผิวหน้าสัมผัสของเกจบล็อคน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวชนิดอื่น ๆ ดังนี้ 1.สารเคลือบผิวอเนกประสงค์, 2.น้ำมันมะพร้าวบริสุทธ์, 3. น้ำมันออโตลูปรถมอเตอร์ไซน์, 4.น้ำมันเครื่องรถยนต์ และ 5.เกจบล็อคทีไม่ได้เคลือบ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุน และความปลอดภัยของเกจบล็อค ห้องปฏิบัติการสอบเทียบสามารถใช้สารเคลือบผิวเกจบล็อคชนิดโลหะ

สติล ไว้ได้โดยที่ไม่ต้องเปิดเครื่องปรับอากาศตลอดเวลา ถ้าสารเคลือบผิวเป็น วาสลิน ปิโตรเลียม เจลลี่ จะสามารถเคลือบทิ้งไว้ได้นาน 1 ปี แต่ถ้าเป็นสารเคลือบผิวชนิดอื่น ๆ จะสามารถเคลือบทิ้งไว้ได้นาน 3 เดือน โดยที่ไม่ทำให้ผิวหน้าสัมผัสเกจบล็อคเกิดความเสียหายจากสนิมขึ้นได้

ข้อเสนอแนะ

(1) งานวิจัยนี้เป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผิวหน้าสัมผัสเกจบล็อคเมื่อใช้สารเคลือบผิวต่างชนิดกัน เคลือบทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 ปี เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้สารเคลือบผิวเกจบล็อคเมื่อห้องปฏิบัติการสอบเทียบต้องการเคลือบเกจบล็อคไว้ในกรณีที่ไม่ได้ใช้งาน เพื่อความมั่นใจว่าเกจบล็อคจะไม่เกิดความเสียหายจากสนิม โดยการทดลองนี้พิจารณาจากปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสภาพผิวหน้าสัมผัสเกจบล็อคมากที่สุดเพียง 3 ปัจจัยเท่านั้น

(2) งานวิจัยนี้ใช้สภาวะแวดล้อมที่ไม่ได้ควบคุม หรือสภาวะแวดล้อมปกติตามธรรมชาติ คือสภาวะแวดล้อมตามอุณหภูมิห้องที่ไม่ได้เปิดเครื่องปรับอากาศ การทดลองนี้เก็บข้อมูลตลอด 1 ปี ครอบคลุมสภาพภูมิอากาศทั้ง 3 ฤดู โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ยตลอดทั้งปี ของการทดลองอยู่ระหว่าง 55-80 %RH การทดลองนี้อยู่ในพื้นที่จังหวัดชลบุรี และอยู่ใกล้ทะเล

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนโครงการวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2556 เลขที่สัญญา วจพ. 7/2556

เอกสารอ้างอิง

[1] สุรชัย จันทร์สุข, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม., ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 ก.พ.-ก.ค. 2549

[2] อนุสรณ์ ทนหมื่นไวย, Comparison of Steel, Ceramic and Carbide Gauge Block, Blue Update, Edition 8, 2555

[3] United Kingdom Accreditation Service, Laboratory Accommodation and Environment in the Measurement of Length, Angle and From, Edition 3, 2008

[4] สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), ข้อมูลจาก http://www.tpa.or.th/writer/read_rhis_book_topic.php?bookID=213&pagrid (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 กันยายน 2557)

[5] Ted Doiron and John Beers, The Gauge Block Handbook, NIST Monograph 180, 2005

[6] Mitutoyo Corporation, Metrology Handbook-The Scienceof Measurement, Japan, 2007

[7] บรรหาญ ลิลา, การควบคุมคุณภาพ (Quality Control), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2551

[8] Japanese Standard Association, JIS Handbook Mechanical Instrumentation, Japan, 2002

[9] บรรหาญ ลิลา. 2551. เอกสารประกอบการเรียนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น. ชลบุรี.

เครื่องวัดแรงบิดขนาด 50 N m พร้อมสัญญาณตรวจสอบร่วม

50 N m Torque Transducer with Check Standard Combination

โชคชัย วาดทอง ทัศนัย แสนพลพัฒน์*
ห้องปฏิบัติการแรงบิด ฝ่ายมาตรวิทยาเชิงกล สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ จ.ปทุมธานี 12120
E-mail: tassanai@nimt.or.th*

Chokchai Wattong, Tassanai Sanponpute*
Torque laboratory, Mechanical Department, National Institute of Metrology (Thailand), Pathumthani, 12120, E-mail: tassanai@nimt.or.th*

บทคัดย่อ

การออกแบบและสร้าง Torque transducer ที่มี 2 ช่องสัญญาณมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของการวัดขณะใช้งานได้ด้วยตัวมันเอง ส่วนรับรู้แรงบิดถูกออกแบบให้มีรูปทรงเพลาแกนวัดแรงบิดประกอบด้วยสองส่วนรับรู้ปริมาณแรงบิดที่มีขนาดต่างกัน ส่วนแรกทำหน้าที่วัดปริมาณแรงบิดที่ความจุ 50 N m ส่วนที่สองทำหน้าที่เป็นมาตรฐานตรวจสอบ (Check standard) ถูกออกแบบให้มีความจุที่ 100 N m โดยอัตราส่วนของสัญญาณวัดต่อสัญญาณตรวจสอบถูกใช้เป็นเครื่องมือเฝ้าระวังความถูกต้องของเครื่องมือวัดแรงบิดต้นแบบที่ถูกสร้างขึ้นได้ถูกสอบเทียบ พบว่ามีความถูกต้องอยู่ในระดับ class 0.2 ตามมาตรฐาน DIN 51309 ทั้งสองช่องสัญญาณ และมีความเสถียรอยู่ที่ +/- 0.032% และ+/-0.072% สำหรับสัญญาณวัดแรงบิดและสัญญาณตรวจสอบตามลำดับ ผลการคำนวนพบว่าค่าอัตราส่วนของสัญญาณวัดต่อสัญญาณตรวจสอบมีความเสถียรอยู่ที่ +/- 0.072% เมื่อทำการทดสอบจ่ายภาระเกินพิกัดที่ 130% 150% 200% และ 300% ตามลำดับ พบว่าเครื่องมือวัดแรงบิดยังคงให้ความถูกต้องอยู่ในพิกัดค่าความเสถียรที่หามาก่อนหน้าทั้งสองสัญญาณ ตลอดจนค่าอัตราส่วนของสัญญาณวัดต่อสัญญาณตรวจสอบยังคงมีความเสถียร เมื่อทำการจ่ายภาระเกินพิกัดที่ 600% พบว่าสัญญาณวัดปริมาณแรงบิดได้ให้ค่าเปลี่ยนไปเกินกว่า -50% แต่ช่องสัญญาณตรวจสอบยังคงมีความเสถียร นอกจากนั้นค่าอัตราส่วนของสัญญาณวัดต่อสัญญาณตรวจสอบเปลี่ยนแปลงไป -50% สอดคล้องกับผลการทำการตรวจสอบระหว่างการใช้งานทั่วไป

คำหลัก เครื่องวัดแรงบิด มาตรฐานตรวจสอบ ความถูกต้อง

Abstract

The objective of designs and fabrication torque transducer with two channels is to be able checking the accuracy of the measurement, even when used by self. The sensing body is designed torsion form. Torque measurement axis consists of two parts of different sensing body sizes. The first part is a torque measurement with capacity of 50 N m. The second part is used as a check standard with capacity of 100 N m. Ratio of the both, torque measurement and check signals use as monitoring tool use for accuracy checking. The prototype torque transducer was calibrated. Result showed two channels met accuracy class 0.05 accordance with DIN 51309standard. In addition, their stabilities are to be +/- 0.032% and +/- 0.072% for the torque measurement and check signal respectively. The calculations showed that the ratio of the torque measurement and check signal had stability within +/- 0.072%. When test overload were

carried out at 130%, 150%, 200% and 300% of capacity, respectively. Torque transducer endured to be in the range of stability as mention above for all of two signals. As well as the ratio of the measurement signal remained stable. When test overload at 600% of capacity, the torque measurement signal drifted more than -50%, but the check signal remained stable. In addition, the ratio of the both signals changed to -50% corresponds to the typical intermediate check results.

Keywords: torque transducer, check standard, accuracy.

1. บทนำ

การตรวจสอบระหว่างการใช้งาน (Intermediate Check) เป็นกิจกรรมที่จำเป็นตามมาตรฐาน ISO 17025:2005 General requirement for the competence of testing and calibration [1] ช่วยเฝ้าระวังความถูกต้องของเครื่องมือวัดระหว่างการใช้งาน นิยมใช้การเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอื่นที่ที่เป็นมาตรฐานตรวจสอบ (Check standard) ซึ่งมีความเสถียรที่เหมาะสม โดยความถี่ในการทำการตรวจสอบขึ้นอยู่กับความเสี่ยงต่อการใช้เครื่องมือวัดที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดและการยอมรับได้ของเวลา ตลอดจนค่าใช้จ่ายที่ใช้ ในทางอุดมคติแล้วการทำการตรวจสอบทุกครั้งที่ใช้งานแม้จะมีต้นทุนที่สูงและใช้เวลามากแต่ลดความเสี่ยงได้สูงสุด

การที่สามารถตรวจสอบระหว่างใช้งานได้ทุกครั้งไปพร้อมกับการใช้งาน เพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการจัดหา Check Standard จึงเป็นวัตถุประสงค์ในการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดแรงบิดพร้อมสัญญาณตรวจสอบร่วมของงานวิจัยนี้ ปริมาณแรงบิด (torque measurement) และตรวจสอบ (check) ถูกออกแบบให้สามารถวัดสัญญาณได้ในเวลาเดียวในขณะใช้งาน จึงสามารถยืนยันความถูกต้องของเครื่องมือวัดแรงบิดในทันที

2. การออกแบบและสร้าง

2.1 ส่วนรับรู้ปริมาณแรงบิด

เครื่องมือวัดแรงบิด 50 N m พร้อมสัญญาณตรวจสอบร่วมนี้ใช้หลักการของ torque transducer สองตัวต่อร่วมแกนวัดเดียวกัน โดยให้ตัวหลักเป็น Torque Measurement มีพิกัดที่ 50 N m ตามพิกัดการใช้งาน และอีกตัวหนึ่งเป็น Check Standard มีพิกัดเป็น 100 N m ซึ่งเป็นสองเท่าของพิกัดการใช้งาน เมื่อเกิดการใช้งานเกินพิกัดและอาจมีความเสียหายที่ตัวหลักได้แต่จะไม่ทำความเสียหายให้กับ Check standard เนื่องจากออกแบบให้มีพิกัดการใช้งานสูงกว่าตัวหลักถึงสองเท่า ผู้วิจัยได้ออกแบบให้ ส่วนรับรู้ปริมาณแรงบิดของเครื่องมือวัดแรงบิดมีรูปทรงแบบเพลาตัน วัสดุที่เลือกใช้เป็นเหล็ก Tool steel เกรด DC 53 เนื่องจากส่วนรับรู้ปริมาณแรงบิดที่ทำจากเหล็ก Tool steel เกรด DC 53 และที่ผ่านการอบชุบด้วยความร้อน (Heat treatment) ที่มีความแข็งระหว่าง 55 -60 HRC จะมีคุณสมบัติทางมาตรวิทยา Reversibility error ต่ำกว่า 0.06 % ที่ 50 % ของพิกัดแรงบิด [2], [3] เหล็ก DC 53 มีรายละเอียดส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 และลักษณะสมบัติทางกลดังตารางที่ 2

ตารางที่1 ส่วนผสมทางเคมีเหล็ก เกรด DC53

Chemical Composition, %					
C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0.95	1.0	0.4	8.0	2.0	0.3

ตารางที่2 ลักษณะสมบัติทางกล

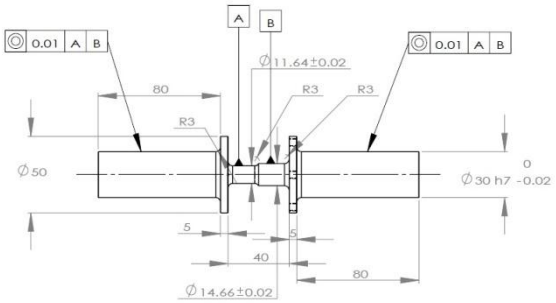
Mechanical property	
Annealed Hardness	(210 to 225) HB
Density	7731 kg/m3
Young's Modulus (E)	212.8 GPa
Modulus of Rigidity (G)	83.1 GPa
Poisson's Ratio	0.28

การคำนวณขนาดของ ส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นใช้สมการดังนี้ [4]

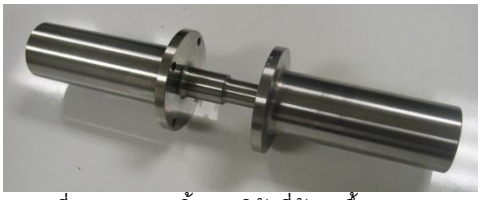
$$M_t = \gamma \cdot G \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^3}{16} \right) \quad (1)$$

$$G = \frac{E}{(2 \times (1+\nu))} \quad (2)$$

เมื่อ M_t คือปริมาณแรงบิด γ คือความเครียดแรงเฉือน G คือโมดูลัสของแรงเฉือน (Shear Modulus) d คือเส้นผ่านศูนย์กลางเพลา E คือมอดุลัสของยัง (Young's modulus) และ ν คือ Poisson's Ratio กำหนดให้มีความเครียด 0.001 m/m ที่พิกัดแรงบิด 50 N m สำหรับส่วนสัญญาณวัดแรงบิด และพิกัดแรงบิด 100 N m สำหรับส่วนสัญญาณตรวจสอบจากลักษณะสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ออกแบบและพิกัดความเครียดตลอดจนพิกัดแรงบิด สามารถคำนวนหาขนาดของส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นได้จากสูตรดังกล่าวข้างต้น โดยส่วนรับรู้ปริมาณแรงบิดของส่วนสัญญาณวัดแรงบิดมีเส้นผ่านศูน์กลาง 11.64 mm และส่วนสัญญาณตรวจสอบมีเส้นผ่านศูน์กลาง 14.66 mm ถูกออกแบบให้แกนวัดแรงบิดมีขนาด 30 mm ที่แรงบิด 100 N m ตามพิกัดของ Check Standard ที่ได้ออกแบบไว้ สอดคล้องตามมาตรฐาน DIN 51309: Material testing machines – Calibration of torque measuring devices for static [5] แบบชิ้นงานและชิ้นงานที่จัดทำขึ้นแสดงดังรูปที่ 1



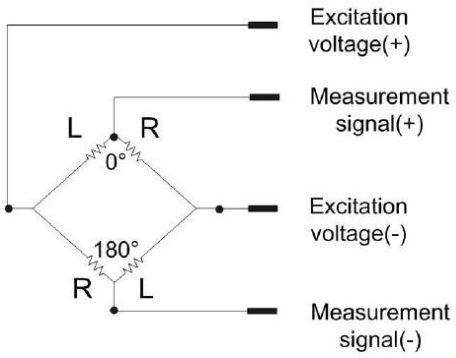
รูปที่ 1 (ก) แสดงแบบเครื่องวัดแรงบิด 50 N m พร้อมสัญญาณตรวจสอบร่วม



รูปที่ 1 (ข) แสดงชิ้นงานวิจัยที่จัดทำขึ้นตามแบบ

2.2 ส่วนวงจรวัดความเครียด

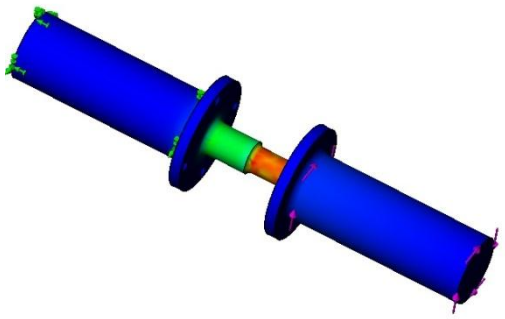
ผู้วิจัยใช้วงจร Strain gauge แบบ Full Bridge ในการแปลงปริมาณความเครียดที่เป็นตัวแทนของปริมาณแรงบิดเป็นปริมาณไฟฟ้า เนื่องจากวงจร Strain gage แบบ Full Bridge ให้อัตราขยายสัญญาณทางไฟฟ้า (Transfer Function) ได้สูงสุด 2 mV/V ที่ค่าความเครียด 0.001 m/m และ Gage Factor ที่ 2 และเลือกใช้ Strain gauge แบบ biaxial รุ่น FCT-2-350-C2-11 ยี่ห้อ TML มีระยะ gage length ที่ 2 mm. เนื่องจากมีขนาด gage length ที่เล็กเพียง 2 mm เหมาะสมกับส่วนรับรู้สัญญาณแรงบิดที่มีขนาดเล็กไม่สามารถติด strain gage ที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ได้ รุ่น FCT-2-350-C2-11 มี Gage Factor ที่ 2.07 ± 1% ความต้านทาน 350 โอห์ม ติดตั้งที่ตำแหน่ง 0° และ 180° วงจรนี้ไม่มีการชดเชยอันเนื่องมาจากอุณหภูมิและการปรับค่าเริ่มต้น (Zero balance) วงจร Strain gage ที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจร strain gage แบบ Full Bridge ที่ใช้ในเครื่องมือวัดแรงบิด 50 N m พร้อมสัญญาณตรวจสอบร่วม

2.3ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การออกแบบถูกยืนยันด้วยการวิเคราะห์ตามระเบียบ FEA แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าการจำลองภาระแรงบิด 50N m มีความเครียดที่ผิวตรงตำแหน่งสำหรับสัญญาณวัดแรงบิดที่ 0.001219 m/m และตรงตำแหน่งสำหรับสัญญาณตรวจสอบที่ 0.000583 m/m ซึ่งมีค่าแตกต่างจากที่ออกแบบไว้ อยู่ 22% และ 17% สำหรับส่วนวัดแรงบิดและส่วนตรวจสอบตามลำดับ



รูปที่ 3 การวิเคราะห์ชิ้นงานโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์

อย่างไรก็ตามจากการปฏิบัติการหาค่าความเครียดโดยการจ่ายภาระที่ 50 N m ตามพิกัดที่ออกแบบไว้ด้วยเครื่องวัดแรงบิดมาตรฐานขั้นปฐมภูมิ (Torque Standard Machine) รุ่น TSM 1000 Nm พบว่าเครื่องวัดแรงบิดที่จัดทำขึ้นมีค่าความเครียดที่ผิวตรงตำแหน่งสำหรับสัญญาณวัดแรงบิดที่ 0.001047 m/m และตรงตำแหน่งสำหรับสัญญาณตรวจสอบที่ 0.000514 m/m ซึ่งมีค่าแตกต่างจากที่ออกแบบไว้ อยู่เพียง 5% และ 3% สำหรับส่วนวัดแรงบิดและส่วนตรวจสอบตามลำดับสอดคล้องกับที่ได้ออกแบบไว้เบื้องต้น

3. แผนการทดลอง

เพื่อยืนยันคุณภาพของ Torque Transducer ที่ได้จัดสร้างขึ้น ได้ทำการสอบเทียบและจำแนกระดับชั้นความถูกต้องตามมาตรฐาน DIN 51309 หลังจากนั้นทำการทดลองหาความเสถียรที่ 50 N m ทั้งสองสัญญาณเพื่อเป็นค่าอ้างอิงที่สภาวะการใช้งานปกติของ Transducer ที่จัดทำขึ้น

ในการทดลองนี้จะทำการจำลองการใช้งานที่ผิดปกติซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในการใช้งานจริง โดยการจ่ายภาระเกินพิกัด (Overload) เป็นตัวแทนการใช้งานที่ผิดปกติ การทดลองเริ่มจาก Overload ที่ 130%, 150%, 200% และ 300% ตามลำดับ ก่อนและหลังการ Overload ทำการตรวจสอบความเสถียรของ Transducer ทั้งสองสัญญาณ เพื่อประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการ Overload ในขณะที่อัตราส่วนของทั้งสองสัญญาณใช้หาความสัมพันธ์เพื่อพยากรณ์ความเสียหายของ Transducer ต่อไป

4.ผลการทดลองและการอภิปราย

4.1 การสอบเทียบและจำแนกระดับชั้น

Torque transducer ที่ได้จัดทำขึ้นแสดงดังรูปที่ 4 ได้ทำการสอบเทียบด้วยเครื่องวัดแรงบิดมาตรฐานขั้นปฐมภูมิ ที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติตามมาตรฐาน DIN 51309 ดังรูปที่ 5

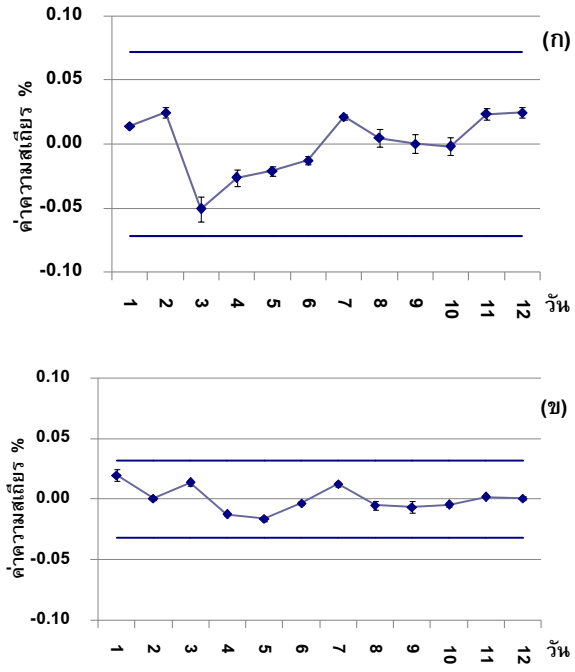
รูปที่ 4 เครื่องวัดแรงบิดขนาด 50 N m ที่ได้จัดทำขึ้น

รูปที่ 5 การสอบเทียบ Torque transducer ด้วย Torque Standard Machine

ผลการสอบเทียบพบว่า Torque Transducer มีความไม่แน่นอนของการวัดที่ช่วงใช้งาน 10 N m ถึง 50 N m อยู่ที่ 0.02% ถึง 0.08% สำหรับช่องสัญญาณ Torque Measurement และ 0.04% ถึง 0.10% สำหรับช่องสัญญาณ Check และถูกจำแนกความถูกต้องอยู่ในระดับชั้น class 0.2 ทั้งสองสัญญาณ จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นผู้ใช้งานสามารถคาดหวังความถูกต้องของ Transducer อยู่ที่ 0.10% และการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่านี้ควรยอมรับได้เสมือนพฤติกรรมการทำงานปกติของเครื่องมือวัด

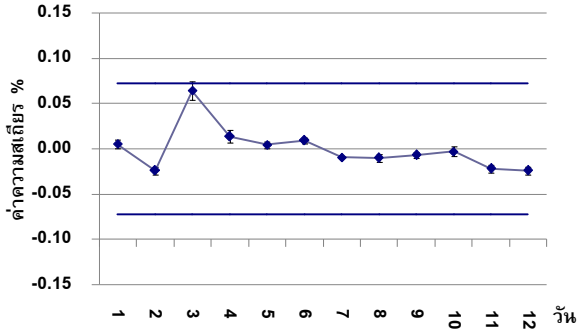
4.2 ความเสถียรของเครื่องมือวัดแรงบิด

เครื่องมือวัดแรงบิดที่จัดทำขึ้นได้ทำการวัดหาความเสถียรที่ 50 N m ทุกวันเป็นเวลา 12 วัน การหาความเสถียรดังกล่าวเป็นการเก็บข้อมูลในรูปแบบการทำ Intermediate Check ทั่วไป ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 6 เกณฑ์ของความเสถียรประเมินให้อยู่ในปริมาณสามเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในกลุ่ม



รูปที่ 6 ผลการทดลองหาค่าความเสถียรของเครื่องมือวัดแรงบิด (ก) สัญญาณตรวจสอบ (ข) สัญญาณวัดแรงบิด

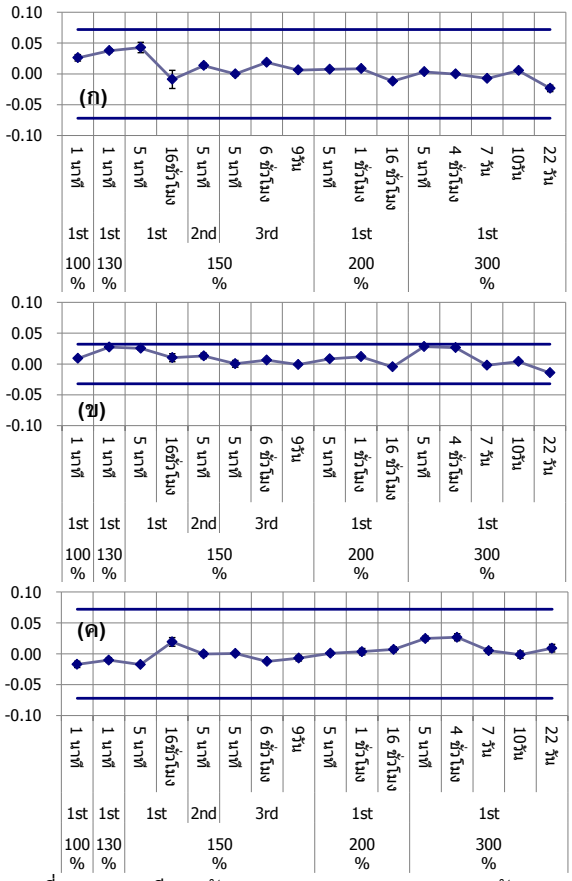
จากการทดลองพบว่าเครื่องวัดแรงบิดที่จัดทำขึ้นมีความเสถียรในสภาวะปกติอยู่ที่ +/- 0.032% สำหรับสัญญาณวัดแรงบิด และ +/- 0.072% สำหรับสัญญาณตรวจสอบ ดังนั้นการกระจายของผลการวัดในช่วงดังกล่าวถือว่าเป็นผลการวัดที่ปกติ เมื่อนำผลการทดลองดังกล่าวมาคำนวณหาอัตราส่วนของสัญญาณตรวจสอบต่อสัญญาณวัดแรงบิด พบว่าอัตราส่วนของสัญญาณมีความเสถียรอยู่ที่ +/- 0.072% ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยสมมุติให้การเฝ้าระวังอัตราส่วนของสัญญาณที่เกินกว่า +/- 0.072% นี้ถือว่าเป็นการบ่งชี้ถึงความผิดปกติของเครื่องมือวัดแรงบิดดังกล่าวตามแนวทางการตรวจสอบระหว่างการใช้งาน



รูปที่ 7 ความเสถียรของอัตราส่วนของสัญญาณตรวจสอบต่อสัญญาณวัดแรงบิด เมื่อใช้งานสภาวะปกติ

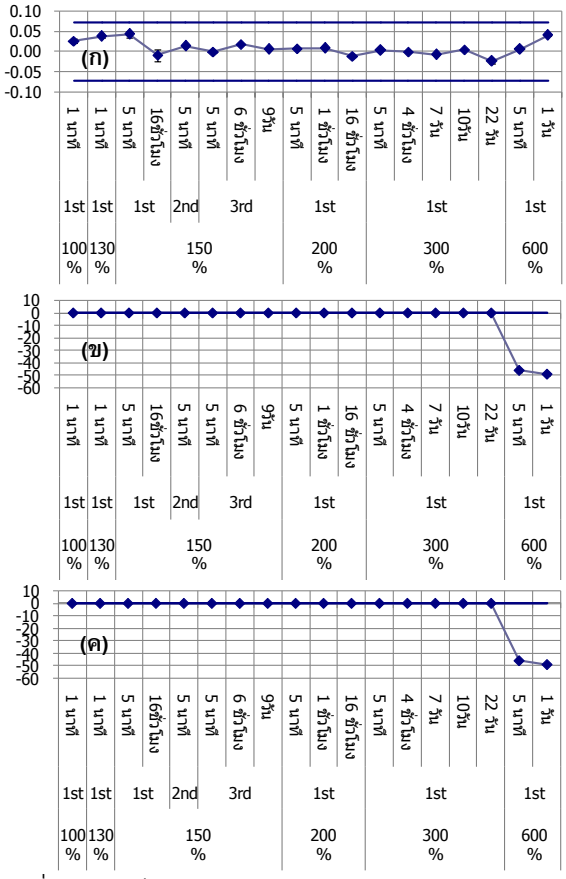
4.3 การทดลองจ่ายภาระเกินพิกัด (Overload Test)

หลังจากตรวจสอบหาความเสถียรของเครื่องวัดแรงบิดทั้งสองสัญญาณแล้ว ได้ทำการจ่ายภาระเกินพิกัดที่ 130% 150% 200% และ 300% (65 N m, 75 N m, 100 N m และ 150 N m) หลังจาก overload แล้วได้ทำการวัดแรงบิดที่ค่าพิกัด 50 N m ตามช่วงเวลา ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 8 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดแรงบิดยังคงให้ความถูกต้องภายใต้ความเสถียรที่ได้หาไว้ก่อนหน้านี้ที่ +/- 0.032% สำหรับสัญญาณวัดแรงบิด (รูปที่ 8 ข) และ+/- 0.072% สำหรับสัญญาณตรวจสอบ (รูปที่ 8 ก) แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดแรงบิดที่จัดทำขึ้นสามารถทนต่อภาระเกินพิกัดได้ถึง 300% อย่างไรก็ตามผลกระทบในระยะยาวควรได้รับการศึกษาต่อไป เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของสัญญาณตรวจสอบต่อสัญญาณวัดแรงบิด พบว่าอัตราส่วนของสัญญาณยังคงมีความเสถียรอยู่ที่ +/- 0.072% (รูปที่ 7 ค) สอดคล้องกับความเสถียรของสัญญาณวัดแรงบิด



รูปที่ 7 ความเสถียรหลังผ่านการ Overload 300% (ก) สัญญาณตรวจสอบ (ข) สัญญาณวัดแรงบิด และ (ค) อัตราส่วนของสัญญาณ

เพื่อให้สามารถจำลองการใช้งานที่ผิดปกติซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในการใช้งานจริง จึงเพิ่มการ Overload เป็น 600% (300 N m) หลังจาก Overload แล้วทำการทดลองวัดแรงบิดหาความเสถียรอีกครั้ง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 8 พบว่าสัญญาณตรวจสอบยังคงให้ความเสถียรที่ดีอยู่ในเกณฑ์ใช้งานปกติที่ +/- 0.072% (รูปที่ 9 ก) แม้จะผ่านการรับภาระเกินพิกัด 600% ก็ตามในขณะที่สัญญาณวัดแรงบิดให้สัญญาณเบี่ยงเบนไปถึง50% (รูปที่ 9 ข) แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดแรงบิดที่จัดทำขึ้นได้รับความเสียหายอย่างมากหลังจากการรับภาระเกินพิกัดที่ 600% สอดคล้องกับอัตราส่วนของสัญญาณตรวจสอบต่อสัญญาณวัดแรงบิดที่เบี่ยงเบนไปถึง 50% (รูปที่ 9 ค) เช่นกัน แสดงให้เห็นว่าประเมินความเสถียรของเครื่องมือวัดแรงบิดที่จัดทำขึ้น โดยการการเฝ้าระวังอัตราส่วนของสัญญาณตรวจสอบต่อสัญญาณวัดแรงบิดสามารถประเมินความเสถียรของเครื่องมือวัดแรงบิดได้สอดคล้องกับการทำ Intermediate Check ทั่วไป



รูปที่ 8ความเสถียรหลังผ่านการ Overload 600% (ก) สัญญาณตรวจสอบ (ข) สัญญาณวัดแรงบิด และ (ค) อัตราส่วนของสัญญาณ

5. สรุป

การตรวจสอบระหว่างการใช้งาน (Intermediate Check) ด้วยเครื่องมือวัดแรงบิดที่สร้างขึ้นและวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ให้ผลการตรวจสอบสอดคล้องกับการตรวจสอบด้วยเครื่องมือ Check Standard ทั่วไป สามารถบอกถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเครื่องมือวัดใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนสามารถดำเนินการได้ทุกครั้งที่ทำกิจกรรมการวัดแต่ใช้เวลาน้อย

อย่างไรก็ตามเกณฑ์ยอมรับการตรวจสอบด้วยเครื่องมือและวิธีการนี้มีปริมาณที่ยังคงกว้างอยู่เมื่อเทียบกับการใช้ Check Standard ที่มีความถูกต้องเท่ากับหรือดีกว่าเครื่องมือวัดใช้งาน เนื่องจากได้รับผลกระทบจากความถูกต้องและความเสถียรการของสัญญาณตรวจสอบที่จัดทำขึ้นยังคงแย่กว่าสัญญาณการวัด การศึกษาเพื่อเพิ่มความเสถียรของสัญญาณตรวจสอบควรได้รับการดำเนินการต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] ISO/IEC 17025:2005, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, 2548

[2] T. Sanponpute, and C. WattongA Design and Construction of Torque Transfer Wrench, Conferences of the Mechanical Engineering Network of Thailand 19-21 October 2011, Krabi Thailand

[3] T. Sanponpute, C. Wattong and N. Arksonnarong, A Design on Hermetically Sealed Torque Transfer Wrench, APMF 2011, September 19-22 2011, Xi'an, China

[4] OMEGA ENGINEERING, THE PRESSURE STRAIN AND FORCE HANDBOOK VOL.29 (STRAIN GAGES E-5,E-6) COPYRIGHT 1995

[5] DIN 51309, Issue: 2005-12, Material testing machines –Calibration of torque measuring devices for static torques, 2548

ผลกระทบของ Ni, Ag และ In ต่อปฏิกิริยารอยต่อระหว่างโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-Bi กับแผ่นทองแดง

Effect of Ni, Ag, and In on interfacial reaction between Sn-Bi-Ni-X solder and Cu substrate

ปรัชญ์ เจียรสถาวงศ์* กัลยา ผ่าโผน กำธร สุขพิมาย กรรณชัย กัลยาศิริ
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
บริษัท อุลตราคอร์ จำกัด 1417 หมู่ 4 ซ.ศรีบุญเรือง 1 ถ.เทพารักษ์ ต.เทพารักษ์ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10270
E-mail: prach.jhean@gmail.com*

Prach Jheansathawong*, Kanlaya Phaphon , Kamtorn Sukpimai, Kannachai Kanlayasiri
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, 10520
ULTRACORE CO., LTD. 1417 Moo 4, Soi Sriboonruang1, Teparak Rd., TambolTeparak, AmphurMuang, Samutprakarn, 10270
E-mail: prach.jhean@gmail.com*

บทคัดย่อ

จากข้อบังคับที่ห้ามใช้ตะกั่วในผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ทำให้อุตสาหกรรมด้านอิเล็กทรอนิกส์หันมาพัฒนาการใช้โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วแทนตะกั่วบัดกรีแบบเดิม ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi เนื่องจากข้อดีหลายประการโดยเฉพาะจุดหลอมเหลวที่ต่ำ โดยจะศึกษาผลกระทบของนิเกิล, เงิน, และอินเดียมต่อปฏิกิริยารอยต่อระหว่างโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-Bi-Ni-X (X คือ Ag หรือ In) กับแผ่นทองแดงและแผ่นทองแดงชุบตะกั่ว ซึ่งปริมาณธาตุนิเกิลที่เติมคือ 0, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1.0 wt.% ตามลำดับ ปริมาณธาตุเงินและอินเดียมที่เติมคือ 0.05 และ 0.1 wt.% จากนั้นบัดกรีชิ้นงานด้วยวิธี reflow process และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ โดยชิ้นงานจะถูกนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และเครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ (EDX) พบว่าชั้นสารประกอบที่เกิดขึ้นคือ Cu_6Sn_5 โดยธาตุผสมที่เติมเข้าไปไม่ส่งผลต่อการเกิดชั้นสารประกอบเชิงโลหะ ยกเว้นโลหะบัดกรี Sn58Bi-1.0Ni-0.1Ag ที่มีความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะมากขึ้น

คำหลัก โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว, สารประกอบเชิงโลหะ, ปฏิกิริยารอยต่อ

Abstract

Recently, many counties have issued environmental regulations to control the use of certain toxic substances such as lead in electronic products. Therefore, the electronics industry must adapt to use lead-free solders instead of the traditional SnPb solders. In this research Sn-58Bi lead-free solder was investigated because of many advantages especially its melting point. Effect of Ni, Ag, and In on interfacial reaction between Sn-Bi-Ni-X solder (X = Ag or In) and Cu substrate was examined. Whereas 0, 0.05, 0.1, 0.5 and 1.0 wt.% Ni and 0.05 and 0.1 wt.% Ag or In were added. The lead-free solders were

soldered with Cu substrate by reflow process and cooled down to room temperature. The solder/Cu interfaces were investigated by SEM and EDX. The Cu_6Sn_5 intermetallic compound was found at solder/Cu interfaces. Results showed that the alloying elements do not affect solder/Cu interface except Sn58Bi-1.0Ni-0.1Ag solder.

Keywords: lead-free solder, intermetallic compound, interfacial reaction

1. บทนำ

จากข้อกำหนดในการควบคุมปริมาณการใช้สารพิษในผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น RoHs ทำให้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ต้องเปลี่ยนมาใช้โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วแทนโลหะบัดกรีดั้งเดิมที่ผสมสารตะกั่ว โดยโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนตะกั่วบัดกรีแบบเดิม โดยสูตรที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ Sn-Ag-Cu (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง SAC305) ที่มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ อย่างไรก็ตามโลหะบัดกรีสูตร SAC305 นั้นมีช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวที่สูงถึง 217-221 ^{o}C [1] ซึ่งอาจสร้างความเสียหายต่อชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และแผ่นวงจรขณะบัดกรี ดังนั้นการใช้งานโลหะบัดกรีที่มีจุดหลอมเหลวต่ำจะแก้ปัญหาอุณหภูมิการบัดกรีที่สูงได้ โดย Sn-58Bi เป็นโลหะบัดกรีจุดหลอมเหลวเพียง 139 ^{o}C แต่ข้อเสียของโลหะบัดกรี Sn-58Bi คือสภาพการเปียกที่ค่อนข้างต่ำ [2] ดังนั้นการผสมธาตุโลหะอื่นๆ เช่น Ni, Ag, และ In เข้าไปในโลหะบัดกรีจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติได้หลายประการ โดยธาตุผสมเหล่านี้จะช่วยปรับปรุงโครงสร้างจุลภาค, ลดจุดหลอมเหลว, และยับยั้งการเกิดชั้นสารประกอบเชิงโลหะ

โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาผลกระทบของ Ni, Ag, และ In ต่อปฏิกิริยารอยต่อระหว่างโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-Bi-Ni-X (X คือ Ag หรือ In) กับแผ่นทองแดง โดยจะใช้ Sn-58Bi เป็นส่วนผสมพื้นฐาน

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ทำการหล่อโลหะบัดกรีเป็นทรงกระบอกและปล่อยให้โลหะบัดกรีเย็นตัวในอากาศ โดยการทดลองนี้ใช้โลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-58Bi เป็นโลหะบัดกรีพื้นและผสม Ni ปริมาณ 0.05, 0.1, 0.5, และ 1% โดยน้ำหนัก ส่วน Ag และ In จะถูกผสมด้วยปริมาณเพียง 0.05 หรือ 0.1% โดยน้ำหนักเนื่องมาจากธาตุทั้งสองชนิดมีราคาสูง แผ่นทองแดงบริสุทธิ์ที่ใช้มีขนาด 30x30x0.35 mm^3 ทำความสะอาดด้วย IPA ตามมาตรฐาน JIS Z 3284

2.2 วิธีการทดสอบ

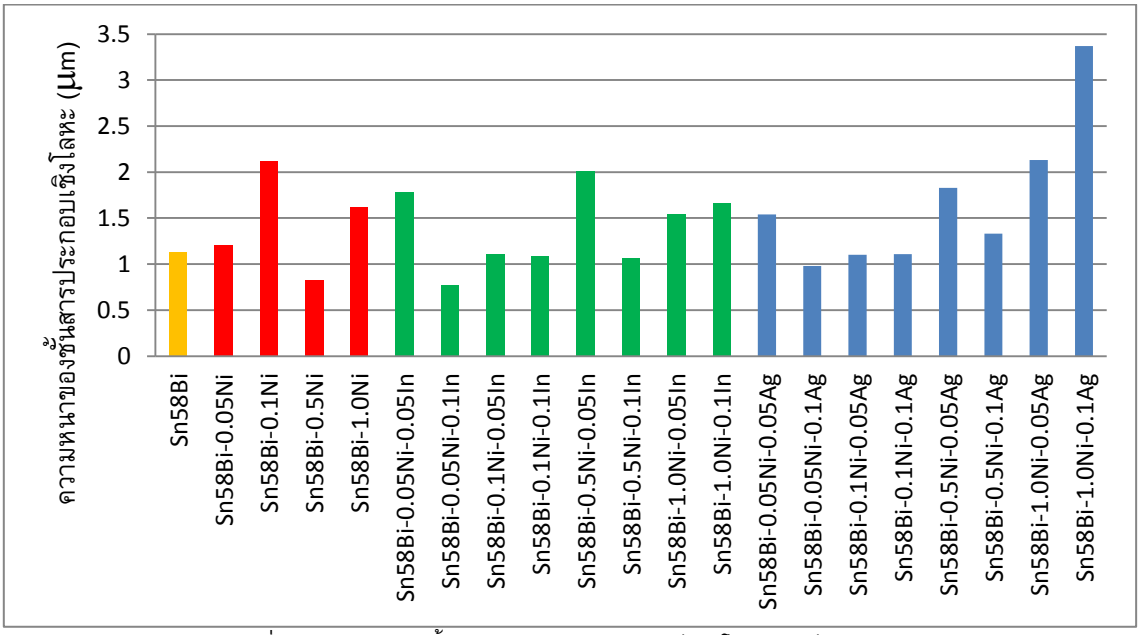
นำโลหะบัดกรีวางบนแผ่นทองแดงที่เตรียมไว้ จากนั้นหยดฟลักซ์ชนิด NH-100VK-1 ปริมาณ 0.02 ml บัดกรีด้วยวิธี reflow ที่อุณหภูมิ 179 ^{o}C เป็นเวลา 30 วินาที นับจากโลหะบัดกรีเริ่มหลอมละลาย จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในอากาศและล้างฟลักซ์ออกด้วยเอทานอล ในส่วนของความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะนั้นหาได้จากการใช้ซอฟท์แวร์ Image-pro Express

ในการศึกษารอยเชื่อมของโลหะบัดกรี ชิ้นงานที่ผ่านการบัดกรีแล้วจะถูกนำมาตัดขวางด้วยเครื่องตัดแรงโน้มถ่วงยี่ห้อ Struers รุ่น Minitom และหล่อด้วย epoxy จากนั้นทำการขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400, 1000, 2000, และ 4000 จากนั้นขัดบนผ้าสักหลาดด้วยผงอะลูมินาขนาด 1 μm โดยใช้เครื่องขัดยี่ห้อ Struers LaboPol-1 จากนั้นนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope หรือ SEM) ยี่ห้อ JEOL JSM-6380 LV เพื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของชิ้นงาน หลังจากนั้นทำการตรวจสอบปริมาณธาตุที่พบบนพื้นผิวชิ้นงานด้วยวิธี Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) ซึ่งผลที่ได้จะแสดงธาตุที่พบในบริเวณที่สนใจ

3. ผลการวิจัย

3.1 ความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ

รูปที่ 1 แสดงกราฟความหนาชั้นสารประกอบหลังการบัดกรีของโลหะบัดกรีแต่ละชนิด พบว่าการเติม Ni, In และ Ag ไม่ส่งผลต่อความหนาของชั้นสารประกอบยกเว้นโลหะบัดกรี Sn58Bi-1.0Ni-0.1Ag โดยงานวิจัยของ Mokhtari และ Nishikawa [3] ได้ศึกษาผลกระทบของ Ni และ In ต่อโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมโลหะบัดกรี Sn58Bi พบว่าความหนาของชั้นสารประกอบหลังการ



รูปที่ 1 ความหนาของชั้นสารประกอบหลังการบัดกรีของโลหะบัดกรีแต่ละชนิด

บัดกรีนั้นมีค่าไม่ต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้ โดยอิทธิพลของธาตุผสมต่อความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะจะเห็นผลได้ชัดเมื่อผ่านการบ่มความร้อนเป็นระยะเวลานาน [3]

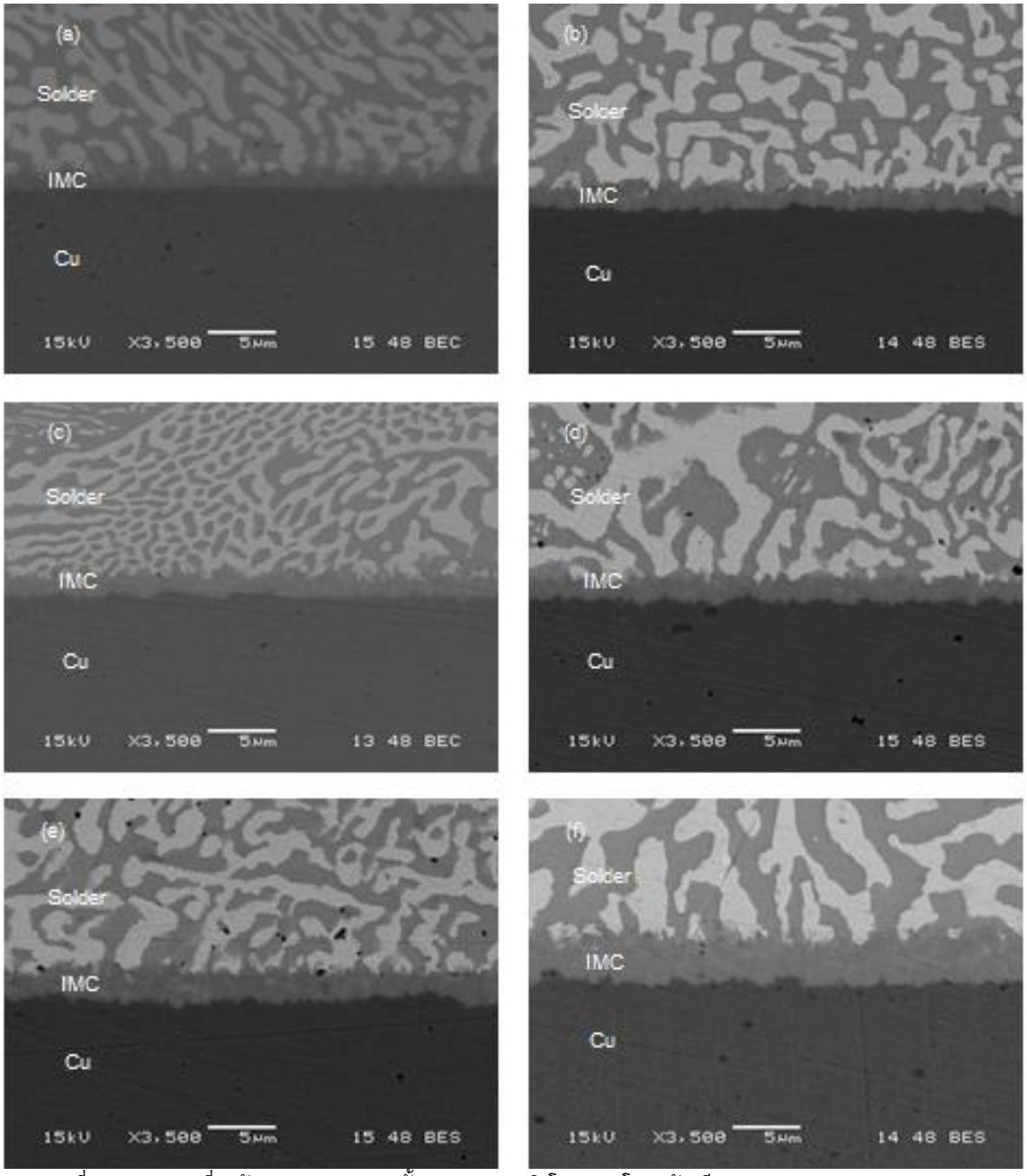
รูปที่ 2 (a-f) แสดงชั้นสารประกอบเชิงโลหะของโลหะบัดกรี Sn-58Bi, Sn-58Bi-1.0Ni, Sn-58Bi-1.0Ni-0.05In, Sn-58Bi-1.0Ni-0.1In, Sn-58Bi-1.0Ni-0.05Ag และ Sn-58Bi-1.0Ni-0.1Ag ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน (ยกเว้น Sn-58Bi-1.0Ni-0.1Ag)

3.2 โครงสร้างจุลภาคของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ

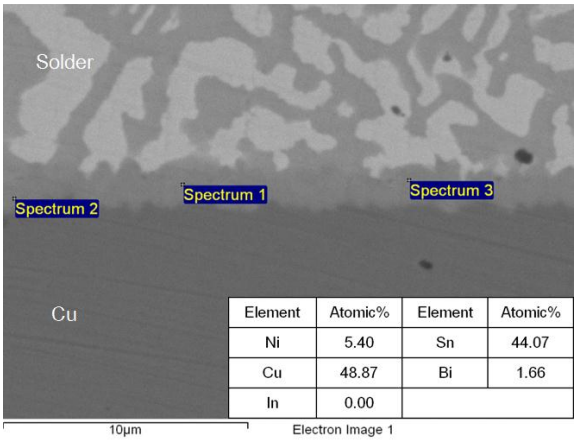
จากการตรวจสอบด้วย SEM และ EDX ที่รอยเชื่อมของโลหะบัดกรีโดยใช้กำลังขยาย 5000 เท่า โดยรูปที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในโลหะบัดกรี Sn-58Bi-1.0Ni-0.1In และรูปที่ 4 แสดงสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ EDX ของโลหะบัดกรี Sn-58Bi-1.0Ni-0.1In พบชั้นสารประกอบเชิงโลหะเป็นเฟส Cu_6Sn_5 (รวมถึง $(Cu,Ni)_6Sn_5$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yoon และ Lee [4] และผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในโลหะบัดกรี Sn-58Bi-0.5Ni-0.1Ag ดังรูปที่ 5 โดยสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ EDX แสดงดังรูปที่ 6 พบเฟสของสารประกอบเชิงโลหะ Cu_6Sn_5 (รวมถึง $(Cu,Ni)_6Sn_5$) อย่างไรก็ตามไม่พบ In และ Ag ในชั้นสารประกอบเชิงโลหะของโลหะบัดกรีทุกชนิด เนื่องจากปริมาณ In และ Ag ในโลหะบัดกรีมีปริมาณเพียง 0.1% และระยะเวลาในการบัดกรีที่สั้นเพียง 30 วินาที ทำให้การแทนที่ของอะตอมในชั้นสารประกอบเกิดขึ้นอย่างไม่ทั่วถึง โดยงานวิจัยของ Sharif และ Chan [5] พบปริมาณ In ในชั้นสารประกอบเพียง 2.8% จากปริมาณ 9%In ในโลหะบัดกรี Sn–9%In–3.5%Ag–0.5%Cu หลังการบัดกรี 5 นาที

4. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของ Ni, Ag และ In ต่อปฏิกิริยารอยต่อระหว่างโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-Bi กับแผ่นทองแดง จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าการเติม Ni, In และ Ag ไม่ส่งผลต่อความหนาของชั้นสารประกอบหลังการบัดกรี (ยกเว้น Sn-58Bi-1.0Ni-0.1Ag) และผลจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชั้นสารประกอบเชิงโลหะพบว่าเฟสที่เกิดขึ้นคือสารประกอบเชิงโลหะ Cu_6Sn_5 (รวมถึง $(Cu,Ni)_6Sn_5$) และไม่พบธาตุ In และ Ag ในชั้นสารประกอบเชิงโลหะเนื่องจากระยะเวลาการบัดกรีที่สั้นและปริมาณธาตุที่ผสมลงไปมีปริมาณน้อยมาก

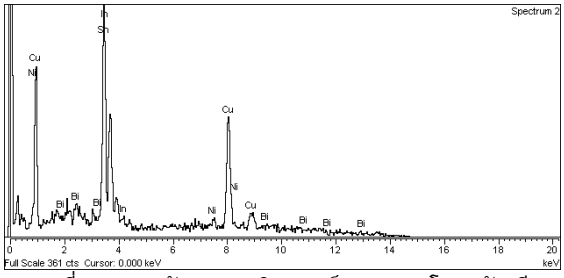


รูปที่ 2 ภาพ SEM ที่กำลังขยาย 3500x ของชั้นสารประกอบเชิงโลหะของโลหะบัดกรี (a) Sn-58Bi, (b) Sn-58Bi-1.0Ni, (c) Sn-58Bi-1.0Ni-0.05In, (d) Sn-58Bi-1.0Ni-0.1In, (e) Sn-58Bi-1.0Ni-0.05Ag, (f) Sn-58Bi-1.0Ni-0.1Ag

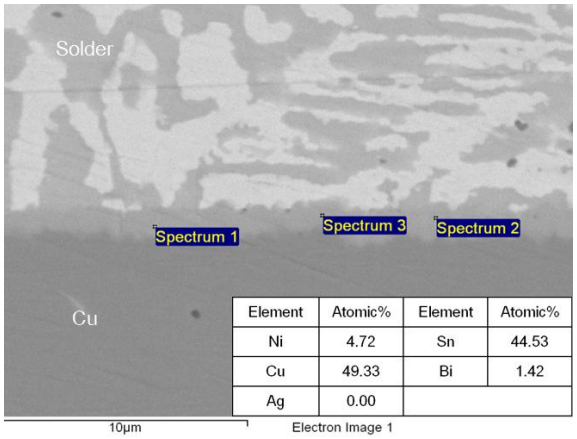


Element	Atomic%	Element	Atomic%
Ni	5.40	Sn	44.07
Cu	48.87	Bi	1.66
In	0.00		

รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในโลหะบัดกรี Sn-58Bi-1.0Ni-0.1In (Spectrum 2)

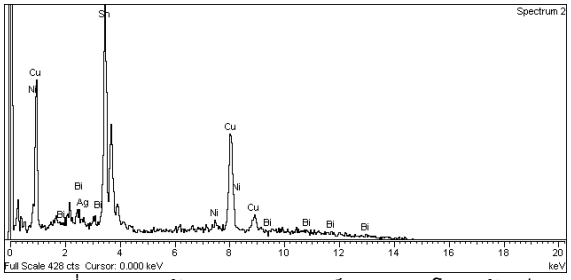


รูปที่ 4 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ EDX ของโลหะบัดกรี Sn-58Bi-1.0Ni-0.1In



Element	Atomic%	Element	Atomic%
Ni	4.72	Sn	44.53
Cu	49.33	Bi	1.42
Ag	0.00		

รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในโลหะบัดกรี Sn-58Bi-0.5Ni-0.1Ag (Spectrum 2)



รูปที่ 6 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ EDX ของโลหะบัดกรี Sn-58Bi-0.5Ni-0.1Ag

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท อุลตราคอร์ จำกัด สำหรับคำแนะนำและสนับสนุนอุปกรณ์ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Abtew, M., Selvaduray, G. Lead-free solders in microelectronics. Materials Science and Engineering R. 2000; 27: 95-141.

[2] Chew, K.H., Pang, J.H.L. Impact of drop-in lead free solders on microelectronics packaging. Electronics Packaging Technology Conference. 2005; 451-454.

[3] Mokhtari, O., Nishikawa, H. Effects of In and Ni Addition on Microstructure of Sn-58Bi Solder Joint. Journal of Electronic Materials. 2014; 43: 4158-4170.

[4] Yoon, J.W., Lee, Y.H., Intermetallic compound layer growth at the interface between Sn–Cu–Ni solder and Cu substrate. Journal of Alloys and Compounds. 2004; 381: 151-157.

[5] Sharif, A., Chan, Y.C., Effect of indium addition in Sn-rich solder on the dissolution of Cu metallization. Journal of Alloys and Compounds. 2005; 390: 67-73.

ผลกระทบความซับซ้อนของค่าบ่งชี้รูปร่างหัวฉีดเส้นใยและสีอินทรีย์ต่อสมบัติการสะท้อนแสงของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิด

Influence of complex spinneret's shape and organic dye pigments on reflection properties of polylactic acid fibers

นรรจพร เรืองไพศาล[1*] นที ศรีสวัสดิ์[1] อิทธิพร สุวรรณเมฆ[2] จุรีรัตน์ ประสาร[2]
[1]ห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์และเส้นใย สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอและเส้นใย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี E-mail: *nanjaporn_r@rmutt.ac.th*
[2]ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
Nanjaporn Roungpaisan*, Natee Srisawat and Chureerat Phrasarn
[1]*Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi*
[2]*National Metal and Materials Technology Center, 114 Paholyothin Rd., Klong Luang, Pathumthani 12120,*

บทคัดย่อ

พอลิแลคติกแอซิดจัดเป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ชีวภาพซึ่งเป็นที่สนใจที่จะนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆทางด้านสิ่งทอมากมายโดยเฉพาะอย่างยิ่ง วัสดุทางการแพทย์(Biomedical textiles) ซึ่งกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยสังเคราะห์อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ หัวฉีดที่ใช้ในการขึ้นรูปจะมีหน้าตัดแบบวงกลม (circular) ทั้งนี้เพื่อเพิ่มสมบัติบางประการให้กับเส้นใยที่ผลิตจึงได้มีการออกแบบรูปร่างหัวฉีดให้มีความหลากหลากมากขึ้น เช่น พื้นที่ผิว ความมันเงา อย่างไรก็ตามมักพบปัญหาของการขึ้นรูปเส้นใยแบบมีรูปร่างที่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ในการศึกษานี้ พอลิแลคติกแอซิดมาขึ้นรูปด้วยหัวฉีดเส้นใยมีรูปร่างต่างกันคือ แบบวงกลม (Circular) ดาว(star) และแบบสี่แฉก (4-lobed) ด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว โดยหัวฉีดมีค่าบ่งชี้รูปร่าง (shape factor) ที่บ่งบอกถึงความซับซ้อนของหัวฉีดที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาคือผลอุณหภูมิในการขึ้นรูป อัตราการป้อนเนื้อพอลิเมอร์ ความเร็วในการม้วนเก็บเส้นใยที่แตกต่างกัน และผลของการเติมสีอินทรีย์ จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากที่สุด ค่าการสะท้อนแสงลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหัวฉีดเส้นใยทั้งสามหน้าตัด หน้าตัดแบบสี่แฉกที่มีค่าบ่งชี้รูปร่างสูงหรือมีความซับซ้อนมากจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างเส้นใยมากที่สุด

คำหลัก ความซับซ้อนของหัวฉีด เส้นใยพอลิแลคติกแอซิด, การปั่นแบบหลอมเหลวขึ้นรูปเส้นใย

abstract

Polylactic acid is a type of biodegradable polymer which were interested in textile applications development especially biomedical. Mainly textile industries were manufactured normally circular in their shape. Various cross sectional spinneret were produced for adding some properties to the obtained fibers such as surface are and luster. However, PLA fibers from this technique difficult to make cross-section fibers with the same hole orifice. In this study, PLA fibers were prepared by melt spinning process with three spinneret hole profiles (circular, and 4-lobed shapes) which have been different shape factor 3 levels. The spinning parameters included spinning temperatures, throughput rates, winding speeds and organic dye pigments were studied. From results, Spinning temperature was a major factor in determining shape profile of the obtained fibers. Reflection value was decreased with increasing temperature. Especially, 4-Lobed PLA fiber was the highest changing in shape factor value of three shape.

Keywords: Poly(lactic acid) fibers, Fiber melt spinning, complex orifice spinneret

1. บทนำ

ด้วยเทคนิคการปั่นแบบหลอมเหลวสำหรับการผลิตเส้นใยสังเคราะห์นั้น นับเป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ง่าย รวดเร็ว ให้กำลังการผลิตมาก วัตถุดิบที่นำมาใช้ส่วนใหญ่เป็นประเภทพลาสติกเทอร์โมพลาสติก(Thermoplastics) โดยทั่วไปนั้นหน้าตัดเส้นใยที่ถูกผลิตมากที่สุดคือ หน้าตัดแบบวงกลม ซึ่งด้วยเทคนิคดังกล่าวนี้ ยังสามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างของหัวฉีดเส้นใยให้มีรูปร่างต่างๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการให้ต่างไปจากเส้นใยที่มีหน้าตัดแบบวงกลมได้ เช่น การสะท้อนแสง การเพิ่มพื้นที่ผิว ทั้งนี้เพื่อที่จะเลียนแบบสมบัติของเส้นใยธรรมชาติที่สารมารถสร้างรูปร่างหน้าตัดจากการสร้างโปรตีน หรือการสร้าง เซลลูโลสในเส้นใย แกะ หรือเส้นใยฝ้าย เป็นต้น

พอลิแลคติกแอซิด หรือ polylactic acid (PLA) จัดเป็นเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากแลคติกแอซิดมอนอเมอร์ที่ได้รับจากแหล่งธรรมชาติ และจัดอยู่ในกลุ่ม พอลิเอสเทอร์สายโซ่ตรง ที่มีสมบัติสามารถย่อยสลายได้ [1] ในงานสิ่งทอได้มีความสนใจนำพอลิแลคติกแอซิดมาใช้งานในเชิงการค้าที่มากขึ้น ทั้งเป็นวัสดุทางการแพทย์ เช่น แผ่นปิดแผล แผ่นนำส่งยาแบบควบคุมปริมาณ (Drug release) ไหมละลาย ไม่เพียงเท่านั้นยังมีการวิจัยและปรับปรุงพอลิแลคติกแอซิดให้สามารถนำมาใช้งานในผลิตภัณฑ์ทางสิ่งทอในรูปแบบอื่นๆ อีกมากมาย ทั้งนี้ได้มีการพัฒนาออกแบบเส้นใยให้มีรูปร่างหน้าตัดที่หลายหลายเพิ่มขึ้น เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม แบบมีร่องลึก ฯลฯ ได้เป็นที่รู้จักมากขึ้นในแง่ของการปรับปรุงสมบัติของเส้นใย ที่หลากหลายมากขึ้น เช่น พื้นที่ผิว, ความนุ่ม, การ สะท้อนแสง เป็นต้น ยกตัวอย่างการใช้งาน ในเชิงพานิชย์ ของเส้นใยที่มีหน้าตัดแบบมีร่องลึก(4-deep-groove) ซึ่งมี ลักษณะร่องลึกบนเส้นใย ทำหน้าที่คล้ายกับหลอดแคปปิลารี่ กล่าวคือแสดงสมบัติการส่งผ่านความชื้นที่ดีเยี่ยม เมื่อไม่นานมานี้ยังถูกนำไปใช้ในงานแผ่นทิชชู่สำหรับ วิศวกรรมปลูกถ่ายเนื้อเยื่อที่เพิ่มประสิทธิภาพการ เจริญเติบโตของของเซลล์ได้อย่างดี [2-3] ถึงแม้จะมีการ นำเส้นใยแบบมีรูปร่างไปใช้งานที่มีสมบัติเด่นมากมาย แต่ในแง่ของการะบวนการเตรียมเพื่อขึ้นรูปเส้นใยด้วย วิธีการปั่นแบบหลอมเหลวโดยใช้หัวฉีดเส้นใยที่มีหน้าตัดที่มีความซับซ้อนต่างๆกันนั้น เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เส้นใยที่ขึ้นรูปได้มีหน้าตัดต่างไปจากหัวฉีดเส้นใย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพอลิเมอร์ที่มีลักษณะการไหลต่างๆกัน ทั้งแบบนอนนิวโตเนียนหรือ แบบนิวโตเนียน ล้วนส่งผลให้เกิดการบวมตัวและความตึงผิวที่แตกต่างกัน ทำให้หน้าตัดเปลี่ยนไปจาก หัวฉีดเดิม [4-5] โดยมีรายงานเกี่ยวกับการไหลของพอลิเมอร์ผ่านหัวฉีดเส้นใยที่มีหน้าตัด พบว่าอัตราความเครียดเฉือนของพอลิเมอร์ เหลวขณะไหลผ่านหัวฉีดในแต่ละบริเวณนั้นไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ความซับซ้อนของหัวฉีดเส้นใยซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง[6]

ด้วยเหตุนี้เองการขึ้นรูปเส้นใยแบบมีหน้าตัดจึงต้องคำนึงถึงการเลือกพอลิเมอร์ ผลของสารเติมแต่ง สภาวะการขึ้นรูป สิ่งต่างๆเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อรูปร่างของเส้นใยที่ขึ้นรูปได้ ทั้งนี้ถ้าต้องการจะทราบถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับหน้าตัดของเส้นใยที่ขึ้นรูปได้จะต้องใช้โปรแกรมเฉพาะทางเพื่อตรวจสอบการไหลซึ่งมีราคาแพงและบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะทางในการวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้จึงเลือกวิธีการคำนวณ โดยใช้สูตรอย่างง่ายเพื่อคัดกรองรูปร่างหน้าตัดเส้นใยในรูปแบบของค่าบ่งชี้รูปร่าง(Shape factor) มาทำการวิเคราะห์ โดยเลือกหัวฉีดที่มีรูปร่างหน้าตัดที่ซับซ้อนและค่าบ่งชี้รูปร่างต่างกัน 3 ระดับมาทำการเปรียบเทียบผลของความซับซ้อนของหัวฉีด คือวงกลมเท่ากับ 0.56 ดาวเท่ากับ 1.73 และ สี่แฉกเท่ากับ6.18 มาทำการปั่นหลอมขึ้นรูปเส้นใย ภายใต้สภาวะการปั่นหลอมที่แตกต่างกัน รวมถึงผลของการเติมผงสี (0.1% Blue-phatalocyanine) เพื่อที่จะวิเคราะห์ค่าความหนืด ค่าบ่งชี้รูปร่างเส้นใย และการสะท้อนแสงที่มีต่อเส้นใย พอลิแลคติกแอซิดหน้าตัดต่างๆกัน

2. ขั้นตอนการดำเนินการ

2.1 วัสดุ (Materials)

1. เม็ดชิฟพอลิแลคติกแอซิด (PLA 3052D) (MFI = 14 g/10 min, density1.24 g/cm^3)NatureWorks®LLC
2. ผงสี (Phtalocyanine)จากบริษัท สาลี่คัลเลอร์ จำกัด)

2.2 วิธีการทดลอง (Method)

เตรียมเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ผสมสารใดๆ ด้วยหัวฉีดเส้นใยแบบวงกลม (Circular) ดาว(Star) และสี่แฉก (4-Lobed) (รูปที่1)โดยใช้เครื่องปั่นหลอมเส้นใยขนาดเล็ก

(Randcastle melt spinning) เปรียบเทียบกับเส้นใยที่ผสมสีโดยทำการตั้งค่าสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปดังนี้ อุณหภูมิปั่นหลอมเพื่อขึ้นรูปเส้นใย (Spinning Temperature): 220, และ 260 องศาเซลเซียส, อัตราการป้อนเนื้อพอลิเมอร์ (Throughput rate): TP 0.34, 0.52 กรัม/รู/นาที และความเร็วในการม้วนเก็บ(Take up speed): 300, 500 เมตร/นาที แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1

รูปที่1 แสดงภาพหัวฉีดเส้นใยแบบวงกลม(Circular): (a) และ หัวฉีดแบบสี่แฉก(4-lobed): (b)ที่กำลังขยาย 40 เท่า

ตารางที่ 1 สภาวะการขึ้นรูปเส้นใยพอลิแลคติกที่มีรูปร่างหน้าตัดต่างๆกัน

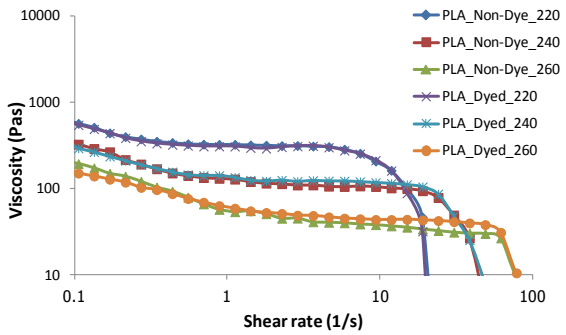
ตัวแปร	สภาวะ
วัสดุ	PLA(3052D) 0.1% blue/PLA(3052D)
รูปร่างหัวฉีด	วงกลม, ดาว และสี่แฉก
อุณหภูมิการขึ้นรูป (°C)	170/180/190/220 และ 260
อัตราการป้อนเนื้อ (กรัม/รู/นาที):TP	0.34 และ 0.52
ความเร็วการม้วนเก็บ (m/min): S	300 และ 500

2.3 <u>การวิเคราะห์ผล (Investigation)</u>

- ทดสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ผสมสารใดๆ เปรียบเทียบกับผสมสีอินทรีย์ชนิด Blue-phatalocyanine 0.1% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิต่างๆกันคือ 220, 240, 260°C (Rheometer Gemini 200HR nano)
- ทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง(Optical microscope) และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ เพื่อวัดค่าบ่งชี้รูปร่างร่างของหน้าตัดเส้นใย (Shape factor value) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รอบหน้าตัดและพื้นที่ของเส้นใยดังสมการที่ 1 (ทำซ้ำ 10 ตัวอย่าง)
- เปรียบเทียบผลของรูปร่างหน้าตัดของเส้นใยไม่ผ่านการผสมสารใดๆและผสมผงสีที่ขึ้นรูปได้ทั้ง 3 หน้าตัดต่อการสะท้อนแสง (เครื่องDatacolor650 Spectrophotometer) (ทำซ้ำ 4 บริเวณ)

3. ผลการทดลอง

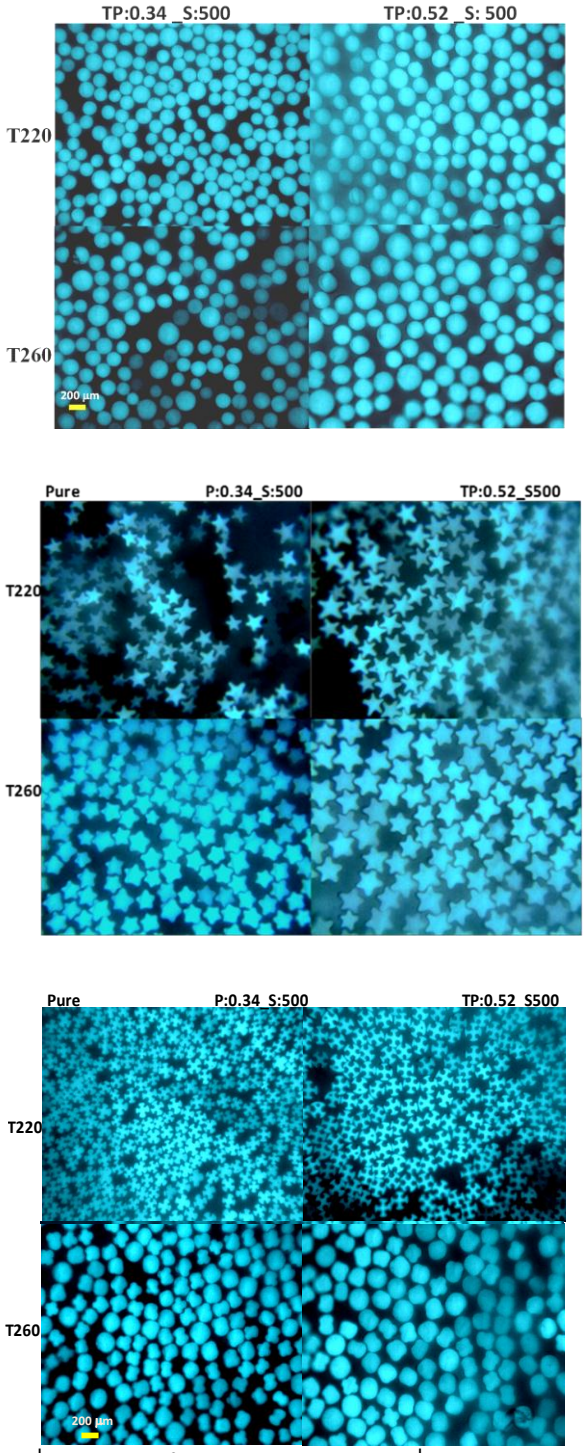
<u>ผลของค่าความหนืดที่อุณหภูมิต่างกัน (Viscosity)</u>



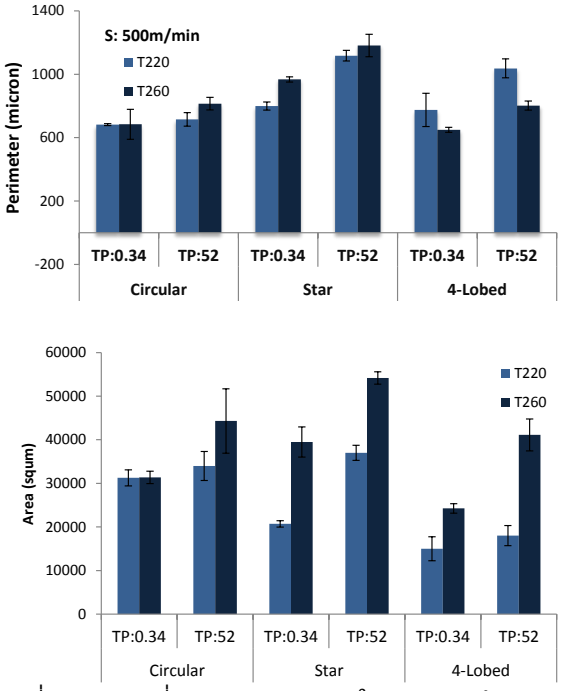
รูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของพอลิแลคติกแอซิดต่ออัตราเฉือน ที่อุณหภูมิต่างๆกัน

ความหนืดหลอมเหลวของพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ผ่านการผสมสารใดๆเปรียบเทียบกับผสมผงสีอินทรีย์ 0.1 %โดยน้ำหนัก (PLA_Dyed)ที่การเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่างกัน 220, 240, 260°C จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าความหนืดต่ออัตราการเฉือนของตัวอย่างมีแนวโน้มลด (ดังรูปที่2) โดยที่อุณหภูมิ 220°C พอลิเมอร์เหลวแสดงพฤติกรรมการไหล ที่ยังคงเป็นซูโดพลาสติก(Pseudo plastic flow) คือ ที่อัตราเฉือนเพิ่มขึ้นความหนืดมีแนวโน้มลดลง ในทางกลับจะสังเกตเห็นว่าที่อุณหภูมิ 260 °C เมื่ออัตราการเฉือนเพิ่มขึ้นมากกว่า 30 1/s ค่าความหนืดมีลักษณะคงที่จนกระทั่ง 90 1/s (ไม่ขึ้นอยู่กับ อัตราเฉือนซึ่งลักษณะการไหลแบบนี้พฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน) [5] ซึ่งลักษณะการไหลที่แตกต่างกันนี้เอง เป็นสาเหตุที่ทาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างหน้าตัดเส้นใยที่ขึ้นรูปได้ โดยในงานวิจัยนี้จึงได้สนใจเลือกอุณหภูมิการขึ้นรูปที่แตกต่างกันระหว่าง 220 และ 260 °C มาทำการขึ้นรูปเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของพฤติกรรมการไหลที่มีต่อรูปร่างหน้าตัดของหัวฉีดเส้นใยที่แตกต่างกัน 3 ระดับได้อย่างชัดเจน ซึ่งในกระบวนการขึ้นรูปพบว่าสามารถม้วนเก็บเส้นใยได้อย่างต่อเนื่องในทุกๆ สภาวะ

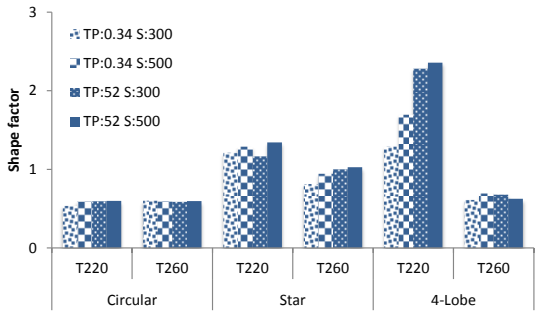
ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยที่มีหน้าตัดต่าง ๆกัน



รูปที่ 3 ภาพเส้นใยพอลิแลคติกแอซิด ที่มีหน้าตัดแบบวงกลม ดาว และสี่แฉก ที่ความเร็วม้วนเก็บ(S) **500** m/min ที่อุณหภูมิต่างกัน(T) (บน-ล่าง) และอัตราการป้อนเนื้อพอลิเมอร์(TP) 0.34 และ 0.52 g/hole/min (ซ้าย-ขวา) ที่กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่4 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นใยรอบหน้าตัด และพื้นที่ (Perimeter and Area) ของพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ผ่านการผสมสารใด ๆหน้าตัดเส้นใยต่าง ๆกัน



รูปที่5 ค่าบ่งชี้รูปร่างหน้าตัด (Shape Factor) ของพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ผ่านการผสมสารใด ๆหน้าตัดต่าง ๆกัน

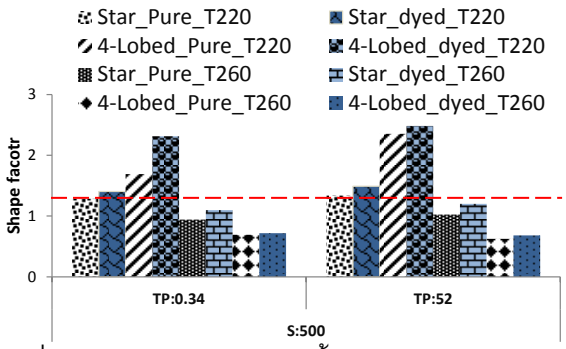
ผลการวิเคราะห์จากภาพตัดขวางของเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่ผ่านการผสมสารใด ๆ แสดงดังรูปที่ 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัดมากที่สุดคือ อุณหภูมิ เมื่อเปรียบเทียบกับ รูปร่างของหัวฉีด อัตราการป้อนเนื้อ และความเร็วในการม้วนเก็บ พบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนจาก 220°C เป็น 260°C หน้าตัดแบบสี่แฉกมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากที่สุด รองลงมาคือแบบดาว และ วงกลม เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าบ่งชี้รูปร่างของ เส้นใยแสดงดังรูปที่ 5 (ค่าบ่งชี้รูปร่างคือ ค่าบ่งชี้ถึงความเรียบหรือขรุขระของรูปร่างโดยสำหรับเส้นใยที่มีรูปร่างกลมค่านี้จะมีค่าต่ำสุด และค่านี้จะมีค่ามากขึ้นเมื่อ

มีความขรุขระของขอบหรือมีพื้นที่ผิวมากซึ่งถูกคำนวณมาจากความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบหน้าตัดและพื้นที่)

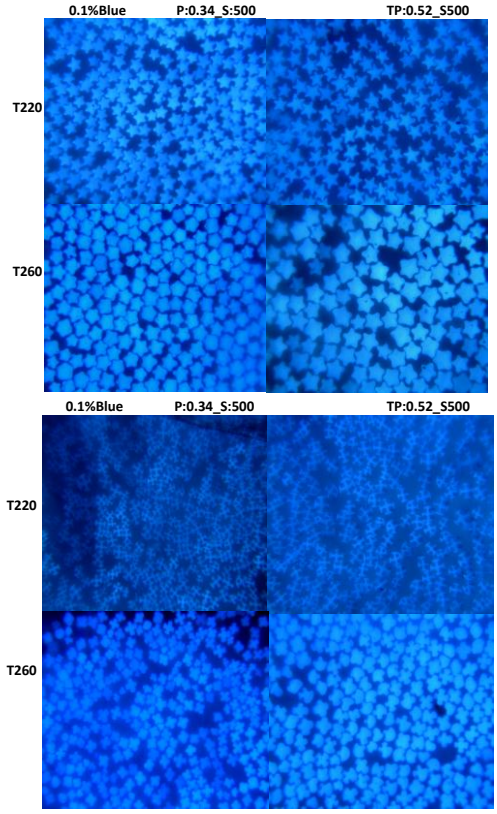
$$\text{Shape factor} = \frac{\text{Perimeter}}{(4\pi a)^{1/2}} \qquad (1)$$

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยที่ขึ้นรูปมาจากหัวฉีดเส้นใย(complex orifice spinneret) ที่มีระดับความซับซ้อนที่แตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพฤติกรรมการไหลของพอลิแลคติกแอซิดมีลักษณะแบบนิวโตเนียน ทำให้ส่งผลทำให้เกิดการบวมตัวที่มาก และความตึงผิวของพอลิเมอร์ หลอมจึงทำให้แรงยึดติดระหว่างพอลิเมอร์หลอมกับผนังของหัวฉีดต่ำเกินไปไม่สามารถคงรูปร่างหน้าตัดตามหัวฉีดได้ จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าเส้นใยมีพื้นที่หน้าตัดที่มาก ทั้งนี้เป็นผลมาจากรูปร่างที่มีการกระจายเนื้อพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน หน้าตัดแบบวงกลม มีความสมดุลมากที่สุดกล่าวคือพอลิเมอร์เมื่อออกมาจากหัวฉีดแล้วสามารถกระจายได้ทุกทิศทุกทาง (มุม 360°C) รองลงมา คือ ดาวและ สี่แฉก ซึ่งสามารถช่วยลดการบวมตัวและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัดของเส้นใยได้ โดยหน้าตัดแบบดาวที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าสี่แฉกยังคงปรากฏแขนทั้ง 5 ในขณะที่หน้าตัดแบบสี่แฉกแขนหายไปมีรูปร่างคล้ายวงกลม(ค่าบ่งชี้รูปร่างที่อุณหภูมิ 260°C ใกล้เคียงกับแบบวงกลม) ซึ่งสอดคล้องกับ อัตราความเครียดเฉือนของพอลิเมอร์เหลวขณะไหลผ่านหัวฉีดรูปดาวแบบสี่แขนนั้นไม่เท่ากัน (unbalance) จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป[5]

<u>ผลของผงสีที่มีต่อรูปร่างหน้าตัดเส้นใยและค่าการสะท้อนแสงขึ้นรูปได้</u>



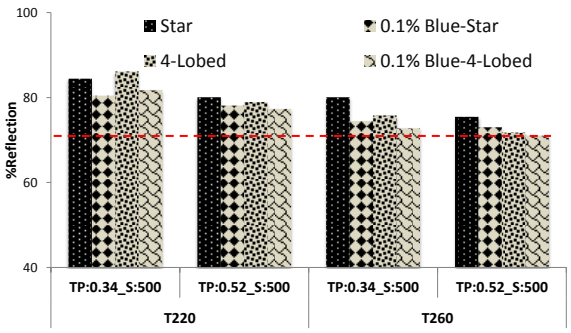
รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าบ่งชี้รูปร่างหน้าตัด (Shape Factor) ของพอลิแลคติกแอซิดที่ผสมผงสีและไม่ผ่านการผสมสารใดๆ ที่มีหน้าตัดต่างๆ กัน



รูปที่ 5 ภาพเส้นใยพอลิแลคติกแอซิดผสมผลสี 0.1% Blue ที่มีหน้าตัดแบบวงกลม ดาว และสี่แฉก ที่ความเร็วม้วนเก็บ(S **500** m/min: ที่อุณหภูมิต่างกัน(T) (บน-ล่าง) และอัตราการป้อนเนื้อพอลิเมอร์(TP) 0.34 และ 0.52 g/hole/min (ซ้าย-ขวา) ที่กำลังขยาย 40 เท่า

จากผลการทดลองเติมผงสี 0.1 % เปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ผ่านการผสมสารใดๆ โดยเลือกพิจารณาเฉพาะเส้นใยที่ขึ้นรูปจากหัวฉีดที่มีความซับซ้อนปานกลาง และมาก (ดาวและสี่แฉก ค่า shape factor 1.73 และ 6.18) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลรูปต่างมากที่สุดคืออุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนจาก 220°C เป็น 260°C ค่าบ่งชี้รูปร่าง แสดงดังรูปที่ 6 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงสีขัดขวางการไหลของพอลิเมอร์ขณะหลอมเหลวทำให้ค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้พอลิเมอร์เหลวสามารถคงรูปร่างตามหัวฉีดได้เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รูปร่างแบบสี่แฉกปรากฏรูปร่างที่คล้ายหัวฉีดเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่รูปร่างหน้าตัดแบบดาวมีแนวโน้มค่าบ่งชี้รูปร่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งอาจเป็นเพราะทางออกของหัวฉีดมีพื้นที่มากกว่า รวมถึงรูปร่างที่ค่อนข้างสมดุลกว่าพอลิเมอร์จึงสามารถไหลผ่านได้ดี ผล

ของผงสีจึงยังไม่มากพอที่จะต้านการไหลของพอลิเมอร์เหลวที่ไหลผ่านช่องที่มีขนาดใหญ่กว่า



รูปที่ 7 ค่าการสะท้อนแสงบนเส้นใยที่มีหน้าตัดแบบดาว (Star) และแบบสี่แฉก(4-Lobed) ที่สภาวะขึ้นรูปต่างๆกัน

จากการทดสอบสมบัติด้านการสะท้อนแสง หน้าตัดที่มีมุมของหัวฉีดมากทำให้การสะท้อนของแสงมีโอกาสที่จะสะท้อนกลับในทิศทางเดิมมากกว่าหน้าตัดที่มีลักษณะผิวเรียบโค้งแบบวงกลม [6] พบว่าหน้าตัดทั้งสองแบบแสดงค่าการสะท้อนแสงไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงผลดังรูปที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยที่ไม่ผ่านการผสมสารใดๆ และผสมเส้นใยพอลิแลคติกผสมผงสีน้ำเงิน 0.1% พบว่าการผสมผงสีส่งผลทำให้แนวโน้มค่าการสะท้อนแสงลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการขึ้นรูปเส้นใยที่สูงขึ้น (260°C) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากร่องบนเส้นใยที่หายไปทำให้ส่งผลต่อการสะท้อนกลับของแสงลดลงมากกว่า

4. สรุปผลการทดลอง

พอลิแลคติกแอซิดมาขึ้นรูปด้วยหัวฉีดเส้นใยมีรูปร่างต่างกันคือ แบบวงกลม(Circular) ดาว(star) และแบบสี่แฉก(4-lobed) ด้วยกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว โดยหัวฉีดมีค่าบ่งชี้รูปร่าง (shape factor) ที่บ่งบอกถึงความซับซ้อนของหัวฉีดที่แตกต่างกัน 3 ระดับ จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากที่สุด ที่อุณหภูมิการขึ้นรูปสูงเส้นใยพอลิแลคติกที่ไม่ผ่านการผสมสารใดๆ ที่ขึ้นรูปจากหัวฉีดเส้นใยที่มีความซับซ้อนน้อย(Circular)จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัดต่างไปจากหัวฉีดน้อยที่สุด ถ้าหัวฉีดเส้นใยมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นหรือมีความไม่สมดุลของทางออกจะส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากหัวฉีดเพิ่มมากขึ้น(Star, 4-Lobe) การเติมผงสีส่งผลทำให้ความหนืดลดลงสามารถช่วยคงรูปร่างกับหัวฉีดที่มีความซับซ้อนมากและมีพื้นที่ทางออกของหัวฉีดกว้างได้มากกว่าหัวฉีดที่มีพื้นที่ทางออกแคบ อุณหภูมิการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการสะท้อนแสงลดลง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์และเส้นใย สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอและเส้นใย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

เอกสารอ้างอิง

[1] Lunt, J., Davie, S. 2005. Poly(lactic acid) fibers. NatureWorks LLC, USA and RS black burn, University of Leeds: 199-207.

[2] Lu, Q., Simionescu, A., Vyavahare, N. 2005. Novel capillary channel fiber scaffolds for guided tissue engineering. Acta Biomaterialia: 607–613.

[3] William, A., Haile, Bobby, Phillips, M. 1995. Deep grooved polyester fiber for wet lay applications. Tappi Journal: 139-142.

[4] Donggang, Y. 2005. Fundamental study of the driving Mechanisms for cross-Section shape changein highly noncircular fiber spinning. The fiber society: 56-56

[5] Kim, H., Chung, K., and Youn, J.R. 2000. Three dimensional FEM simulation for spinning of Non-circular fibers. Fibers and polymers: 37-44 .

[6] Tsai, H. and lin, H. 2008. The elasticity of special-shaped fiber simulation by hydromechanical simulation software. H.C. Tsai, Institute of textile engineering, Feng chia University: 49-55.

[6] Liu, X and Fumei, W. 2012.Visible Light Shielding Performance of Fabrics with Non-Circular Cross Section Fiber. Journal of Engineered Fibers and Fabrics: 50-58

การสังเคราะห์วัสดุเซรามิกส์ชีวภาพกลุ่มแคลเซียมฟอสเฟตจากเปลือกหอยเชอรี่ด้วยวิธีการแบบแห้ง

Synthesis of Calcium Phosphate Based Bioceramics from Golden Apple Snail Shell through Dry Methods

ภาณุ ลีลาถาวรชัย* ธีรวัฒน์ เหล่านภากุล
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ. ขอนแก่น 40002 E-mail: panulee@hotmail.com*

Panu Leelatawonchai*, Teerawat Laonapakul
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Khon Kaen University, Muang, Khon Kaen, 40002, E-mail: panulee@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการศึกษาและพัฒนาวัสดุชีวภาพจากวัสดุธรรมชาติเพื่อประโยชน์ทางการแพทย์มากขึ้น ในการศึกษานี้ วัสดุเซรามิกส์ชีวภาพกลุ่มแคลเซียมฟอสเฟตได้ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) จากเปลือกหอยเชอรี่ ร่วมกับสารประกอบไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต ($CaHPO_4.2H_2O$) โดยอาศัยกรรมวิธีสังเคราะห์ด้วยวิธีสถานะของแข็งและวิธีเคมีเชิงกลร่วมกับวิธีสถานะของแข็ง สารประกอบที่ผ่านการผสมด้วยกรรมวิธีต่างๆ ถูกนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อศึกษาชนิดของสารประกอบที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างกัน สารตั้งต้นและสารประกอบที่เตรียมได้ถูกนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกโดยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ หรือ (X-Ray Diffraction, XRD) และถูกวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยเครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer) ผลการศึกษาพบว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธีการสถานะของแข็งจะให้เซรามิกส์ชีวภาพชนิดเบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟต (ß-TCP) และการสังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีเชิงกลร่วมกับวิธีสถานะของแข็งจะให้เซรามิกส์ชีวภาพชนิดไฮดรอกซีอะปาไทต์ (HAp) ที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับวัสดุเซรามิกส์ชีวภาพกลุ่มแคลเซียมฟอสเฟตที่สามารถนำไปใช้ในทางการแพทย์ได้

คำหลัก หอยเชอรี่; วิธีสถานะของแข็ง; วิธีเคมีเชิงกล; ไฮดรอกซีอะปาไทต์; เบตาไตร แคลเซียมฟอสเฟต

Abstract

Nowadays, the studies and advancements of biomaterials from natural resources for medical purposes have been increased in Thailand. In this study, the calcium phosphate based bioceramics were synthesized from calcium carbonate ($CaCO_3$) and calcium oxide (CaO) calcited from golden apple snail shell with dibasic calcium phosphate dihydrate ($CaHPO_4.2H_2O$) through the solid state reaction and the mechanochemical reaction integrated with the solid state reaction. The compounds mixed through various methods were heat treated at 1100°C for one hour in order to study each type of the compounds synthesized variously. The initial substances and compounds prepared then were analyzed for their crystal structure using the X-Ray diffraction (XRD) and for their particle sizes using the Particle Size Analyzer.The results revealed that the synthesis using the solid state reaction would give beta-tricalcium

phosphate (ß-TCP), and the synthesis using the integrated mechanochemical-solid state reaction would give hydroxyapatite (HAp). There were qualified similar to the calcium phosphate based bioceramics that could be used for medical purposes.

Keywords: Golden apple snail shell; Solid state reaction; Mechanochemical reaction; Hydroxyapatite; Beta-tricalcium phosphate

1. บทนำ

สารประกอบกับแคลเซียมฟอสเฟสมีส่วนประกอบสำคัญคือแคลเซียมและฟอสฟอรัสถูกจัดอยู่ในวัสดุกลุ่มวัสดุเซรามิกส์ชีวภาพ (bioceramics) ที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในเพื่อใช้ในทางการแพทย์ ซึ่งเป็นที่ถูกยอมรับและนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง วัสดุเซรามิกส์ชีวภาพจะถูกนำไปใช้เพื่อซ่อมแซมหรือทดแทนส่วนต่างๆ ของร่างกายที่บกพร่อง วัสดุเซรามิกส์ชีวภาพกลุ่มแคลเซียมฟอสเฟสเช่น เบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟตและไฮดรอกซีอะปาไทต์ถูกสังเคราะห์ขึ้นเพื่อนำมาใช้ในทางการแพทย์และการศัลยกรรมสำหรับซ่อมแซมหรือใช้ทดแทนกระดูก และถูกนำมาใช้ในกรณีที่ผู้ป่วยมีความผิดปกติเกิดขึ้นกับกระดูกเพื่อใช้อุดรอยแตกและใช้ทดแทนเนื้อของกระดูกในบริเวณที่เกิดความเสียหายหรือความบกพร่องอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุ รวมถึงสภาวะการติดเชื้อและโรคภัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับกระดูกเนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกับกระดูกของมนุษย์ นอกจากนี้คุณสมบัติที่สำคัญของไฮดรอกซีอะปาไทต์ที่ถูกเลือกมาใช้ในทางการแพทย์ คือความสามารถในการตอบสนองทางชีวภาพสูง (Bioactivity) สามารถนำมาเป็นสารตั้งต้นในการทำกระดูกเทียมได้ โดยไฮดรอกซีอะปาไทต์สามารถที่จะสร้างกระดูกใหม่เชื่อมต่อโดยตรงกับพื้นผิวโดยไม่ทำให้เกิดการอักเสบ ไม่แสดงการตอบสนองต่อสิ่งแปลกปลอมและมีลักษณะของการต่อต้านเกิดขึ้น [1]

ไฮดรอกซีอะปาไทต์จัดเป็นวัสดุเซรามิกส์ชีวภาพกลุ่มแคลเซียมฟอสเฟสมีสูตรทางเคมีคือ $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ซึ่งสามารถเตรียมได้จากการผสมสารตั้งต้นที่เป็นสารประกอบแคลเซียมกับสารประกอบฟอสเฟสตามสัดส่วนที่เหมาะสมด้วยวิธีต่างๆ อาทิเช่น การเตรียมวัสดุผงจากการตกตะกอน [2] การเตรียมวัสดุผงด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอล [3] หรือการเตรียมวัสดุผงด้วยเทคนิคโซล-เจล [4] ปัจจุบันการสังเคราะห์วัสดุเซรามิกส์ชีวภาพจากวัสดุธรรมชาติถูกศึกษาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ไฮดรอกซีอะปาไทต์สามารถสังเคราะห์ได้จากแหล่งของแคลเซียมหลายประเภท รวมถึงวัตถุดิบจากธรรมชาติหลายชนิด อาทิเช่น ปะการัง [5, 6] เปลือกหอย [7] กระดูกของสัตว์ [8, 9] กระดองปลาหมึก [10, 11] รวมถึงชิ้นส่วนของสิ่งมีชีวิตที่มีปริมาณแคลเซียมสะสมอยู่สูง ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้จะถูกนำมาผ่านกระบวนการเพื่อคัดแยกเอาสารประกอบแคลเซียมและนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์ไฮดรอกซีอะปาไทต์ด้วยวิธีการต่างๆ

เนื่องจากหอยเชอรี่คือศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายให้กับนาข้าวและพืชไร่ของเกษตรกร โดยเปลือกของหอยเชอรี่ประกอบไปด้วยชั้นบางๆ สามชั้นคือ Periostracum layer Prismatic layer และ Pearl layer โดยเปลือกหอยชั้น Prismatic layer จะมีปริมาณแคลเซียมสะสมอยู่มาก [12] และพบปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตต่ำกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด [13] ในบทความวิจัยฉบับนี้ได้เลือกศึกษาเปลือกหอยเชอรี่เพื่อเป็นแหล่งของแคลเซียมที่ใช้เป็นสารตั้งต้นร่วมกับสารประกอบไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต ($CaHPO_4.2H_2O$, DCPD) ในกระบวนการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเซรามิกส์ชีวภาพโดยอาศัยกรรมวิธีสังเคราะห์ด้วยวิธีสถานะของแข็ง และวิธีเคมีเชิงกลร่วมกับวิธีสถานะของแข็ง เนื่องจากกรรมวิธีดังกล่าวมีขั้นตอนและความซับซ้อนน้อย รวมถึงสามารถสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ได้ในปริมาณมากในเวลาอันสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ซึ่งผลที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพของวัสดุเซรามิกส์ชีวภาพเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการสังเคราะห์	สารตั้งต้น	ระยะเวลาที่ใช้ในการผสม	อุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อน	ระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน
วิธีสถานะของแข็ง				
—คลุกผสมด้วยถ้วยผสมสาร	$CaCO_3$ + DCPD	5 นาที	1100 °C	1 ชั่วโมง
	CaO + DCPD	5 นาที	1100 °C	1 ชั่วโมง
—บดผสมด้วยโกร่งบดสาร	$CaCO_3$ + DCPD	5 นาที	1100 °C	1 ชั่วโมง
	CaO + DCPD	5 นาที	1100 °C	1 ชั่วโมง
วิธีวิธีเคมีเชิงกลร่วมกับวิธีสถานะของแข็ง				
—บดผสมด้วยเครื่อง Ball mill	$CaCO_3$ + DCPD	24 ชั่วโมง	1100 °C	1 ชั่วโมง
	CaO + DCPD	24 ชั่วโมง	1100 °C	1 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดในการสังเคราะห์วัสดุเซรามิกส์ชีวภาพ

สารประกอบแคลเซียมที่ใช้ในการศึกษาถูกเตรียมจากเปลือกหอยเชอรี่ที่ผ่านการทำความสะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและอินทรีย์สาร หลังจากนั้นนำเปลือกหอยเชอรี่ไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 600°C และ 900°C เพื่อให้ได้สารประกอบแคลเซียมคาร์บอนเนต ($CaCO_3$) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ตามลำดับ [13] สารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์ถูกนำมาผสมร่วมกับสารประกอบไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต ($CaHPO_4.2H_2O$, Sigma-Aldrich, Co.,) ตามอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแคลเซียมกับฟอสฟอรัส (Ca/P molar ratio) เท่ากับ 1.67 จากนั้นส่วนผสมที่ได้จากสารประกอบแคลเซียมทั้งสองชนิดจะถูกนำไปศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเซรามิกส์ชีวภาพโดยอาศัยกรรมวิธีสังเคราะห์ด้วยวิธีสถานะของแข็งและวิธีเคมีเชิงกลร่วมกับวิธีสถานะของแข็ง แสดงดังตารางที่ 1 หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง สารประกอบตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ทั้งสองวิธีถูกนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกโดยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (BRUKER รุ่น D8) โดยใช้อัตราการสแกน 2.4° 2θ/นาที และเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.02° 2θ ด้วยแหล่งกำเนิด Cu$K\alpha$ และหาขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์โดยเครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (HORIBA Laser Scattering รุ่น LA-950)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

รูปที่ 1 และ 2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตั้งต้นร่วมกับไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรตด้วยวิธีต่างๆ ก่อนการนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อน ผลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากการผสมสารตั้งต้นด้วยวิธีการคลุกดังรูปที่ 1(ก) และ 1(ข) พบว่าพีคของผลิตภัณฑ์ยังคงอยู่ในรูปของสารตั้งต้นไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรตปะปนรวมอยู่กับแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งคล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์แสดงดังรูปที่ 2(ก) และ 2(ข) ที่พบเพียงไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต เนื่องอัตราส่วนของเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรตที่ใช้ในการผสมมีปริมาณสูงมากเมื่อเทียบกับปริมาณของแคลเซียมออกไซด์

เมื่อทำการบดผสมสารตั้งต้นแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแคลเซียมออกไซด์ร่วมกับไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรตด้วยเครื่อง Ball mill เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบการลดลงของพีคโครงสร้างผลึกไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรตและแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งอาจแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้นทั้งสองเกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 1(ค) แต่เมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์พบพีคโครงสร้างผลึกของวัสดุเซรามิกส์ชีวภาพชนิดไฮดรอกซีอะปาไทต์ที่มีฐานกว้างแสดงดังรูปที่ 2(ค) ซึ่งอาจเป็นผลจากการชนและการเสียดสีกันของสารตั้งต้นและลูกบดภายในหม้อบด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกพร้อมกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรตและแคลเซียมออกไซด์เป็นวัสดุเซรามิกส์ชีวภาพชนิดไฮดรอกซีอะปาไทต์ที่มีความเป็นผลึกต่ำได้ที่อุณหภูมิห้อง จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแคลเซียมออกไซด์ไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่าแคลเซียม

คาร์บอนเนตเมื่อทำการบดผสมสารตั้งต้นด้วยเครื่อง Ball mill

นอกจากนี้เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมด้วยวิธีต่างๆ ไปผ่านกระบวนการทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 5 °C/นาที และนำไปตรวจสอบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แสดงดังรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์เป็นสารตั้งต้นผสมกับไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรตด้วยวิธีการคลุกผสมด้วยถ้วยผสมสารและบดผสมด้วยโกร่งบดสารนั้นไม่พบสารตั้งต้นหลงเหลืออยู่ แต่พบพีคโครงสร้างของผลึกวัสดุเซรามิกส์ชีวภาพชนิดเบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟตแสดงดังรูปที่ 3(ก) 3(ข) 4(ก) และ 4(ข) ซึ่งเป็นผลจากการกระบวนการทางความร้อนที่ทำให้สารประกอบไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต ($CaHPO_4.2H_2O$) เปลี่ยนไปเป็นสารประกอบแคลเซียมไพโรฟอสเฟต ($Ca_2P_2O_7$) ที่อุณหภูมิ 450°C ดังสมการที่ 1 [14] และสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบแคลเซียมออกไซด์ที่อุณหภูมิ 700°C ดังสมการที่ 2 [13] หลังจากนั้นแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตจากรูปที่ 3(ก) และ 3(ข) และแคลเซียมออกไซด์ที่ใช้เป็นสารสารตั้งต้นดังรูปที่ 4 (ก) และ 4(ข) ได้เกิดปฏิกิริยากับแคลเซียมไพโรฟอสเฟตขึ้นเป็นวัสดุเซรามิกส์ชีวภาพชนิดเบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$) ดังแสดงในสมการที่ 3

$$2(CaHPO_4) \rightarrow Ca_2(P_2O_7) + H_2O \quad (1)$$

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \quad (2)$$

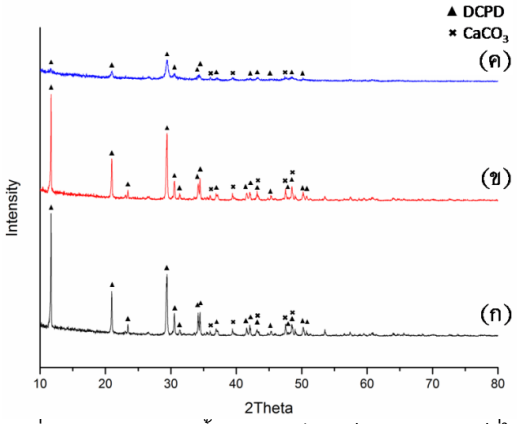
$$CaO + Ca_2P_2O_7 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2 \quad (3)$$

ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์เป็นสารตั้งต้นผสมกับไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรตด้วยวิธีการผสมสารตั้งต้นด้วยเครื่อง Ball mill เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 1100°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 5°C/นาที เมื่อนำไปตรวจสอบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์พบพีคโครงสร้างหลักของผลึกวัสดุเซรามิกส์ชีวภาพชนิดไฮดรอกซีอะปาไทต์ที่มีฐานแคบร่วมกับโครงสร้างผลึกชนิดเบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟต ดังแสดงในรูปที่ 3(ค) และ 4 (ค) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้นทั้งสองชนิดแสดงดังรูปที่ 1(ค) และการเริ่มเกิดโครงสร้างผลึกวัสดุเซรามิกส์ชีวภาพชนิดไฮดรอกซีอะปาไทต์จากปฏิกิริยาเชิงกลระหว่างสารตั้งต้นโดยลูกบดภายในหม้อบดแสดงดังรูปที่ 2(ค) ตามสมการที่ 4 และ 5 และเมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อนทำให้เกิดการสร้างพันธะและเกิดปฏิกิริยากันระหว่างสารตั้งต้นกลายเป็นโครงสร้างของผลึกวัสดุเซรามิกส์ชีวภาพชนิดไฮดรอกซีอะปาไทต์มีความเป็นผลึกมากยิ่งขึ้น

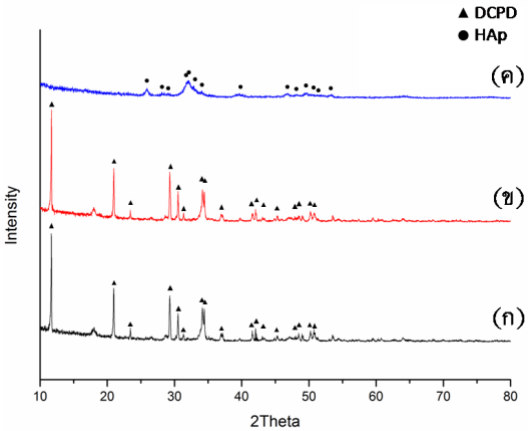
$$4CaCO_3 + 6(CaHPO_4 \cdot 2H_2O) \rightarrow Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 14H_2O + 4CO_2 \quad (4)$$

$$4CaO + 6(CaHPO_4 \cdot 2H_2O) \rightarrow Ca_{10}(PO4)_6(OH)_2 + 14H_2O \quad (5)$$

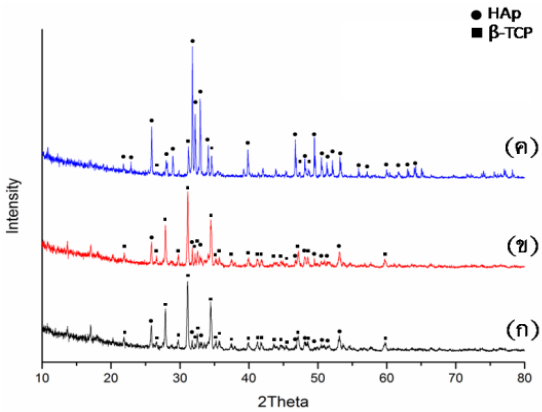
นอกจากนี้ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีสถานะของแข็ง และวิธีด้วยวิธีเคมีเชิงกลร่วมกับวิธีสถานะของแข็งหลังผ่านกระบวนการทางความร้อนไปตรวจวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยเครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค พบว่าขนาดเฉลี่ยของอนุภาคผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในช่วง 8 – 20 ไมโครเมตร



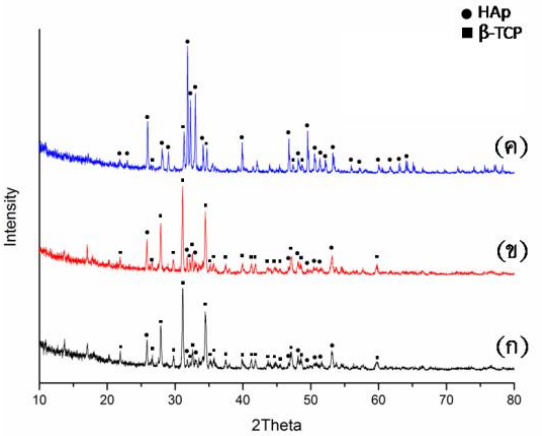
รูปที่ 1 แสดงผลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารตั้งต้น $CaCO_3$ ร่วมกับ DCPD ด้วยวิธี (ก) คลุกผสมสารด้วยถ้วยผสมสาร (ข) บดผสมสารด้วยโกร่งบดสาร (ค) บดผสมสารด้วยเครื่อง Ball Mill ก่อนนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 1100°C



รูปที่ 2 แสดงผลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารตั้งต้น CaO ร่วมกับ DCPD ด้วยวิธี (ก) คลุกผสมสารด้วยถ้วยผสมสาร (ข) บดผสมสารด้วยโกร่งบดสาร (ค) บดผสมสารด้วยเครื่อง Ball Mill ก่อนนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 1100°C



รูปที่ 3 แสดงผลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารตั้งต้น $CaCO_3$ ร่วมกับ DCPD ด้วยวิธี (ก) คลุกผสมสารด้วยถ้วยผสมสาร (ข) บดผสมสารด้วยโกร่งบดสาร (ค) บดผสมสารด้วยเครื่อง Ball Mill หลังนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 1100°C



รูปที่ 4 แสดงผลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารตั้งต้น CaO ร่วมกับ DCPD ด้วยวิธี (ก) คลุกผสมสารด้วยถ้วยผสมสาร (ข) บดผสมสารด้วยโกร่งบดสาร (ค) บดผสมสารด้วยเครื่อง Ball Mill หลังนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 1100°C

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเซรามิกส์ชีวภาพโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์เป็นสารตั้งต้นร่วมกับไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรตด้วยวิธีสถานะของแข็งและวิธีเคมีเชิงกลร่วมกับวิธีสถานะของแข็ง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. วัสดุเซรามิกส์ชีวภาพชนิดเบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟตสามารถสังเคราะห์ได้โดยการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแคลเซียมออกไซด์ร่วมกับไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไอไฮเดรต ด้วยวิธีการคลุกผสมด้วยถ้วยผสมสารและบดผสมด้วยโกร่งบดสาร จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 1100°C

2. วัสดุเซรามิกส์ชีวภาพชนิดไฮดรอกซีอะปาไทต์สามารถสังเคราะห์ได้โดยการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแคลเซียมออกไซด์ร่วมกับไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตไอไฮเดรต ด้วยวิธีการผสมสารตั้งต้นด้วยเครื่อง Ball mill ซึ่งสามารถพบวัสดุเซรามิกส์ชีวภาพชนิดไฮดรอกซีอะปาไทต์ได้ทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 1100°C

3. จากการสังเคราะห์วัสดุเซรามิกส์ชีวภาพด้วยวิธีที่แตกต่างกันทำให้พบว่า วิธีการการสังเคราะห์ที่อาศัยหลักการเชิงกลและกระบวนการทางความร้อนมีผลอย่างมากต่อการเกิดโครงสร้างของผลึกวัสดุเซรามิกส์ชีวภาพชนิดไฮดรอกซีอะปาไทต์

4. วัสดุเซรามิกส์ชีวภาพชนิดเบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟตและไฮดรอกซีอะปาไทต์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8 – 20 ไมโครเมตร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ (Farm Engineering and Automatic Control Technology) มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้การสนับสนุนการศึกษาในบทความวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Chen Q., Roether J.A., & Boccaccini A.R., Tissue engineering scaffoldsfrom bioactive glass and composite material, Topics in Tissue Engineering, Vol.4, 2008

[2] Kim D.W., Cho I.S., Kim J.Y., Jang H.L., Han G.S., Ryu H.S. et al., Simple large-scale synthesis of hydroxyapatite nanoparticles: in situ observation of crystallization process, Langmuir, Vol.26.1, 384–388, 2010

[3] Zhang G., Chen J., Yang S,, Yu Q., Wang Z., & Zhang Q., Preparation of amino-acidregulated hydroxyapatite particles by hydrothermal method, Mater Letters, Vol.65.3, 572–574, 2011

[4] Padmanabhan S.K., Balakrishnan. A., Chu M.C., Lee Y.J., Kim T.N., Cho S.J., Sol–gel synthesis and characterization of hydroxyapatite nanorods, Particuology, Vol.7.6, 466–470, 2009

[5] Sadat-Shojai M., Khorasani M.T., Dinpanah-Khoshdargi E., Jamshidi A., Synthesis methods for nanosized hydroxyapatite with diverse structures. Acta Biomaterialia, Vol.9.8, 7591–7621, 2013

[6] Xu Y., Wang D., Yang L., & Tang H., Hydrothermal conversion of coral into hydroxyapatite, Materials Characterization, Vol.47.2, 83–87, 2001

[7] Vecchio K.S., Zhang X., Massie J.B., Wang M., & Kim C.W., Conversion of bulk seashells to biocompatible hydroxyapatite for bone implants, Acta Biomaterialia, Vol.3.6, 910–918, 2007

[8] Murugan R., Ramakrishna S., & Panduranga Rao K., Nanoporous hydroxy-carbonate apatite scaffold made of natural bone, Mater Letters, Vol.60.23, 2844–2847, 2006

[9] Goller G., Oktar F.N., Agathopoulos S., Tulyaganov D.U., Ferreira J.M.F., Kayali E.S., Peker I, The influence of sintering temperature on mechanical and microstructural properties of bovine hydroxyapatite, Key Engineering Materials, Vol.284-286, 325–328, 2006

[10] Rocha I.H.G., Lemos A.F., Agathopoulos S., Valério P., Kannan S., Oktar F.N., & Ferreira I.M.F., Scaffolds for bone restoration from cuttlefish. Bone , Vol.37, 850–857, 2005

[11] Zhang X., Vecchio K.S., Hydrothermal synthesis of hydroxyapatite rods, J Cryst Growth, Vol.308, 133–140, 2007

[12] Applesnails, Anatomy , ข้อมูลจาก http://www.applesnail.net (วันที่สืบค้นข้อมูล 31 มีนาคม 2557)

[13] Lee P., and Lao T., Preparation and Characterization of Calcium Sources from Golden Apple Snail Shell for Naturally Based Biomaterials, Advance Material Research, Vol.931-932, 2014

[14] Ray L. Frost, Sara J. Palmer, Thermal stability of the 'cave' mineral brushite $CaHPO_4{\cdot}2H_2O$ – Mechanism of formation and decomposition, Thermochimica Acta, Vol.521, 2011

เส้นใยสององค์ประกอบชนิดเสี้ยวจากพอลิแลกติกแอซิดกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

Segment-Pie Bicomponent Fiber from Polylactic Acid and Polybutylene Succinate

นที ศรีสวัสดิ์* และ นรรจพร เรืองไพศาล
ห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์และเส้นใย สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอและเส้นใย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี E-mail: natee.s@en.rmutt.ac.th*

Natee Srisawat* and Nanjaporn Roungpaisan
Polymer and Fiber Lab., Section of Textile Chemistry and Fiber Engineering, Depart. of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, E-mail: natee.s@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

เส้นใยสององค์ประกอบเป็นเส้นใยชนิดพิเศษที่ขึ้นรูปจากพอลิเมอร์สองชนิด หรือชนิดเดียวกันที่มีสมบัติแตกต่างกัน ในเส้นใยเส้นเดียวกัน ด้วยสมบัติที่แตกต่างของพอลิเมอร์ สามารถทำให้เส้นใยมีสมบัติที่พิเศษ และสามารถปรับแต่งได้ตามต้องการ เส้นใยสององค์ประกอบชนิดเสี้ยว (Segment-Pie Bicomponent Fiber) ระหว่างพอลิแลกติกแอซิด (PLA) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) ขึ้นรูปด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกัน PBS/PLA: ที่มี PBS 0 ถึง 70 % ผลการทดสอบพบว่า PBS มีความหนืดสูงกว่า เมื่อเทียบเคียงกับ PLA ส่งผลทำให้เส้นใยในส่วน PBS มีลักษณะกลมมน ส่วนที่เป็น PLA คลุมส่วน PBS สมบัติทางความร้อนของเส้นใยพบว่า อุณหภูมิการหลอมตัวของพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด มีความแตกต่างกัน ทำให้มีผลต่อการรับความร้อนและการคายความร้อนของส่วนพอลิเมอร์ทั้งสอง ทำให้ความเป็นผลึกของ PLA ลดลง เมื่อปริมาณของ PBS สูงขึ้น ความแข็งแรงของเส้นใยนั้นมีค่าสูงขึ้นตามความเร็วในการม้วนเก็บ และความสามารถในการยืดตัว ณ จุดขาด ลดลง เมื่อมีปริมาณของ PBS ที่สูงขึ้น

คำหลัก เส้นใยสององค์ประกอบชนิดเสี้ยว พอลิแลคติกแอซิด พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

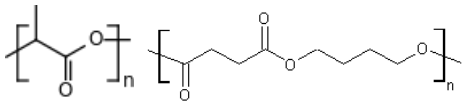
Abstract

Bicomponent fiber is a special fiber which is formed using one or more types of polymer. Differrent properties of similar polymer type can be also used for forming the bicomponent fiber. Segmented-pie is one of the bicomponent fiber types with wedge shape stack around the center and surrounded with another polymer matrix. In this research, Polylactic acid (PLA) and Polybutylene succinate (PBS) were used for forming the segmented-pie bicomponent fiber by adjust PBS range ration between 0 to 70% by volume. The results presented that the wedge shape of PBS was covering by the PLA matrix, as the PBS is normally higher viscosity than PLA polymer. A melting temperature point of PLA and PBS is generally different and that effected to a thermal behavior. Therefore, the crystallinity of PLA tended to decrease with increasing PBS ratio. Spinning speed was the key factor for improve tensile property of fiber.

Keywords : segment-pie bicomponent fiber, polylactic acid, polybutylene succinate

บทนำ

การเพิ่มขึ้นของขยะในปัจจุบัน โดยเฉพาะขยะพลาสติก ทำให้พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ (Biodegradable polymer) ได้รับความสนใจจากผู้ผลิตสินค้าพลาสติก รวมถึงนักวิจัยที่พยายามในการนำพอลิเมอร์เหล่านี้มาใช้งานในรูปแบบต่างๆ ด้วยเช่นกัน [1,2,3] พอลิเมอร์ที่ได้รับความสนใจในกลุ่มนี้ดังเช่น Polylactic Acid (PLA), Polybutylene succinate-co-adipate (PBSA), Polycarbolactone (PCL) และ Polybutylene succinate (PBS) ซึ่งสารตั้งต้นของพอลิเมอร์เหล่านี้ก็ทั้งที่ได้มาจากวัสดุธรรมชาติ และจากปิโตรเคมี



รูปที่ 1 โครงสร้างเคมีของ Polylactic acid (PLA) และ Polybutylene succinate (PBS)

PBS เป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ ชนิดหนึ่งที่เป็นพอลิเอสเตอร์ที่เป็นสายโซ่ตรง ได้จากการสังเคราะห์ จาก 1,2-butandiol กับ succinic acid ในชื่อการค้า Bionolle (Showa Denko K.K.) SkyGreen BDP (SK Polymers) และ GS Pla (Mitzubishi Chemical) ส่วน PLA ก็เป็นพอลิเอสเตอร์สายโซ่ตรงหนึ่ง ที่ได้จากการสังเคราะห์จากแลกติกแอซิดจากการหมัก เป็นเทอร์โมพลาสติกทั้งสองชนิด ความสามารถในการย่อยสลายของทั้ง 2 พอลิเมอร์นั้นสามารถย่อยสลายได้ที่แตกต่างกัน โดย PBS นั้นสามารถย่อยสลายตัวได้รวดเร็วกว่า PLA [4]

การผลิตเส้นใยสององค์ประกอบเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ในการผลิตเส้นใยที่ต้องการสมบัติพิเศษจากพอลิเมอร์ที่มีสมบัติที่แตกต่างกัน 2 ชนิด โดยเป็นได้ทั้งเป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันหรือต่างขนิดกันก็ได้ ทั้งนี้ภาคตัดขวางเส้นใยทั้งแบบเสี้ยว (Segment-pie) และแบบกระจายตัวในเส้นใย (Island-in-the-sea) สามารถ ผลิตเป็นเส้นใยขนาดเล็กได้ ด้วยการละลายส่วนที่เป็นตัวกลาง (Matrix) ออกด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายส่วนที่ไม่ต้องการออก และยังคงมีส่วนของเส้นใยที่ไม่ต้องการนั้น อยู่ในสภาพเป็นเส้นใย จากการผลิตเส้นใยด้วยการใช้ PLA ผสม PBS พบว่าเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถร่วมตัว (Blended) ร่วมกันได้เป็นเนื้อเดียวกัน (missible) จากสัดส่วนที่น้อยกว่า 15% แต่หากมีสัดส่วนที่สูงกว่านี้พอลิเมอร์ทั้งสอง จะแยกออกจากกันอย่างชัดเจน(immissible) [5] ทำให้การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นในการผลิตเส้นใย ศึกษาลักษณะและสมบัติของเส้นใย ที่มีการใช้ PLA และ PBS ร่วมกัน เป็นเส้นใยสององค์ประกอบ โดยเน้นในการผลิตเป็นเส้นใยที่มีภาคตัดขวางแบบเสี้ยว ด้วยความคาดว่าในการใช้งานสุดท้าย จักได้เส้นใยที่มีขนาดเล็ก โดยการแยกทั้งสองส่วนออกจากกัน ทั้งทางกายภาพ หรือการใช้ตัวทำละลาย

วิธีการวิจัย

1.วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์

PLA จาก NatureWorks Inc.: Ingeo Biopolymer 6100D ที่มี MFI (210°C, 2.16Kg) 24 g/10 min จุดหลอมเหลว 165-180°C ความหนาแน่น 1.24 g/cm^3 และความหนาแน่นขณะเหลว ที่ 230°C เท่ากับ 1.08 g/cm^3 และ PBS จาก Mitsubishi: FZ91PD มี MFI (190°C, 2.16Kg) 5 g/10 min จุดหลอมเหลว 115°C ความหนาแน่น 1.26 g/cm^3 (จากเอกสารการใช้งาน)

การทดสอบดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ ด้วยเครื่อง Melt Flow Index รุ่น XRL-400A ทดสอบที่อุณหภูมิ 230°C น้ำหนักกด 2.16 kg ตัดในเวลา 5 วินาที

ขึ้นรูปเส้นใยด้วยเครื่องขึ้นรูปเส้นใยสององค์ประกอบจากบริษัท Hills (Hills Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine Model LBS-100) และชุดประกอบแผ่นอัดรีดเส้นใย (spin pack) ชนิดเสี้ยว 16 ชิ้น เส้นใยกลมตัน โดยที่ขนาดของ melt pump คือ 0.584 cm^3/rev และอัตราการไหลโดยมวล 0.42 g/hol/min ความเร็วม้วนเก็บ 500, 750 และ 1,000 m/min

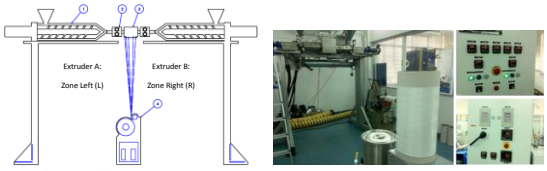
ใช้เครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimetry) รุ่น DSC 200 F3 จากบริษัท NETZCH ใช้ในการทดสอบสมบัติทางความร้อนของเส้นใย โดยอัตราการเพิ่ม (heating rate) และการลดความร้อน (cooling rate)

เท่ากับ 10°C/min จาก 30 – 200°C และ 200 – 30°C โดยค้างที่อุณหภูมิ 200°C 5 นาที

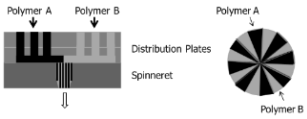
ถ่ายภาพเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ รุ่น CX 41 จากบริษัท Olympus ที่ติดตั้งและเก็บภาพจาก CCD โดยเลนส์วัตถุที่ใช้คือ 10X และนำมาวิเคราะห์ขนาดและรูปร่างเส้นใย ด้วยโปรแกรม ImageJ

ทดสอบความแข็งแรงด้วย เครื่องทดสอบความแข็งแรง ยี่ห้อ Instron รุ่น 5569 โดยการทดสอบแบบเส้นใยเดี่ยวโดยใช้การติดเส้นใยบนกระดาษรูปตัวซี สภาวะการทดสอบคือ ความยาวของเส้นใย 25 mm และความเร็วในการทดสอบ 20 mm/min

ถ่ายภาพด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electronic Microscopy, SEM) รุ่น JSM-6510 บริษัท JEOL จำกัด



รูปที่ 2 เครื่องผลิตเส้นใยสององค์ประกอบ (Hills Lab Scale Bicomponent Extruder Fed Spinning Machine Model LBS-100) (1), Melt pump (2), Spin Pack (3) and winding unit (4)



รูปที่ 3 โครงสร้างการแยกพอลิเมอร์เพื่อผลิตเป็นเส้นใยสององค์ประกอบชนิดเสี้ยว (Segment-pie)

2. วิธีการทดลอง (Method)

ทั้ง PLA และ PBS ได้รับการอบเพื่อไล่ความชื้นที่ 80°C อย่างน้อย 8 ชั่วโมงก่อนการขึ้นรูป โดยใช้เครื่องขึ้นรูปเส้นใยสององค์ประกอบ โดยใช้สกรู 2 สกรูแยกออกจากกัน สกรู A คือ PBS ส่วนสกรู B คือ PLA โดยหลังจากพอลิเมอร์ได้รับการหลอมและอัดส่งมายัง Melt pump ของแต่ละส่วน พอลิเมอร์หลอมเหลวทั้งสองไหลเข้าสู่ชุดประกอบแผ่นอัดรีดเส้นใย พอลิเมอร์ทั้งสองจะไหลประกอบกันเป็นรูปเสี้ยวอย่างละ 8 เสี้ยวก่อนเข้าสู่รูแผ่นอัดรีดเส้นใย ในสภาวะในการขึ้นรูปเส้นใย ทำการควบคุมปริมาณของพอลิเมอร์หลอมเหลวทั้งสอง ด้วยความเร็วของ melt pump ที่แตกต่างกัน เส้นใยตกตัวอิสระ และเส้นใยที่มีความเร็วม้วนเก็บต่างกัน 3 ระดับ คือ 500 750 และ 1,000 m/min ด้วยเครื่องม้วนเก็บเส้นใย Lesona winding machine โดยสภาวะในการอัดรีดมีดังนี้

ตาราง 1 ความเร็วของ melt pump ที่ปรับตั้งในการขึ้นรูปเส้นใยและความดันพอลิเมอร์ที่ก่อนเข้า spin pack

PBS ซ้าย			PLA ขวา		
Percent	Spin Pump (rpm)	Pressure (PSI)	Percent	Spin Pump (rpm)	Pressure (PSI)
100	14	1363	0	0	-
90	12.6	1352	10	1.4	560
80	11.2	1235	20	2.8	612
70	**9.8**	1153	30	**4.2**	623
60	8.4	1082	40	5.6	678
50	**7**	1007	50	**7**	771
40	5.6	903	60	8.4	831
30	**4.2**	894	70	**9.8**	890
20	2.8	705	80	11.2	985
10	**1.4**	620	90	**12.6**	1083
0	**0**	-	100	**14**	1100

อุณหภูมิในการปรับตั้ง 1st Zone, 2nd Zone, Spin Head (Spin Pump 1, Spin Pump 2), 2nd Zone, 1st Zone ตั้งที่ 210, 230, 230 (230,230), 230, 210°C ตามลำดับ เฉพาะ PBS/PLA: 0/100, 10/90, 30/70, 50/50, 70/30 เก็บเส้นใยที่ความเร็วต่างๆ ส่วนเส้นใยตกตัวอิสระทุกอัตราส่วนจะได้รับการเก็บเพื่อไปทดสอบลักษณะของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์

3. วิธีการทดสอบและวิเคราะห์ผล

การทดสอบความสามารถในการไหลตัวหรือดัชนีการไหลของทั้ง PLA และ PBS พบว่า การไหลตัวของ PLA มีการไหลตัวได้อย่างรวดเร็วและได้น้ำหนักมากกว่าผลการทดสอบของ PBS ที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการขึ้นรูปเส้นใย ทำให้ MFI ของ PLA และ PBS มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66.16 และ 43.02 g/10min ตามลำดับ ซึ่งหากสังเกตการไหลตัว PBS จะมีการไหลตัวที่หนืดกว่า รักษารูปร่างของพอลิเมอร์หลอมเหลวได้ดีกว่า PLA

ตารางที่ 2 ดัชนีการไหลตัวของ PLA และ PBS ที่ 230°C

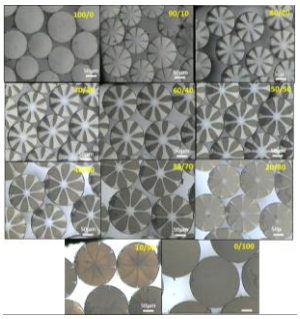
Sample	Temp(°C)/Load (kg)/cut time 5 sec.	Mass (g)	MFI (g/10min)	MVR (cm^3)/10min)	Density (g/cm^3)
PLA-6100D	230/2.16	0.512	67.68	59.77	1.13
		0.539	64.68	58.28	1.10
PBS-FZ91PD	230/2.16	0.345	41.40	38.42	1.07
		0.372	44.64	58.28	1.06

จากการขึ้นรูปเส้นใยสององค์ประกอบระหว่าง PLA และ PBS พบว่า พอลิเมอร์หลอมเหลวที่ได้รับการหลอมด้วยสกรู 2 ชุดแยกกัน ทำให้ความความดันของพอลิเมอร์ที่ปรากฏก่อนไหลเข้าชุดประกอบแผ่นอัดรีดเส้นใยมีค่าที่แตกต่างกัน ตามความเร็วของ spin pump ที่กำหนดอัตราส่วนของสองพอลิเมอร์ จากตารางที่ 1 ที่ความเร็ว spin pump เท่ากันคือ 7 รอบต่อนาที ความดันที่เกิดขึ้นพบว่า ส่วนที่เป็น PBS นั้นมีความดันที่สูงกว่า ส่วนที่เป็น PLA แสดงให้เห็นว่าความหนืดที่สภาวะนี้ พอลิเมอร์หลอมเหลว PBS มีค่าสูงกว่า PLA ด้วยสมบัติการไหลตัวที่แตกต่างกัน สามารถทำให้เส้นใยที่ได้รับการอัดรีดนั้นมีลักษณะภาคตัดขวางที่แตกต่างกัน [6] หากว่าพอลิเมอร์ใดมีความหนืดที่สูงกว่าในการผลิตเส้นใยหรือการขึ้นรูปที่มีการใช้พอลิเมอร์ร่วมกัน พอลิเมอร์ที่หนืดกว่าก็จะมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนมนกลม ส่วนพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ความหนืดต่ำกว่าก็จะมีลักษณะที่โอบล้อมส่วนพอลิเมอร์หลอมเหลวที่หนืดกว่า [7] ซึ่งหากผลิตเส้นใยสององค์ประกอบแบบชิดติดกัน (side-by-side) จากพอลิเมอร์ที่มีความหนืดแตกต่างกันมาก พอลิเมอร์ที่ถูกอัดรีดออกจากรูแผ่นอัดรีดเส้นใยก็จะมีลักษณะโค้งงอ ซึ่งอาจเกิดปัญหาโค้งงอติดหน้าแผ่นอัดรีดเส้นใยจนไม่สามารถขึ้นรูปได้ และเส้นใยก็จะไม่เป็นสองส่วนที่ต้องการ [8]

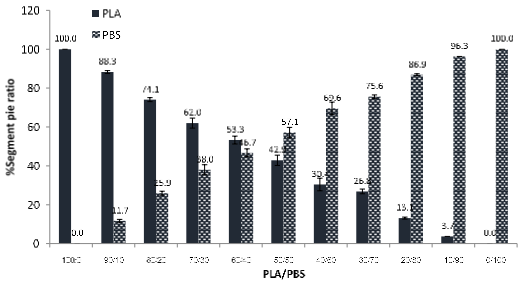
ในกรณีการขึ้นรูป เส้นใยสององค์ประกอบแบบเสี้ยว PLA และ PBS สัดส่วนต่างๆ เส้นใยตกอิสระ นำมาผ่านการตัดเพื่อทดสอบภาคตัดขวางด้วย Microtome แล้วเก็บภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ ดังรูปที่ 4 พบว่า ส่วนที่เป็น PBS นั้นมีลักษณะกลมมนโดยส่วนที่เป็น PLA จะคลุมไว้ไม่สมมาตรตามต้องการ แม้มีการกำหนดความเร็วของ melt pump ที่เท่ากัน

การตรวจสอบสัดส่วนของพอลิเมอร์ทั้งสอง ด้วยโปรแกรม ImageJ ตามรูปที่ 5 พบว่า สัดส่วนของ PLA มีค่าที่ต่ำกว่า PBS ในทุกสัดส่วน เนื่องด้วยการกำหนดสัดส่วนครั้งนี้ ด้วยการกำหนดปริมาตรตามความเร็วของ melt pump ดังเช่น PLA/PBS 50:50 ได้ทำการปรับตั้งที่ความเร็ว melt pump เท่ากับ 7 รอบต่อนาทีเท่ากัน แต่ด้วยเนื้อพอลิเมอร์ที่ออกมานั้นมีความหนาแน่นขณะเหลวที่แตกต่างกัน โดย PBS ที่ 230°C มีค่าความหนาแน่นขณะเหลวที่ต่ำกว่าของ PLA ที่อุณหภูมิเดียวกัน อันจะทำให้น้ำหนักส่วนที่เป็น PLA นั้นมีน้ำหนัก มากกว่าเล็กน้อย (ตามตารางที่ 2) ในกรณีนี้ส่วนที่เป็น PBS มีมากกว่าส่วนที่เป็น PLA เป็นเพราะ PLA มีความหนืดที่ต่ำกว่ามาก ไหลตัวได้ดีกว่า ไม่คงรูป เมื่อมีการยืดตัวออกมาจากรูแผ่นอัดรีดเส้นใย ส่วนของ PBS ก็จะถูกรัดและรวมตัว ทำให้ส่วนของ PLA นั้นล้อมส่วนที่เป็น PBS พร้อมกับ PLA มีการหดตัวของพอลิเมอร์เมื่อเย็นตัวได้สูงกว่า PBS

สมบัติเชิงความร้อนของเส้นใยที่ขึ้นรูปได้ โดยทำการตรวจสอบสมบัตินี้ กับเส้นใยที่ความเร็วม้วนเก็บ 1,000 m/min พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) จะเกิดขึ้น 2 ตำแหน่ง ซึ่งเป็นส่วนของ PBS และ PLA ที่ 117-120°C และ ที่ 176-180°C ตามลำดับ และพบอุณหภูมิการกลับมาเป็นของแข็ง (T_c) ที่อุณหภูมิ 85-87°C และ 105-107°C ซึ่งเป็นส่วนของ PBA และ PLA ตามลำดับเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4 ภาคตัดขวางของเส้นใยตกอิสระระหว่าง PBS กับ PLA ในสัดส่วนต่างๆ

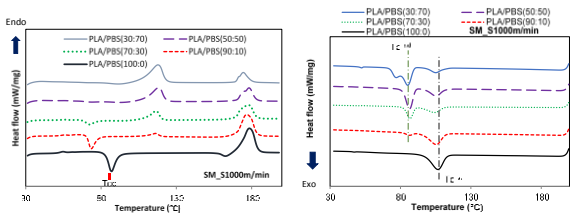


รูปที่ 5 สัดส่วนของเส้นใยสององค์ประกอบชนิดเสี้ยว ระหว่าง PLA/PBS ที่สัดส่วนต่างๆ วิเคราะห์ด้วย ImageJ

จากค่า Heat of fusion (ΔH_f) ของ PBS เท่ากับ 110.3 J/g [9] และ PLA เท่ากับ 93 J/g [10] พบว่า ส่วนที่เป็น PLA นั้นมีค่าความเป็นผลึกที่ลดลงจาก 73.14% ที่ PLA 100% จนมีสัดส่วนของ PBS ที่สูงขึ้นคือที่ 70% มีความเป็นผลึกของ PLA มีค่าเท่ากับ 19.52% ด้วยการเพิ่มขึ้นของส่วน PBS ทำให้พลังงานที่รับเข้าไปเพื่อสร้างส่วนผลึกของ PLA มีค่าที่ลดลงมาก โดยที่ Cold crystallization themperature (Tcc) มีค่าลดลง และการที่เป็นเส้นใยพอลิเมอร์ที่มีการใช้พอลิเมอร์ร่วมกันเป็นเสี้ยว โดยไม่ได้เป็นพอลิเมอร์ผสม ที่ผสมรวมกันในลักษณะที่เล็กกว่า ทั้งเป็นเนื้อเดียวกัน และไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ในการทดสอบสมบัติทางความร้อนการเปลี่ยนจากของเหลวมาเป็นของแข็ง หรือ crystallization temperature (T_c) ส่วนที่เป็น PBS สามารถทำให้การกลับเป็นของแข็งในส่วนของ PLA เป็นได้ช้าลง โดยค่า Tc ที่ต่ำลง ด้วยที่ส่วนของ PBS รับความร้อนในการเปลี่ยนรูปนั้นไปใช้ จะเห็นได้ว่า PBS จะเป็นตัวยับยั้งการเกิดผลึกของ PLA โดยที่ค่า Tc ของ PBS ยังคงใกล้เคียงค่าเดิม

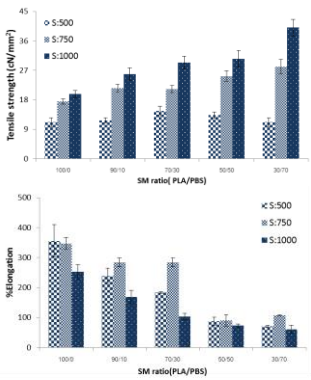
ตารางที่ 3 สมบัติเชิงความร้อนของเส้นใยสององค์ประกอบชนิด Segment-ply ระหว่าง PLA/PBS

Segment ply ratio (PLA/PBS) 1000 m/min	Tm (PLA) (°C)	Tm (PBS) (°C)	ΔHm (PLA (J/g)	ΔHm (PBS (J/g)	χ_c (PLA) (%)	χ_c (PBS) (%)	Tcc (PLA) (°C)	ΔHcc (PLA (J/g)	T_c First peak (°C)	T_c Second peak (°C)
100/0	179.5	-	68.02	-	73.14	-	87.9	-30.4	106.6	-
90/10	177.9	117.3	56.74	4.156	54.91	0.38	74.7	-18.92	105.0	86.3
70/30	179.2	119.3	37.02	21.32	27.87	5.98	73.5	-7.384	105.1	86.4
50/50	179.2	119.3	29.65	40.16	15.94	18.21	-	-	105.1	86.4
30/70	175.6	118.8	18.16	56.09	5.86	35.60	-	-	104.9	85.0



รูปที่ 6 DSC Thermograme ส่วน Heating และ Cooling ของเส้นใยสององค์ประกอบระหว่าง PLA และ PBS ที่ความเร็วม้วนเก็บ 1000 m/min ที่อัตราส่วนต่างๆ

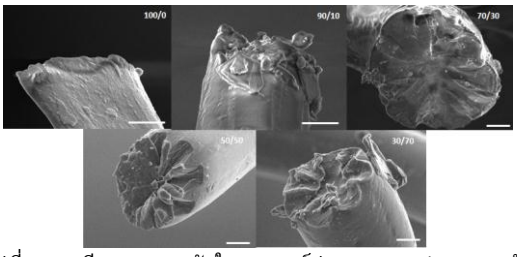
สมบัติทางกายภาพของเส้นใยสององค์ประกอบ จาก PLA กับ PBS ที่สัดส่วนของ PBS ตั้งแต่ 0, 10, 30, 50 และ 70% ในความเร็วม้วนเก็บเส้นใยที่ 500, 750 และ 1,000 m/min พบว่าความเร็วม้วนเก็บเส้นใยมีผลต่อความแข็งแรงตามยาวของเส้นใย โดยความแข็งแรงตามยาวของเส้นใยมีค่าสูงขึ้น ตามความเร็วม้วนเก็บที่สูงขึ้นของทุกสัดส่วน ดังเช่น ในเส้นใย 100% PLA ความแข็งแรงตามยาว มีค่าจาก 11.19 ไปเป็น 19.72 cN/mm^2 ที่ความเร็วม้วนเก็บ 500 และ 1,000 m/min ตามลำดับ (โดยที่ 1 N/mm^2 = 1,000,000 N/m^2 = 1 MPa) (1 Pa = 1 N/m^2) (1.13/ρ x 10^{-8} Pa = gf/d) และที่ 50:50 PLA/PBS จาก 13.31 ไปเป็น 30.54 cN/mm^2 ที่ความเร็วม้วนเก็บ 500 และ 1,000 m/min ตามลำดับเช่นกัน ซึ่งตรงข้ามกับความสามารถในการยืดตัว (%elongation) จะมีแนวโน้มของค่าลดลงตามความเร็วในการม้วนเก็บที่สูงขึ้น ด้วยลักษณะของเส้นใยและการทดสอบ มีค่าที่แตกต่างไป โดยเฉพาะความเร็วม้วนเก็บ 750 m/min แต่อย่างไรก็ตามความแข็งแรงตามยาว ก็เป็นค่าที่มีแนวโน้มเดียวกัน เนื่องด้วยเส้นใยมีการเรียงตัวที่ยังไม่สมบูรณ์ หรือ มีการเรียงตัวตามความยาวบางส่วน ต้องมีการเรียงตัวของพอลิเมอร์เต็มที่ก่อนจึงจะมีการขาดของเส้นใย พร้อมกับการขึ้นรูปเส้นใยครั้งนี้เป็นการขึ้นรูปแบบเก็บตรง ไม่ได้ผ่านอุปกรณ์ในการลดขนาดแต่อย่างใด การเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุล จึงได้จากความเร็วม้วนเก็บอย่างเดียว โดยความเร็วม้วนเก็บที่ 1,000 m/min เส้นใยจะมีการเรียงตัวสูงที่สุด



รูปที่ 7 ความแข็งแรงและการยืดตัวของเส้นใยสององค์ประกอบ PLA/PBS ในสัดส่วน และความเร็วม้วนเก็บต่างๆ

จากการทดสอบความแข็งแรงตามยาว ได้นำเส้นใยที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงตามยาวของเส้นใย ที่ม้วนเก็บด้วยความเร็ว 1,000 m/min มาถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อพิจารณา

ลักษณะของการขาดของเส้นใยที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 8 พบว่า ลักษณะของการขาดของเส้นใย มีการขาดที่ไม่พร้อมกันในสองส่วนพอลิเมอร์ โดยการขาดที่แตกต่างกันนี้แสดงให้ทราบว่า แรงที่ต้านการฉีกขาดของเส้นใยทั้งสองส่วนต่างกัน ขึ้นกับสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์และเส้นใย โดยพฤติกรรมการฉีกขาดของเส้นใยสององค์ประกอบระหว่าง PLA กับ PBS ที่พบในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงตามยาว
กับการยืดตัว ของเส้นใย แสดงให้เห็นว่าไม่พบการขาดทีละส่วน
ดังการขาดของเส้นใยสององค์ประกอบชนิดติดกัน [11] โดยการขาดของเส้นใยสององค์ประกอบชนิดติดกันมีการขาดที่ไม่พร้อมกัน ซึ่งแสดงกราฟความสัมพันธ์การต้านแรงเป็น 2 ช่วง แต่ในกรณีเส้นใยสององค์ประกอบชนิดเสี้ยว ในครั้งนี้ไม่แสดงออกกันอย่างเด่นชัดด้วยเหตุที่เสี้ยวของแต่ละส่วนเล็ก และติดกันอย่างละ 8 เสี้ยวสลับกัน มีการกระจายแรงได้สม่ำเสมอ โดยสมบัติความแข็งแรงที่ได้ เป็นความแข็งแรงโดยรวมจากพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด



รูปที่ 8 รอยฉีกขาดของเส้นใยสององค์ประกอบระหว่าง PLA กับ PBS ที่ความเร็วม้วนเก็บ 1,000 m/min ในอัตราส่วนต่างๆ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสมบัติของเส้นใย ที่ขึ้นรูปด้วยพอลิเมอร์สองชนิดประกอบกันในเส้นใยเส้นเดียวกันแบบเสี้ยว จาก PLA กับ PBS พบได้ว่า พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีความสามารถในการขึ้นรูปได้ มีลักษณะที่ประกอบกันไม่เป็นเสี้ยวโดยสมบูรณ์ โดยส่วนของ PLA ยังคงเป็นลักษณะคล้ายดาว 8 แฉก สมบัติของ PBS ที่มีสมบัติหนืดคล้ายยาง และ PLA ที่มีสมบัติที่กระด้างและเปราะกว่า เส้นใยจากการใช้ 2 พอลิเมอร์ร่วมกัน จะทำให้ การยืดตัว สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางความร้อนก็ได้มีผลต่อสมบัติของเส้นใยโดยรวม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ และภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ ม.ทร.ธัญบุรี เครื่องมือในการศึกษาวิจัย PLA จากสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ PBS จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

[1] Long Yu, Biodegradable Polymer Blends and Composites from Renewable Resources, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2009.
[2] Luca Fambri, Claudio Migliaresi, Kemal Kesenci and Erhan Piskin, Biodegradable Polymers, Integrated Biomaterials Science, edited by Rolando Barbucci, Kluwer Academic/Plenum Publishers, 119-187, 2002.
[3] Isabelle Vroman and Lan Tighzert, Biodegradable Polymers, Materials, 2, pages 307-344, 2009.
[4] พลาสติกย่อยสลายได้: สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มีนาคม 2553 [ออนไลน์] [อ้างถึง 17 มิถุนายน 2556] เข้าถึงได้จาก : http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR12.pdf
[5] ชัยพฤษ อาภาเวท, เจษฎา วงษ์อ่อน, นที ศรีสวัสดิ์ และนรินทร กาบบัวทอง, การศึกษาการปรับปรุงสมบัติความเหนียวของPLAด้วยการผสมกับPBS, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ,พัทยา, ประเทศไทย, 20-21 ตุลาคม 2554.
[6] C. Phahsarn, W. Klinsukhon, N. Roungpaisan and N. Srisawat, Self-Crimped Bicomponent Fiber Containing Polypropylene/Ethylene Octene Copolymer, Materials Letters, 91, 232-234, 2013.
[7] Zbigniew K. Walczak, Processes of Fiber Formation, Elsevier, 2002.
[8] Franz Fourne', Synthetic Fibers: Machines and Equipment, Manufacture, Properties, Hanser Publishes, Munich, 1999.
[9] Correlo, V.M., Boesel, L.F., Pinho, E., Costa-Pintp, A.R., Alves da Silva, M.L., Bhattacharya, M., Mano, J.F., Neves, N.M., Reis, R.L. Melt-based compression-molded scaffolds from chitosan-polyester blends and composites: Morphology and mechanical properties. J. Biomed. Mater. Res., 91A, 489–504, 2009.

[10] Fisher, E. W., Sterzel, H. J., and Wegner, G. Investigation of the structure of solution grown crystals of lactide copolymers by means of chemical reactions. Colloid. Polym. Sci., 251, 980–990, 1973.
[11] Feng He. 2010. An Investigation of the Interfacial Microstructure and Properties in Side-by-Side Bicomponent Polymer Fibers. North Carolina State University, 2010.

เส้นใยคอมโพสิตระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับซิลิกาด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต

Polybutylene Succinate / Silica Composite Fiber From Electrospinning Technique

พงศ์สุวรรณ์ ชมชื่น[1,*] ณรงค์ชัย โอเจริญ[1] และ นที ศรีสวัสดิ์[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี
[2]ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี
อีเมล์: pongsuwanchomchuen@gmail.com

Pongsuwan Chomchuen[1,*] Narongchai O-Charoen[1] and Natee Srisawat[2]
[1]Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani
[2]Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani
E-mail: pongsuwanchomchuen@gmail.com

บทคัดย่อ

การขึ้นรูปพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) ผสมซิลิกา เป็นแผ่นเส้นใยด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต โดยการเตรียมสารละลายพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ความเข้มข้น ร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ด้วยตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม และคลอโรฟอร์มผสมเอทานอล (3/1 โดยปริมาตร) ผสมกับผงซิลิการ้อยละ 3, 5 และ 10 โดยน้ำหนักของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต จากการวิเคราะห์โครงสร้างของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม และคลอโรฟอร์มผสมเอทานอล ในความเข้มข้นของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นเส้นใย แต่ในความเข้มข้นของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นเม็ดบีตส์ และในความเข้มข้นของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่สารละลายคลอโรฟอร์มมีขนาดเส้นใยที่ใหญ่กว่าเส้นใยที่ได้จากสารละลายคลอโรฟอร์มผสมกับเอทานอล คือ ขนาด 4.7 ± 0.32 ไมโครเมตร และ 3.11 ± 0.04 ไมโครเมตร ตามลำดับ และเมื่อผสมซิลิกา พบว่า ในความเข้มข้นของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ของคลอโรฟอร์มกับเอทานอล ไม่สามารถขึ้นรูปเส้นใยได้ นอกจากนี้สารละลายคลอโรฟอร์มของความเข้มข้นของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ผสมกับซิลิกา พบว่าเส้นใยมีขนาดเล็กกว่าแบบไม่ผสม คือ 4.7 ± 0.32 ไมโครเมตร, 3.41 ± 0.04 ไมโครเมตร และ 3.99 ± 0.2 ไมโครเมตร ของอัตราส่วนซิลิการ้อยละ 0, 5, 10 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และในการผสมซิลิกาพบว่าขนาดเส้นใยมีขนาดใกล้เคียงกันมากขึ้น

คำสำคัญ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ซิลิกา การปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต

Abstract

Polybutylene succinate (PBS) with silica was electrospun from PBS solutions in choroform (CF) (10, 15 and 20 % w/v) and chloroform/ethanol (CF/EtOH 3/1 v/v). Silica (SiO_2) 3, 5 and 10 % w/w based on PBS were mixed and electrospun. Electrospun fibers were analyzed by scaning electron microscopy (SEM). PBS solution of CF and CF/EtOH mixtured solvent at the concentrations of PBS 20 %w/v shown as ultrafine fiber compared with the concentrations of PBS 10 and 15 %w/v found as beads. The concentrations of PBS 20 %w/v of CF solution had larger diameter than the fibers diameter from the CF/EtOH solution which was 4.7 ± 0.32 μm to 3.11 ± 0.04 μm, respectively. When solution mixed with silica found that the concentrations of PBS 20 %w/v of CF/EtOH solution can not be electrospun to fibers. Moreover, the concentrations of PBS 20 %w/v of CF solution mixed silica found that smaller diameter than the fibers diameter do not mixed which was 4.7 ± 0.32 μm, 3.41 ± 0.04 μm and 3.99 ± 0.2 μm of Silica 0, 5 and 10 %w/w respectively. Also found that the diameter of mixed silica fibers are more similar size.

Keywords: Polybutylene Succinate, Silica, Electrospinning

1. บทนำ

การปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตหรืออิเล็กโตรสปินนิง (electrospining) เป็นเทคนิคเฉพาะที่ใช้ในการผลิตเส้นใยจากพอลิเมอร์เหลวหรือของเหลวอื่น ๆ โดยใช้แรงทางไฟฟ้าสถิต เพื่อให้ได้เส้นใยที่เล็กในระดับนาโนเมตรถึงไมโครเมตร เทคนิคนี้ได้มีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่องมามากกว่า 60 ปีแล้ว [1] และในปัจจุบันกาลังได้รับความสนใจอย่างสูงเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ คือ เป็นระบบที่ไม่ซับซ้อนสามารถผลิตเส้นใยที่เล็กในระดับนาโนเมตรได้ และด้วยเส้นใยที่มีขนาดเล็กจึงทาให้แผ่นเส้นใยที่ผลิตได้มีพื้นที่ผิวมากมีน้ำหนักเบาและมีรูพรุนขนาดเล็กจานวนมากทำให้ส่งผ่านของเหลวหรือก๊าซได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำเส้นใยที่ผลิตโดยวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง ได้แก่ การกรองโมเลกุล การประดิษฐ์ชุดป้องกันอาวุธเคมีและอาวุธชีวภาพของทหาร การสร้างนาโนคอมพอสิตวัสดุโครงสร้างในวิศวกรรมเนื้อเยื่อ เป็นต้น

พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) เป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ ใช้กรดซัคซินิค (Succinic Acid) และ 1,4 บิวเทนไดออล (1,4 Butanediol) เป็นสารตั้งต้นผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่นกลายเป็นพอลิเอสเทอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง PBS มีลักษณะทางกายภาพเป็นเรซินสีขาวขุ่น มีความยืดหยุ่น (flexibility) สามารถทนความร้อนได้สูง ลักษณะเด่นที่สำคัญคือการนำ PBS ไปใช้งานแทนที่พลาสติกที่ใช้อยู่ทั่วไป [2] PBS มีสมบัติคล้ายกับ พอลิโอเลฟิน (Polyolefins) เช่น พอลิเอทิลีน(PE), พอลิพรอพิลีน (PP) และ พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) [3] เนื่องจากต้องการสมบัติที่เพิ่มขึ้นจึงได้นำสารเติมแต่งผสมกับเส้นใยเป็นเส้นใยคอมโพสิต ซิลิกา (SiO_2) เป็นสารเติมแต่งที่เลือกนำมาผสม ซิลิกามีความแข็งแรงสูง ทนความร้อนสูง ซิลิกาได้นำมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตที่หลากหลาย เช่น แก้ว, คริสตัล, เจล, แอโรเจล, และคอลลอยดอลซิลิกา เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตเส้นใยคอมโพสิตระหว่าง PBS กับ ซิลิกา โดยวิธีปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต เนื่องจากการขึ้นรูปเส้นใยคอมโพสิตให้ได้สมบัติที่เหมาะสมต้องมาจากสภาวะในการขึ้นรูปที่เหมาะสม เช่น ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ ค่าศักย์ไฟฟ้า เวลาที่ใช้ในการละลายพอลิเมอร์ และปริมาณส่วนผสมของซิลิกา ซึ่งเส้นใยคอมโพสิตที่ได้จะนำไปศึกษาเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

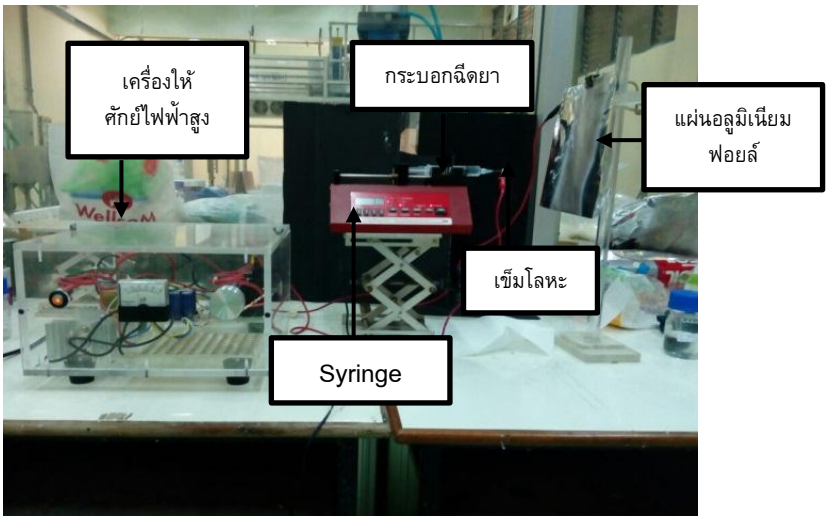
พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS, FZ91PD; Mitsubishi Chemical Corporation, Japan) คลอโรฟอร์ม (CF, AR; QRëC) เอทานอล (EtOH; VWR) ซิลิกา (SiO_2) (Powder grade; บริษัทไมโครซีน จำกัด ขนาด 48.59 ± 17.15 ไมโครเมตร)

2.2 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์

เตรียมสารละลายพอลิเมอร์ โดยความเข้มข้นของ PBS ร้อยละ 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ในสารตัวทำละลาย CF และ CF/EtOH ในอัตราส่วนร้อยละ 75/25 ปริมาตร/ปริมาตร (3/1) ในปริมาตร 40 มิลลิลิตร กวนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer; IKR* C-MAG HS 7) จนเห็นสารละลายใสเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลา 3-6 ชั่วโมง จึงนำผงซิลิการ้อยละ 3, 5 และ 10 โดยน้ำหนักของ PBS ใส่ลงไปในสารละลายกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมไปขึ้นรูปเส้นใย

2.3 การขึ้นรูปเส้นใย

บรรจุสารละลายที่เตรียมไว้ในข้อ 2.2 ลงในกระบอกฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร นำเข็มโลหะเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.6 มิลลิเมตร ติดที่ปลายกระบอกฉีดยา แล้วจัดวางอุปกรณ์ดังรูปที่ 1 ซึ่งระยะจากปลายเข็มโลหะถึงแผ่นรองรับที่เป็นอลูมิเนียมฟอยล์ อยู่ระหว่าง 20 เซนติเมตร และปรับค่าความต่างศักย์ของเครื่องให้ศักย์ไฟฟ้าสูงไปที่ 15 กิโลโวลต์ [4, 5] ควบคุมการไหลของสารละลายด้วยเครื่องควมคุมการให้สารละลายทางกระบอกฉีดยา (Syringe pump; NE-300) ที่อัตราการไหล 1, 3 และ 5 มิลลิลิตร/ชั่วโมง โดยเส้นใยที่ได้จะอยู่บนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์



รูปที่ 1 การจัดวางอุปกรณ์ของระบบการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต

2.4 การตรวจวิเคราะห์ผล

- ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (Scanning electron microscope; JEOL/JSM5410) ทำการเคลือบผิวตัวอย่างด้วยทองก่อนนำไปทดสอบ

- สมบัติการไหลของสารละลาย (Cone and Plate Rheometer; RotoVisco 1) ที่อัตราการเฉือน 0-300 s^{-1}

- ทดสอบสมบัติสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential scanning calorimeter (DSC) ที่อุณหภูมิ 30-200 ºC ที่อัตราการให้ความร้อน 10 ºC /min และอัตราการเย็นตัว 5 ºC /min

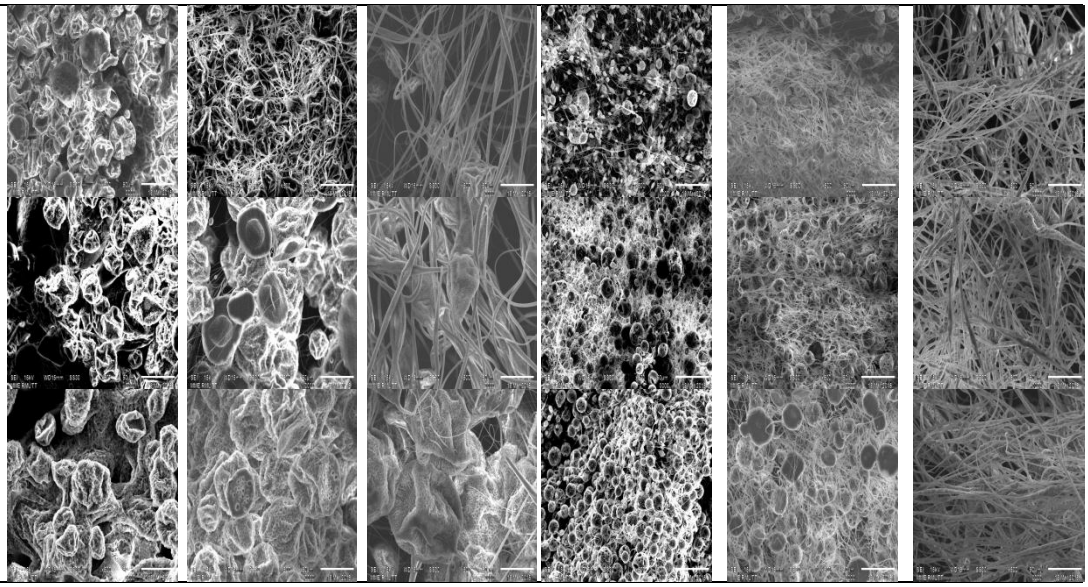
ค่าความเป็นผลึก (% X_c) = $\dfrac{\Delta H_f \times 100}{\Delta H_{f100}(1-W_f)}$ (1)

(ΔH_{f100} PBS = 110.3 J/g) [6]

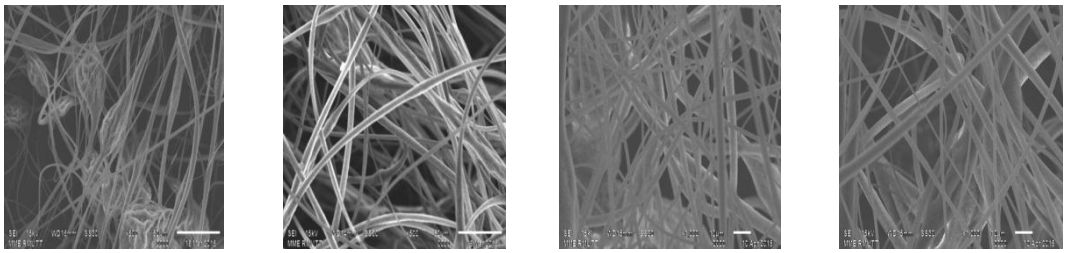
3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

3.1 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

จากการทดสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด แสดงถึงลักษณะและขนาดของเส้นใยที่แตกต่างกันออกไปดังรูปที่ 2 จะสังเกตได้ว่าเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นจะมีลักษณะเป็นเม็ดบีตส์เพิ่มขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะเดียวกันความเข้มข้นของ PBS เพิ่มขึ้นจะมีลักษณะเป็นเส้นใยเพิ่มมากขึ้น ในอัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/ชั่วโมง จะมีลักษณะเป็นเส้นใยมากขึ้นแสดงในรูปที่ 2 และตารางที่ 1 จากรูปที่ 3 แสดงลักษณะเส้นใยที่ผสมกับซิลิกา ในที่นี้ได้ศึกษาเฉพาะสารละลาย CF ที่ความเข้มข้นของ PBS ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เนื่องจากสารละลาย CF/EtOH ระเหยเร็วมากทำให้เกิดการแข็งและตันในเข็มโลหะ จึงทำให้ไม่สามารถฉีดออกมาได้ จากรูปที่ 3 เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อผสมซิลิการ้อยละ 3 w/w แต่หลังจากเพิ่มเป็นร้อยละ 5 และ 10 w/w เส้นใยกลับมีขนาดเล็กลงแสดงในตารางที่ 2 เนื่องจากจำนวนซิลิกาที่เพิ่มมากขึ้นทำให้สารละลายมีความหนืดมากขึ้นจึงทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง

อัตราการไหล (ml/h)	สารตัวทำละลาย CF			สารตัวทำละลาย CF/EtOH 3/1 v/v		
	PBS 10 wt%	PBS 15 wt%	PBS 20 wt%	PBS 10 wt%	PBS 15 wt%	PBS 20 wt%
1						
3						
5						

รูปที่ 2 โครงสร้างจุลภาคจากเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า



a. b. c. d.

รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค SEM ของ CF PBS 20 wt% a. ซิลิกา 0 %w/w , b. ซิลิกา 3 %w/w, c. ซิลิกา 5 %w/w d. ซิลิกา 10 %w/w ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

ตารางที่ 1 ลักษณะและขนาดของเส้นใยที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/ชั่วโมง

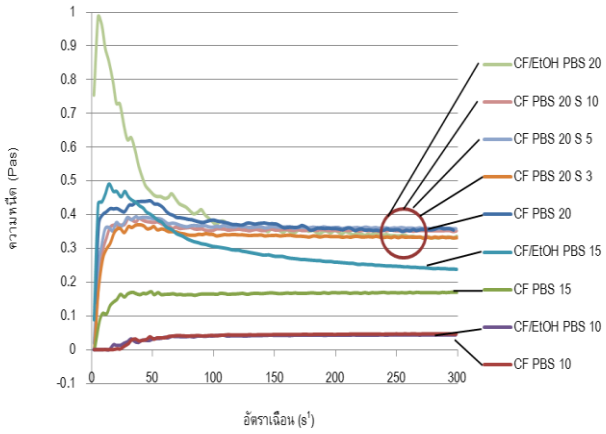
สารตัวทำละลาย (v/v)	ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ (wt %)	ลักษณะของเส้นใย	ขนาดของเส้นใย (ไมโครเมตร)
CF	10	เม็ดบีตส์	-
CF	15	เม็ดบีตส์ + เส้นใยบางส่วน	-
CF	20	เม็ดบีตส์บางส่วน + เส้นใย	4.7 ± 0.32
CF/EtOH (3/1)	10	เม็ดบีตส์ผสมเส้นใย	0.73 ± 0.009
CF/EtOH (3/1)	15	เม็ดบีตส์ผสมเส้นใย	0.98 ± 0.012
CF/EtOH (3/1)	20	เส้นใย	3.11 ± 0.04

ตารางที่ 2 ลักษณะและขนาดของเส้นใย

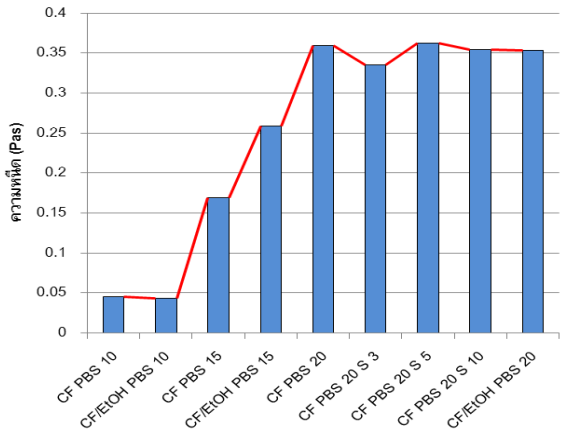
สารตัวทำละลาย / ซิลิกา	ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ (wt %)	ลักษณะของเส้นใย	ขนาดของเส้นใย (ไมโครเมตร)
CF	20	เม็ดบีตส์บางส่วน + เส้นใย	4.7 ± 0.32
CF ซิลิกา 3 %(w/w)	20	เส้นใย	5.99 ± 0.18
CF ซิลิกา 5 %(w/w)	20	เส้นใย	3.41 ± 0.04
CF ซิลิกา 10 %(w/w)	20	เส้นใย	3.99 ± 0.2

3.2 สมบัติการไหลของสารละลายพอลิเมอร์

จากการทดสอบสมบัติการไหลของสารละลายแสดงถึงสมบัติการไหลจะสังเกตได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของ PBS เพิ่มขึ้น ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดแสดงในรูปที่ 4 และ 5 และเมื่อผสมกับซิลิกาในอัตราส่วนต่างๆ ค่าความหนืดเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในทิศทางที่สูงขึ้นแสดงในรูปที่ 5 โดยเฉพาะที่อัตราส่วนซิลิการ้อยละ 5 และ 10 w/w โดยขนาดของเส้นใยมีขนาดเล็กลงแสดงในตารางที่ 2 จึงแสดงให้เห็นว่าปริมาณของซิลิกาที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าความหนืดของสารละลายลายที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง



รูปที่ 4 การไหลของสารละลายที่อัตราเฉือน 0-300 s^{-1}



รูปที่ 5 การไหลของสารละลายที่อัตราเฉือน 200 s^{-1}

3.3 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยคอมโพสิตระหว่าง PBS กับ ซิลิกา

จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนของเส้นใยแสดงในตารางที่ 3 จะสังเกตได้ว่าเมื่อผสมซิลิกาลงไปอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) มีค่าสูงขึ้น อาจเนื่องมาจากซิลิกามีสมบัติทางด้านทนความร้อนได้สูงจึงส่งผลให้ค่า T_m สูงขึ้น แต่กลับกันค่าเปอร์เซนต์ความเป็นผลึกต่ำลงเมื่อผสมซิลิกาลงไป เนื่องจากซิลิกามีลักษณะเป็นผงจึงทำให้เข้าไปแทรกซึมอยู่ระหว่างสายโซ่จึงมีผลทำให้ค่าเปอร์เซนต์ความเป็นผลึกลดลง

ตารางที่ 3 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยคอมโพสิตระหว่าง PBS กับ ซิลิกา

สารตัวทำละลาย (v/v) / ซิลิกา	ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ (wt %)	อุณหภูมิหลอมเหลว T_m (°C)	อุณหภูมิเกิดผลึก T_c (°C)	Heat of fusion (J/g)	เปอร์เซนต์ความเป็นผลึก (% X_c)
CF/EtOH (3/1)	20	113.5	75.2	87.35	79.19
CF	20	113.7	74.7	80.56	73.04
CF ซิลิกา 3 %(w/w)	20	115.3	76.4	74.05	69.21
CF ซิลิกา 5 %(w/w)	20	114.6	76.1	75.29	71.85
CF ซิลิกา 10 %(w/w)	20	116.3	75.8	75.21	75.76

4. สรุป

การผลิตเส้นใย PBS โดยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตแสดงให้เห็นว่าสามารถขึ้นรูปเป็นเส้นใยได้ที่ความเข้มข้นของ PBS 20 wt% ซึ่งขนาดและลักษณะของเส้นใยมีความแตกต่างกัน โดยที่เส้นใยของสารละลาย CF/EtOH 3/1 มีขนาดเส้นใยเล็กกว่าของสารละลาย CF และเมื่อนำมาผสมกับซิลิกา สารละลาย CF/EtOH 3/1 ไม่สามารถฉีดขึ้นรูปเส้นใยได้ ซึ่งเกิดจากสารละลายเกิดการระเหยอย่างรวดเร็วจึงทำให้แข็งเกิดการตันในเข็ม นอกจากนี้แล้ว ซิลิกาที่นำมาผสมกับสารละลาย CF ทำให้ขนาดของเส้นใยเกิดการเปลี่ยนแปลง สมบัติทางความร้อนเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีค่า T_m เพิ่มขึ้น ทั้งนี้การทดสอบในด้านต่างๆ จะใช้ในการศึกษาหาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Tucker, N., Stanger, J.J. and Staiger, M.P., 2012, The history of the science and technology of electrospinning from 1600 to 1995, J. Eng. Fibers Fabrics Special Issue 63-73.

[2] "พลาสติกย่อยสลายได้," ข้อมูลจาก: http://www.tasatec.com/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 เมษายน 2558)

[3] "ซิลิกาไดออกไซด์," ข้อมูลจากจาก: http://th.wikipedia.org/wiki/ซิลิกอน (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 เมษายน 2558)

[4] Eun Hwan Jeong. Electrospinning and structural characterization of ultrafine poly(butylene succinate) fibers. n.p., 2005.

[5] Nikoleta Stoyanova. Poly(L-lactide) and poly(butylene succinate) immiscible blends: From electrospinning to biologically active materials. 119-126., 2014.

[6] Y.J.Phua. Mechanical properties and structure development in PBS organo-montmorillonite nanocomposites under uniaxial cold rolling. 93-103., 2011.

การศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแผ่นอัดจากผักตบชวา

Study of Mixture Ratio for Forming Compression Plate of Water Hyacinth

พีรวัตร ลือสัก , วรพจน์ ศิริรักษ์*
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 57120 E-mail: Peerawat_ie@hotmail.com*

Peerawat Luesak, Worapot Sirirak*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Lanner Chiang Rai, 57120, E-mail: Peerawat_ie@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ผักตบชวาเป็นพืชน้ำล้มลุกอายุหลายฤดู สามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ สามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้กีดขวางลำคลองจนกลายเป็นวัชพืชที่ร้ายแรงในแหล่งน้ำทั่วไป ก่อให้เกิดปัญหากับแหล่งน้ำ เช่น ด้านการชลประทาน ด้านการประมง ด้านการสาธารณสุข ด้านการคมนาคมทางน้ำ เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวทำให้ทางภาครัฐบาลและภาคเอกชน นำผักตบชวามาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น ใช้เป็นอาหารสัตว์ ทำเป็นวัสดุในการเพาะเห็ดฟาง เพาะชำต้นไม้ ผลิตก๊าซชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์ งานหัตถกรรมจักสาน และงานฝีมือต่างๆ เป็นต้น จากข้อมูลข้างต้นผู้ค้นคว้าวิจัยได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำผักตบชวามาทำการขึ้นรูปเป็นฉวนแผ่นอัดโดยทำการศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแผ่นอัด ศึกษากระบวนการขึ้นรูปและคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นอัดจากผักตบชวา อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ผักตบชวาเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต เป็นแนวทางการพัฒนาทางด้านกระบวนการทำแผ่นอัดจากผักตบชวา โดยนำผักตบชวาที่ตากแห้งมาต้มเพื่อเอาใยของผักตบชวาผสมกับส่วนผสม อัตราส่วนระหว่างผักตบชวากับแกลบ 0:100 , 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0 โดยใช้กระบวนการกดอัดขึ้นรูปเย็นที่สภาวะแรงกดอัด 20 , 25 และ 30 ตัน ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลของแผ่นอัดพบว่าอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดของคุณสมบัติต้านทานแรงอัด คือ อัตราส่วนผสม 90 : 10 ใช้แรงอัด 30 ตัน มีค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 648 นิวตัน อัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดของคุณสมบัติต้านทานแรงดัด คือ อัตราส่วน 100 : 0 ใช้แรงอัด 30 ตัน มีค่าความต้านทานแรงดัดเฉลี่ย 88 นิวตัน แผ่นอัดจากผักตบชวานับได้ว่าเป็นงานวิจัยที่สามารถนำไปพัฒนาต่อทางด้านอุตสาหกรรม เป็นการช่วยลดมลภาวะทางน้ำ รวมถึงการช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่วัสดุเหลือใช้

คำหลัก ผักตบชวา แผ่นอัด อัดขึ้นรูปเย็น มูลค่าเพิ่ม

Abstract

Water hyacinth is a biennial plant can be located anywhere in the water. It has purple flowers and assimilative orchids. The species barrier canal quickly become a serious weed in the water everywhere cause problems with water such as the field of irrigation , the field of fishery ,the field of public health ,the water transport. The government and the private sector find guidelines for benefits such as animal feed, material mushroom plantation, biogas, fertilizer, woven handicrafts and handicraft etc. From the above information the research has emphasized the important of the issue and adding value to water hyacinth as a cash crop in the future. The objective of this research is to study a mixing ratio, the forming process and mechanical properties of pressed sheet from water hyacinth. The process is boiling dried water

hyacinth to remove fiber then mixing the ratio between the water hyacinth and rice husk 0: 100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 and 100: 0 with ingredients that have been designed for cold press process. The forming forces were 20, 25, and 30 tons. The result was found that the fiberboard from water hyacinth at ratio 90 : 10 used forming force at 30 tons has compressive strength 648 Newton. At ratio 100 : 0 used forming forces at 30 tons has bending strength 88 Newton. The least water absorption, at ratio 70 : 30 used forming force at 30 tons, was 21 percent. The fiberboard from water hyacinth is considered as research that can be developed to the industry. Moreover, it helps reducing water pollution as well as creates value added to the waste material.

Keywords: Water Hyacinth, Pressed sheet, cold press process, Value added

1. บทนำ

เมื่อกล่าวถึงดอกไม้นอกจากความสวยงาม เป็นสีสันของโลกใบนี้ ดอกไม้ยังสร้างความสดชื่นให้แก่ผู้พบเห็นทั้งรูปทรง และความหอมชื่นใจ ดอกไม้มีหลากหลายประเภท ซึ่งดอกไม้ที่ลอยน้ำได้อีกประเภทหนึ่งเรียกว่า “ผักตบชวา” เป็นพืชน้ำล้มลุกอายุหลายฤดู สามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ ผักตบชวาถือได้ว่าเป็นวัชพืชน้ำที่ก่อให้เกิดปัญหามาก สร้างความลำบากและก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ที่ใช้ประโยชน์ทางน้ำ เช่น ด้านการชลประทาน ด้านการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ด้านการกสิกรรม ด้านการประมง ด้านการสาธารณสุข ด้านการคมนาคมทางน้ำ จากปัญหาดังกล่าวทำให้ทางภาครัฐบาลและภาคเอกชน หาวิธีการกำจัดผักตบชวาออกจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่ผลที่ได้ไม่เป็นที่พอใจมากนัก จึงได้หาแนวทางในการนำผักตบชวามาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ หลากหลายประเภทเช่น ใช้เป็นอาหารสัตว์ ทำเป็นวัสดุในการเพาะเห็ดฟาง เพาะชำต้นไม้ ผลิตก๊าซชีวภาพ ปุ๋ยอินทรีย์ งานหัตถกรรมจักสาน และงานฝีมือ เป็นต้น

จากข้อมูลข้างต้นผู้ค้นคว้าวิจัยได้ให้ความสำคัญของปัญหาและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ผักตบชวาเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต ลดปัญหามลภาวะทางน้ำ นำวัชพืชที่ไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมาประยุกต์ให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ เป็นแนวทางในการพัฒนางานด้านอื่นต่อไป โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการขึ้นรูปแผ่นอัด เริ่มจากการศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปแผ่นอัดจากวัตถุดิบทางการเกษตร ทำการศึกษาคุณสมบัติของแผ่นอัด กระบวนการอัดขึ้นรูปและทำการศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของการขึ้นรูปแผ่นอัดจากผักตบชวา

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดจากขี้เลื้อยไม้ยางพาราผสมพลาสติกใช้แล้วประเภทโพลีเอทีลินชนิดความหนาแน่นสูงจำนวน 4 สูตรแต่ละสูตรแตกต่างกันที่อัตราส่วนขี้เลื้อยไม้ยางพารา ต่อ พลาสติกเหลือใช้ ทำการทดลองโดยใช้ขี้เลื้อยไม้ยางพาราผสมกับพลาสติกใช้แล้วประเภทโพลีเอทีลินชนิดความหนาแน่นสูงในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 40 โดยมวล ด้วยเครื่องบดผสมภายใน (Internal Mixer) ที่ความเร็วรอบ 50 รอบ/นาที นำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก (Injection Molding Machine) ทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นตัวอย่าง (ความแข็งแรงดึงร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมอดูลัสความแข็งแรงโค้งงอมอดูลัสโค้งงอความแข็งแรงกระแทกและดัชนีการไหล) พบว่าวัสดุผสมขี้เลื่อยที่มีอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยมวลมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดจากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของการผสมมะพร้าวลงไปในชิ้นทดสอบในอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยมวลพบว่ามะพร้าวมีผลทำให้คุณสมบัติเชิงกลลดลง[1]

การวิจัยศึกษาการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากเศษเหลือของปาล์มน้ำมัน ได้แก่ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน ทางใบปาล์มน้ำมัน กะลาปาล์มน้ำมันนำมาอัดร้อน โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสาน มีขนาดพื้นที่ 300 × 300 mm ความหนา 10 mm แล้วนำแผ่นชิ้นไม้อัดที่ได้ไปทดสอบ หาค่าสมบัติเชิงกลคือ การทดสอบแรงดึง การทดสอบความแข็งแรงดัด และการทดสอบหาค่าทางกายภาพคือ การทดสอบหาปริมาณความชื้น การทดสอบหาความหนาแน่น การทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ และการทดสอบการดูดซึมน้ำ จากผลการทดลองพบว่าเศษเหลือของปาล์มน้ำมันสามารถนำมาผลิตเป็นไม้อัดโดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสานใช้ได้จริง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการ

อัดประสานเศษเหลือของปาล์มน้ำมันคือ 110°-125°C ที่แรงอัด 750 psiเวลาที่เหมาะสมในการอัดคือ 10 นาที[2]

การศึกษากระบวนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนอัดจากข้าวโพด หลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดจะมีเศษเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ต้องทำลายโดยการเผาทิ้งหรือก็ปล่อยทิ้งไว้ให้ย่อยสลายไปตามธรรมชาติ แต่ส่วนใหญ่ใช้วิธีการเผาซึ่งทำให้เกิดมลภาวะหมอกควันเหมือนดังสภาวะการณ์ปัจจุบัน เพื่อเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ จึงได้ทำการคิดค้นงานวิจัยเพื่อทำการศึกษากระบวนการขึ้นรูปและคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นอัดฉนวนจากข้าวโพด โดยการนำต้นข้าวโพด เปลือกข้าวโพด และซังข้าวโพด ที่ได้เตรียมไว้มาผสมกับตัวประสาน ซึ่งทำการออกแบบอัตราส่วนผสม 2 : 1 : 1 , 2 : 1.5 : 1.5 และ 2 : 2 : 2 ใช้แรงในการกดอัดขึ้นรูปแผ่นอัดที่ 80 , 100 และ 120 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลของแผ่นอัด จากการทดสอบคุณสมบัติทางกลของแผ่นฉนวนอัดจากข้าวโพดพบว่าที่อัตราส่วนผสม 2 : 2 : 2 ใช้แรงในการกดอัดขึ้นรูป 120 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ให้คุณสมบัติต้านทานแรงอัดดีที่สุด 1,188±79 นิวตัน ค่าการต้านทานแรงดัดดีที่สุด 60±15 นิวตัน และ ค่าการต้านทานแรงกระแทกดีที่สุด 1.6±0.8 จูล[3]

การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติของแผ่นชิ้นไม้อัดเปลือกข้าวโพด โดยใช้กาวลาเท็กซ์ (Latex Glue) เป็นตัวประสาน โดยศึกษาแรงอัดที่สภาวะ100,150,200 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (kg/cm^2) เวลาที่ใช้อัด 30 และ 40 นาที และเปอร์เซ็นต์กาวที่ใช้ 30, 35 และ 40 เปอร์เซ็นโดยน้ำหนัก นำแผ่นไม้ที่ได้จากการผลิตที่สภาวะต่างๆไปอบและไม่อบแต่นำไปตากแดดนาน 1 วัน พบว่าสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพ เช่นการบวมน้ำ ความต้านทานแรงกระแทก และความต้านทานแรงบิดแบบ Three Point Bending ของแผ่นไม้ซึ่งได้จากการผสมกาว 35% W/W ใช้เวลาอัดนาน 40 นาที และใช้แรงอัด 150 kg/cm^2 อบที่อุณหภูมิ 100°C นาน 4 ชั่วโมง มีการบวมน้ำน้อย ทนแรงกระแทกและแรงดัดมาก เมื่อเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นไม้ (มอก.876-2547) พบว่าผ่านตามมาตรฐานการผลิตแผ่นไม้ แต่สำหรับแผ่นชิ้นไม้อัดเปลือกข้าวโพดแบบไม่อบนั้น ไม่สามารถที่จะนำมาผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดเพื่อใช้งานจริงได้ เพราะแผ่นชิ้นไม้อัดที่ได้มีค่าความทนแรงกระแทกและแรงดัดต่ำอีกทั้งยังไม่สามารถตรวจวัดค่าการบวมน้ำได้ เนื่องจากการไม่อบแผ่นไม้ทำให้กาวแข็งตัวช้า เปลือกข้าวโพดและกาวจึงประสานกันไม่ดีน้ำสามารถแทรกเข้าตามช่องว่างได้มาก[4]

การศึกษาแผ่นรองกันกระแทกจากผักตบชวา ต่อมาได้ศึกษาเส้นใยของผักตบชวา ปรากฏว่าเส้นใยของผักตบชวามีความยืดหยุ่นมาก จึงคิดนำความรู้ดังกล่าวมาต่อยอดในการทำโครงงานชิ้นนี้ในส่วนที่นำมาต่อยอดคือการตั้งสมมติฐานว่าหยวกกล้วยซึ่งมีอยู่มากมายในท้องถิ่นและเพื่อนนักเรียนด้วยกันเห็นว่า ถูกนำมาทิ้งจำนวนมาก โดยเฉพาะในช่วงหลังเทศกาลลอยกระทง จึงนำมาทดลองด้วยการเปรียบเทียบความยืดหยุ่นและความแข็งแรงระหว่างผักตบชวากับเส้นใยจากหยวกกล้วย ผลปรากฏว่าผักตบชวามีความยืดหยุ่นกว่าหยวกกล้วย ขณะเดียวกันหยวกกล้วยมีความแข็งแรงทนทานกว่า สมาชิกกลุ่มจึงนำทั้งหยวกกล้วยและผักตบชวามาเป็นส่วนประกอบของแผ่นอัดจากธรรมชาติ ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งแรงและมีความยืดหยุ่นสูง สามารถใช้แทนแผ่นกระดานนำเสนอผลงานหรือกระดาษเตือนความจำโดยหลักคิดของโครงงานคือ ต้องการสร้างสมดุลให้กับทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ อีกทั้งเป็นการนำวัชพืชหรือพืชที่ไม่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ ลดการเกิดขยะไม่ทำลายธรรมชาติ หรือทรัพยากรสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักตบชวา หากอยู่ตามธรรมชาติคือแหล่งน้ำจะเป็นปัญหาทำให้เกิดน้ำเน่าเสียและกีดขวางการจราจรทางน้ำอย่างมาก ดังนั้น การนำวัชพืชเหล่านี้มาใช้ประโยชน์จึงเป็นการสร้างประโยชน์ได้ถึงสองทาง[5]

3. วิธีการและการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแผ่นอัดจากผักตบชวา ทำการวางแผนการดำเนินงาน เพื่อเป็นแนวทางการทำวิจัย ดังนี้

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาและสภาพพื้นที่แวดล้อมในชุมชนที่มีแหล่งน้ำตามธรรมชาติของผักตบชวาที่เป็นวัชพืชจากธรรมชาติ สำหรับการประมาณปริมาณวัตถุดิบให้พร้อมสำหรับการศึกษาวิจัย ศึกษากระบวนการขึ้นรูปการทำแผ่นอัด กระบวนการทดสอบคุณสมบัติทางกล การแก้ไขปัญหาจากผลงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการทำวิจัย

3.2 ทำการศึกษาและทำการออกแบบแม่พิมพ์แผ่นอัดและหาอัตราส่วนผสม

ออกแบบและสร้างแบบพิมพ์ที่ใช้สำหรับขึ้นรูปแผ่นอัด โดยทำการออกแบบอัตราส่วนผสมที่เตรียมไว้มาผสมกับตัวประสานโดยมีอัตราส่วนระหว่างผักตบชวากับแกลบ 0:100 , 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0 โดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปแบบเย็นที่แรงอัด 20, 25 และ 30 ตัน

3.3 ดำเนินการทดลองการขึ้นรูปแผ่นอัด

การทดลองการขึ้นรูปแผ่นอัดใช้แรงในการกดอัด 20, 25 และ 30 ตัน ระยะเวลาในการกดอัด 10 นาที การประเมินผลการทดลองการขึ้นรูปแผ่นอัดแบ่งออกได้ 2 กรณี คือ

1. กรณีที่ไม่ผ่าน หมายถึง แผ่นอัดไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ต้องทำการออกแบบแม่พิมพ์ใหม่

2. กรณีที่ผ่าน หมายถึง แผ่นอัดสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นอัดได้ สามารถนำไปทำการทดลองทางด้านคุณสมบัติทางกล

3.4 ทำการทดสอบแผ่นอัดผักตบชวา

เตรียมแผ่นอัดให้ได้ขนาดสำหรับการทดสอบคุณสมบัติการต้านทานแรงอัดและแรงดัด นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อหาคุณสมบัติที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นอัดจากผักตบชวา

3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อทดสอบได้ค่าการทดลองในแต่ละการทดลองแล้ว นำค่าเหล่านั้นมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุด ของการนำผักตบชวามาผลิตแผ่นอัด

3.6 สรุปผลการทดลอง

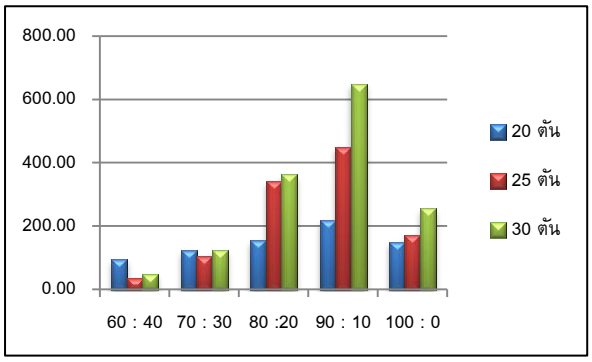
นำข้อมูลวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการบันทึกผลมาทำการวิเคราะห์เพื่อนำมาสรุปผลการทดลองให้ได้ตามขอบเขตและวัตถุประสงค์ ของการทำการวิจัยในครั้งนี้

4. ผลการศึกษา

จากการดำเนินงานและทำการขึ้นรูปแผ่นอัดจากผักตบชวาโดยมีอัตราส่วนระหว่างผักตบชวากับแกลบ 0:100 , 10:90 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40, 70:30 , 80:20 , 90:10 และ 100:0 โดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปแบบเย็นที่แรงอัด 20, 25 และ 30 ตัน ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลได้ผลการศึกษา 2 ด้าน ดังนี้

4.1 คุณสมบัติทางด้านแรงดัด

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านแรงดัด แรงอัดขึ้นรูปที่ 20 ตัน ได้ค่าการต้านทานแรงดัดดีที่สุด 49.60 N/mm^2 ที่อัตราส่วนผสม 100 : 0 แรงอัดขึ้นรูปที่ 25 ตัน ได้ค่าการต้านทานแรงดัดดีที่สุด 60.20 N/mm^2 ที่อัตราส่วนผสม 100 : 0 แรงอัดขึ้นรูปที่ 30 ตัน ได้ค่าการต้านทานแรงดัดดีที่สุด 88.40 N/mm^2 ที่อัตราส่วนผสม 100 : 0 ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟค่าการต้านทานแรงดัด

จากการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ อัตราส่วนของการผสมระหว่างผักตบชวาและแกลบต่อค่าแรงกดอัดขึ้นรูป ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดสอบแรงดัด ทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการทดสอบแรงดัด และหาค่าผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสมการทดสอบแรงดัด ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ตามรูปที่ 2, 3 และ 4

Multilevel Factorial Design

```
Factors:        2     Replicates:     5
Base runs:     15     Total runs:    75
Base blocks:    1     Total blocks:   1

Number of levels: 5, 3
```

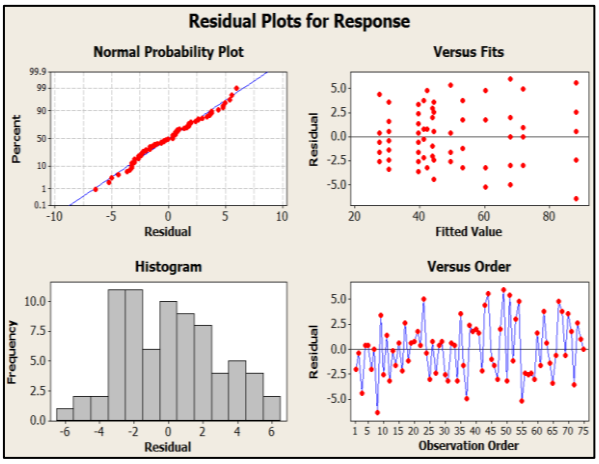
Results for: Worksheet 2

General Linear Model: Response versus Ratio, Extrusion

```
Factor     Type   Levels  Values
Ratio      fixed       5  60, 70, 80, 90, 100
Extrusion  fixed       3  20, 25, 30


Analysis of Variance for Response, using Adjusted SS for Tests

Source           DF   Seq SS   Adj SS  Adj MS       F      P
Ratio             4   8775.4   8775.4  2193.8  223.56  0.000
Extrusion         2  10185.0  10185.0  5092.5  518.93  0.000
Ratio*Extrusion   8   1362.0   1362.0   170.2   17.35  0.000
Error            60    588.8    588.8     9.8
Total            74  20911.1


S = 3.13262   R-Sq = 97.18%  R-Sq(adj) = 96.53%


Unusual Observations for Response

Obs  Response      Fit  SE Fit  Residual  St Resid
  8   82.0000  88.4000  1.4010   -6.4000     -2.28 R
```

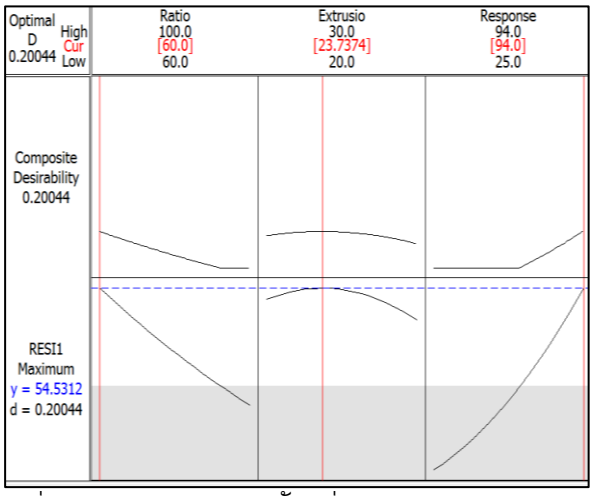
รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดสอบแรงดัด

จากรูปที่ 2 ทำการตรวจสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square) พบว่ามีค่าสูงร้อยละ 96.53 ค่า P-Value = 0.000 แสดงว่าแบบจำลองมีค่าความน่าเชื่อถือเหมาะสมต่อการทำนายค่าผลตอบได้อย่างถูกต้องของกระบวนการทดสอบคุณสมบัติทางด้านแรงดัด



รูปที่ 3 การตรวจสอบความถูกต้องของส่วนตกค้างการทดสอบแรงดัด

จากรูปที่ 3 สามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างของ ข้อมูลผลตอบค่าทดสอบแรงดัดของชิ้นงาน (Residuals) มีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็น ศูนย์ มีความแปรปรวนคงที่ และ มีการกระจายตัวอิสระ

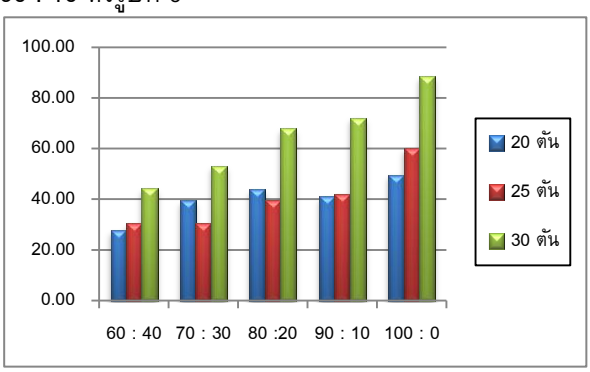


รูปที่ 4 ผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสมการทดสอบแรงดัด

จากรูปที่ 4 พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทดสอบคุณสมบัติทางด้านแรงดัด เมื่อตั้งเป้าหมายให้สมการมีค่าความต้านแรงดัดสูงสุด (Maximum) คือใช้อัตราส่วนผสมผักตบชวาต่อแกลบ 60 : 40 ใช้แรงกดอัดขึ้นรูป 23.74 ตัน ให้ผลลัพธ์ค่าความต้านแรงดัดสูงสุด 94 N/mm^2

4.2 คุณสมบัติด้านแรงอัด

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านแรงอัด แรงอัดขึ้นรูปที่ 20 ตัน ได้ค่าการต้านทานแรงอัดดีที่สุด 219.00 N/mm^2 ที่อัตราส่วนผสม 90 : 10 แรงอัดขึ้นรูปที่ 25 ตัน ได้ค่าการต้านทานแรงอัดดีที่สุด 450.20 N/mm^2 ที่อัตราส่วนผสม 90 : 10 แรงอัดขึ้นรูปที่ 30 ตัน ได้ค่าการต้านทานแรงดัดดีที่สุด 648.40 N/mm^2 ที่อัตราส่วนผสม 90 : 10 ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟค่าการต้านทานแรงอัด

จากการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ อัตราส่วนของการผสมระหว่างผักตบชวาและแกลบต่อค่าแรงกดอัดขึ้นรูป ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดสอบแรงดัด ทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการทดสอบแรงดัด และหาค่าผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสมการทดสอบแรงอัด ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ตามรูปที่ 6, 7 และ 8

Multilevel Factorial Design

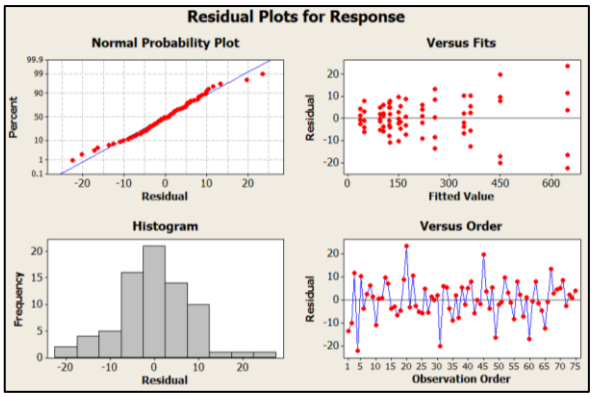
```
Factors:        2     Replicates:     5
Base runs:     15     Total runs:    75
Base blocks:    1     Total blocks:   1

Number of levels: 5, 3
```

General Linear Model: Response versus Ratio, Extrusion

```
Factor      Type   Levels  Values
Ratio       fixed       5  60, 70, 80, 90, 100
Extrusion   fixed       3  20, 25, 30


Analysis of Variance for Response, using Adjusted SS for Tests

Source           DF   Seq SS   Adj SS  Adj MS        F      P
Ratio             4  1341526  1341526  335382  4004.71  0.000
Extrusion         2   244106   244106  122053  1457.41  0.000
Ratio*Extrusion   8   391828   391828   48979   584.84  0.000
Error            60     5025     5025      84
Total            74  1982485


S = 9.15132   R-Sq = 99.75%   R-Sq(adj) = 99.69%


Unusual Observations for Response

Obs  Response      Fit  SE Fit  Residual  St Resid
  4   626.000  648.400   4.093   -22.400    -2.74 R
 20   672.000  648.400   4.093    23.600     2.88 R
```

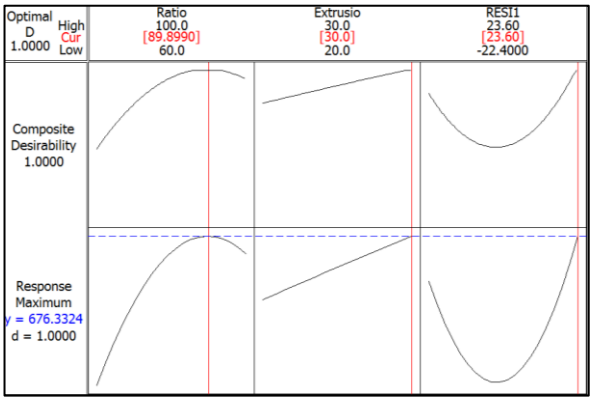
รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดสอบแรงอัด

จากรูปที่ 6 ทำการตรวจสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square) พบว่ามีค่าสูงร้อยละ 99.69 ค่า P-Value = 0.000 แสดงว่าแบบจำลองมีค่าความน่าเชื่อถือเหมาะสมต่อการทำนายค่าผลตอบได้อย่างถูกต้องของกระบวนการทดสอบคุณสมบัติทางด้านแรงอัด



รูปที่ 7 การตรวจสอบความถูกต้องของส่วนตกค้างการทดสอบแรงอัด

จากรูปที่ 7 สามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างของ ข้อมูลผลตอบค่าทดสอบแรงดัดของชิ้นงาน (Residuals) มีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็น ศูนย์ มีความแปรปรวนคงที่ และ มีการกระจายตัวอิสระ



รูปที่ 8 ผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสมการทดสอบแรงอัด

จากรูปที่ 8 พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดในการทดสอบคุณสมบัติทางด้านแรงอัด เมื่อตั้งเป้าหมายให้สมการมีค่าความต้านแรงดัดสูงสุด (Maximum) คือใช้อัตราส่วนผสมผักตบชวาต่อแกลบ 89.90 : 10.10 ใช้แรงกดอัดขึ้นรูป 30 ตัน ให้ผลลัพธ์ค่าความต้านแรงดัดสูงสุด 676.33 N/mm^2

5. สรุปผล

5.1 ค่าการทดสอบคุณสมบัติด้านแรงดัด

ในกระบวนการทดสอบคุณสมบัติแรงดัด ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านแรงดัด พบว่าที่อัตราส่วน 100 : 0 ใช้แรงกดอัด 30 ตัน มีค่าความต้านทานแรงดัดสูงสุด 88.40 N/mm^2

สามารถนำไปใช้งานด้านของอุปกรณ์ตกแต่งภายในบ้าน หรือนำไปใช้งานที่ไม่ต้องรับภาระโหลดด้านแรงอัดและแรงดึง

5.2 ค่าการทดสอบคุณสมบัติด้านแรงอัด

ในกระบวนการทดสอบคุณสมบัติแรงอัดผลการทดสอบด้านแรงอัด พบว่าอัตราส่วน 90:10 ใช้แรงกดอัด 30 ตัน มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด 648.40 N/mm^2 สามารถนำไปทำ เป็นแผ่นปาร์ติเกิ้ลบอร์ด ฉนวนกันความร้อน

จากกระบวนการทดสอบคุณสมบัติทางกลทั้ง 2 ชนิดพบว่าผักตบชวาและแกลบ สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นอัดได้เนื่องจากในสภาพการใช้งานจริงนั้นแผ่นอัดจากผักตบชวา ได้รับแรงกดหรือแรงดัดเล็กน้อยซึ่งไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นอัดจากผักตบชวา ทั้งนี้ในกระบวนการทดลองเป็นเพียงการศึกษาแนวทางของการขึ้นรูปแผ่นอัด ในภาคอุตสาหกรรมสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆในอนาคตเป็นการเพิ่มมูลค่าและกำจัดวัชพืชอีกทางหนึ่ง

แนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปภายข้างหน้าเป็นการศึกษาแนวทางการวิจัยที่นำเศษฟางข้าวที่เหลือจากการเกี่ยวข้าวทำการศึกษาหาความเป็นไปได้ของกระบวนการขึ้นรูป หากฟางข้าวสามารถทำการขึ้นรูปได้ จากนั้นทำการวิจัยในการคัดเลือกวัตถุดิบ ได้แก่ เศษข้าวโพด ผักตบชา และฟางข้าว เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการนำไปใช้ในแต่ละด้าน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือจาก อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ที่ได้ ให้ข้อเสนอแนะ ในการดำเนินการวิจัย จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กชกร บ่อคำ,ปาติเกิลบอร์ดจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราผสมเศษวัสดุเหลือใช้,ภาควิชาวัสดุศาสตร์และวิศวกรรม คณะเทคโนโลยีวิศวกรรมและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร,2551

[2] กฤษดา คงเดิม,การศึกษาการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากเศษเหลือของปาล์มน้ำมัน,ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี,มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2552

[3] พีรวัตร ลือสัก , วรพจน์ ศิริรักษ์,การศึกษากระบวนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนอัดจากข้าวโพด,สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย,2557

[4] สุกัญญา นูรีและพิมพร วงษ์ราษฎร์,การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติของแผ่นชิ้นไม้อัดเปลือกข้าวโพด,โครงการ IRPUT ประจำปี,2552

[5] สุวัฒชัย ปลื้มฤทัย,ศึกษาพัฒนาคอนกรีตบล็อกจากผักตบชวา,ภาควิชาสถาปัตยกรรม สาขาวิชาสถาปัตยกรรม, มหาวิยาลัยศิลปากร,2551

ผลกระทบของการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยเชอรี่ โดยวิธี ไฮโดรเทอร์มอลในพอลิเอทิลีนสำหรับกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟ

Effect of $CaCO_3$ from Golden Apple Snail Shell Modified by Hydrothermal Method Addition in Polyethylene for Rotational Molding on Mechanical and Flame Retardant Properties

วิษณุ เจริญถนอม[1] พีรพงศ์ จันทร์บาง[2] เทวธิดา ทองพนัง[3] สุภาภรณ์ ทุมสอน[4] อำนวย ลาภเกษมสุข[5]
ณรงค์ชัย โอเจริญ[6] สรพงษ์ ภวสุปรีย์[7*]
[1,2,3,5,6,7*]ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[4]ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คลองหก อำเภอธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110 โทร. 02-5493480 โทรสาร. 02-5494383
E-mail: sorapongp@yahoo.com[*]

Wissanu Charerntanom[1] Peerapong Janbang[2] Thewatida Thongpanang[3] Supaporn Thumsorn[4]
Amnuay Larpkasemsuk[5] Narongchai O-Charoen[6] Sorapong Pavasupree[7*]
[1,2,3,5,6,7*]Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
[4]Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering,Rajamangala University of Technology
Thanyaburi Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110Tel. 02-5493480 Fax. 02-5494383
E-mail: sorapongp@yahoo.com[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) จากเปลือกหอยเชอรี่ โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลในพอลิเอทิลีนสำหรับกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนต่อสมบัติเชิงกลบางประการและสมบัติการลามไฟ ทำการสังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยเชอรี่ โดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลโดยใช้สภาวะที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นนำแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้มาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาและขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แล้วจึงนำมาผสมกับพอลิเอทิลีนที่อัตราส่วน 0%, 2.5%, 5%, 7.5% และ 10% โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน (Rotational molding) เพื่อทดสอบสมบัติเชิงกลประกอบไปด้วย สมบัติการทนต่อแรงดึง (ASTM D 638) สมบัติการทนต่อแรงกระแทก (ASTM D 256) สมบัติความแข็งที่ผิว (ASTM D 758) และสมบัติการลามไฟ (ASTM D 635) ผลที่ได้จากการศึกษาคือแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้การสังเคราะห์ มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบแคลไซต์ และมีขนาดของอนุภาคประมาณ 10 ไมโครเมตร เมื่อนำมาเติมในพอลิเอทิลีนไม่ส่งผลกระทบต่อค่าต้านทานแรงดึงมากนัก แต่ค่าการทนแรงกระแทกลดลง ค่าความแข็งที่ผิว และสมบัติการต้านทานต่อการลามไฟเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ แคลเซียมคาร์บอเนต หอยเชอรี่ ไฮโดรเทอร์มอล พอลิเอทีลีน กระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน

Abstract

The aims of this research were to study the effect of calcium carbonate ($CaCO_3$) from golden apple snail shells modified by hydrothermal method addition in polyethylene (PE) on mechanical and flame retardant properties. $CaCO_3$ from golden apple snail shells was synthesized by hydrothermal method at 80°C for 20 hours. The shape and size of the samples were characterized by scanning electron microscopy (SEM). The specimens were prepared by mixed calcium carbonate with polyethylene at the ratio of 0%, 2.5%, 5%, 7.5 and 10 wt.% for rotational molding. Mechanical properties of the mixed samples were tested including tensile strength (ASTM D 638), impact strength (ASTM D 256), material hardness (ASTM D 758), and flame retardant (ASTM D 635). Results of the study found that the crystal structure of calcium carbonate in calcite form. The particle size of prepared calcium carbonate was about 10 micrometer. No significant effect of $CaCO_3$ addition on tensile strength was observed. Impact strength of the prepared $CaCO_3$ addition in the polyethylene was decreased. Hardness of the mixed samples was increased. It also showed that $CaCO_3$ addition can reduce flammability of polyethylene.

Keywords: calcium carbonate, golden apple snail shells, hydrothermal, polyethylene, rotational molding

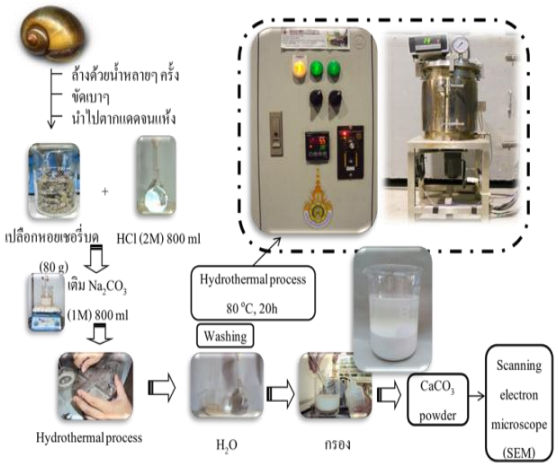
1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ หอยเชอรี่ พบได้ทั่วทุกภาคของประเทศ เนื่องจากสามารถแพร่พันธุ์ได้ดีในภูมิอากาศของประเทศไทยและกินพืชเป็นอาหาร จึงกลายเป็นศัตรูพืชทางเศรษฐกิจเช่นข้าว เกษตรกรจึงมีความพยายามที่จะนำเอาเนื้อหอยเชอรี่และเปลือกหอยเชอรี่มาใช้ประโยชน์ ซึ่งเนื้อหอยเชอรี่ก็นำมาประกอบอาหาร ส่วนเปลือกหอยเชอรี่นี้ถือได้ว่าเป็นวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร ที่สร้างปัญหาด้านขยะ [1], [2] ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะนำเอาพลาสติก และวัสดุที่เหลือใช้มาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ ซึ่งในโครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ที่ได้จากเปลือกหอยเชอรี่ที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลในพอลิเอทิลีน (PE) สำหรับกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน (Rotational Molding) ต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟ

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมวัสดุ

วัตถุดิบที่ต้องใช้มี 2 ส่วนหลักๆ ด้วยกันคือ แคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกหอยเชอรี่ และที่ผงพอลิเอทิลีน (PE) เตรียมวัสดุนาโน (Nanostructured materials) ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้เปลือกหอยเชอรี่เป็นสารตั้งต้น โดยนำเปลือกหอยมาบดและละลายด้วยสารละลาย 2 M HCl หลังจากนั้นนำเปลือกหอยที่ล้างแล้วไปสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้สารละลาย Na_2CO_3 1 M เป็นตัวทำปฏิกิริยาในกระบวนการไฮโดรเทอรมอล ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำการชั่งวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ โดยมีอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมดังในตารางที่1 นำวัตถุทั้ง 2 ชนิด มาผสมตามอัตราส่วนให้เข้ากัน จากนั้นทำการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องขึ้นรูปแบบหมุน (Rotational Molding)



รูปที่ 1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโน $CaCO_3$ โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

ตารางที่ 1 อัตราส่วนที่ใช้ในการผสม

พลาสติก PE	อัตราส่วนที่ 1 $CaCO_3$ เชิงพาณิชย์	อัตราส่วนที่ 2 $CaCO_3$ ที่ไม่ผ่านกระบวนการ Hydrothermal	อัตราส่วนที่ 3 $CaCO_3$ที่ผ่านกระบวน การ Hydrothermal
90 %	10 %	10 %	10 %
92.5 %	7.5 %	7.5%	7.5 %
95 %	5 %	5 %	5 %
97.5 %	2.5 %	2.5 %	2.5 %
100 %	0 %	0 %	0 %

2.2 การทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติการลามไฟ

ทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) มาตรฐาน ASTM D 638 ทดสอบเรื่องการทนต่อแรงกระแทกโดยวิธี Izod มาตรฐาน ASTM D 256 ทดสอบความแข็งที่ผิวของพลาสติก(Rockwell Hardness) มาตรฐาน ASTM D 785 ทดสอบการทดสอบการลามไฟ (Flame Retardant) มาตรฐาน ASTM D 635

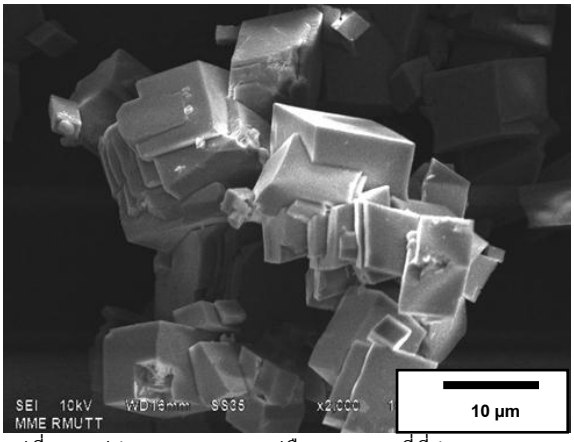
3. ผลการทดลอง

3.1 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

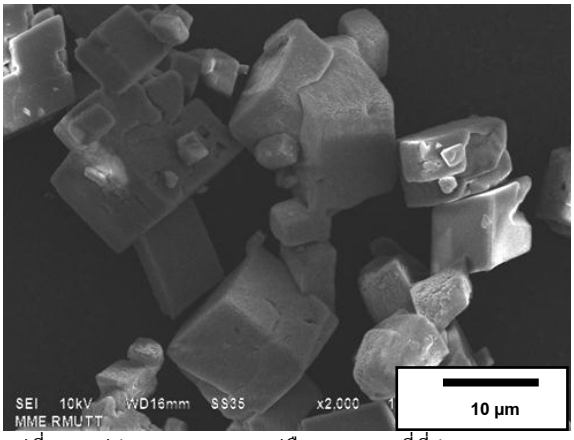
เปลือกหอยเชอรี่ที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แบบไม่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลดังรูปที่ 2 มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีขนาดประมาณ 7 ไมโครเมตรที่มีผิวที่เรียบเป็นเหลี่ยมมุมและมีขนาดที่เล็กกว่าแบบผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล

เปลือกหอยเชอรี่ที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แบบผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลจะเห็นได้ว่ามีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่มีผิวขรุขระมีขนาดประมาณ 10 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 3

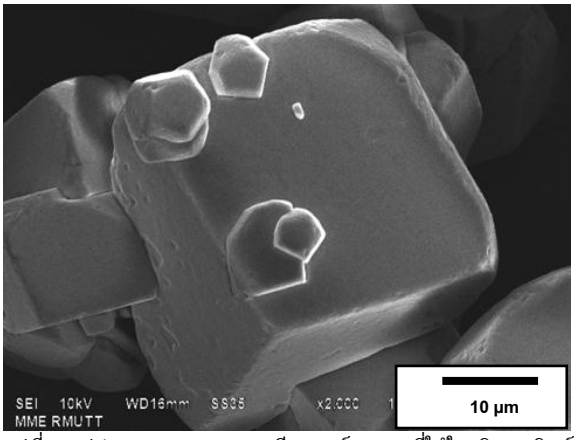
แคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในเชิงพาณิชย์เห็นได้ว่าเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มีขนาดประมาณ 20ไมโครเมตร ดังรูปที่ 4 เป็นรูปของ SEM ของซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าแบบที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลและแบบที่ไม่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล



รูปที่ 2 รูปถ่าย SEM ของเปลือกหอยเชอรี่ที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แบบไม่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (ที่กำลังขยาย 2000 เท่า)



รูปที่ 3 รูปถ่าย SEM ของเปลือกหอยเชอรี่ที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แบบผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (ที่กำลังขยาย 2000 เท่า)



รูปที่ 4 รูปถ่าย SEM ของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ (ที่กำลังขยาย 2000 เท่า)

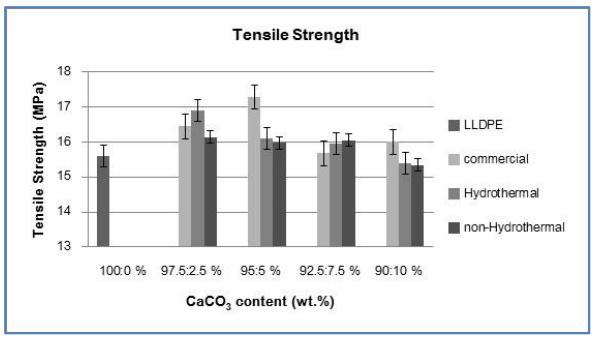
3.2 ผลการขึ้นรูปพลาสติกพอลิเอทิลีนกับแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)

เมื่อนำพลาสติกพอลิเอทิลีนผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต ตามอัตราส่วนที่ได้กำหนดไว้คือ 100:0, 97.5:2.5, 95:5, 92.5:7.5 และ 90:10 wt.% โดยผ่านกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน (Rotational molding) ผลที่ได้คือ เมื่อสังเกตด้วยตาพบว่าพลาสติกมีสีขาวขุ่น ด้านเมื่อสังเกตจะพบว่าในแต่ละอัตราส่วนพลาสติกมีสีที่ไม่แตกต่างกันมาก และเป็นเนื้อเดียวกันดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 แสดงลักษณะของพอลิเอทิลีนที่ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต

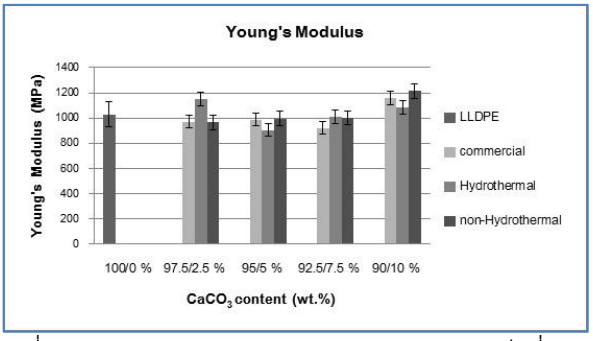
3.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและการลามไฟ

ค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยส่วนที่ดีที่สุดคือที่ 2.5 wt.% ดังรูปที่ 6 เมื่อเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไป 10 wt.% พบว่าค่าการต้านทานแรงดึงลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ไม่ได้ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากเมื่อเติมลงไปในปริมาณที่มากขึ้นทำให้เกิดการรวมกลุ่มขัดขวางการจัดเรียงตัวของ PE [3], [4]



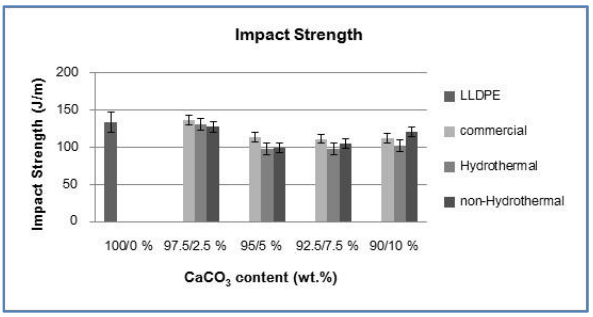
รูปที่ 6 กราฟแสดงค่า Tensile Strength ของพอลิเอทิลีนที่ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต

ค่ายังมอดูลัส (ดังรูปที่ 7) ของวัสดุผสมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในการสอดคล้องกับงานวิจัยของ Garbarski และ Fabijanski ได้ทำการศึกษาถึงสมบัติ โดยขนาดของ $CaCO_3$ คือ 70 nm และนำมาผสมกับ HDPE ผลที่ได้ HDPE ที่ผสม $CaCO_3$ มีค่าทนต่อการเสียรูปมากกว่า HDPE ที่ไม่ได้ผสมอะไรเลยโดยค่าการทนต่อการเสียรูปจะสูงมากขึ้นเมื่อมีปริมาณ $CaCO_3$ มากขึ้น [5]



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่า Young's Modulus ของพอลิเอทิลีนที่ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต

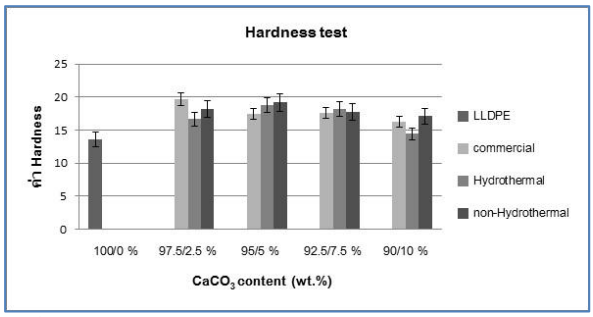
เมื่อผสมแคลเซียมคาร์บอเนตกับพอลิเอทิลีน ค่าการต้านทานแรงกระแทกมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ไม่ได้ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต [6] มีค่า 133.86 J/m ค่าการต้านทานแรงกระแทกของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในเชิงพาณิชย์มีค่าการต้านทานแรงกระแทกเป็น 136.24, 113.71, 111.33 และ 111.96 J/m ค่าการต้านทานแรงกระแทกที่ได้จากการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลมีค่าการต้านทานแรงกระแทกเป็น 131.23, 97.94, 97.55 และ 102.19 J/m ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการทนแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนที่ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต

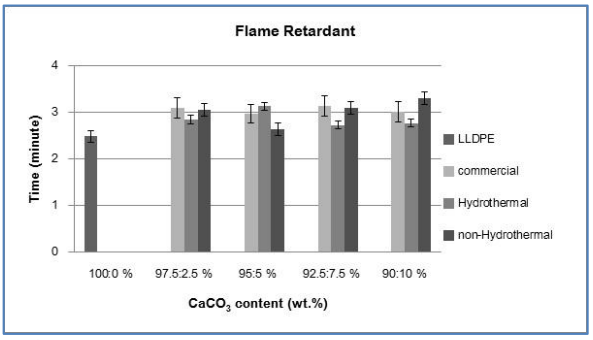
ค่าความแข็งของผิวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนที่ไม่ได้ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งมีค่า 13.61

ค่าความแข็งของผิวที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในเชิงพาณิชย์มีค่าความแข็งของผิวเป็น 19.64, 17.43, 17.58 และ 16.32 ค่าความแข็งของผิวที่ได้จากการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลมีค่าความแข็งที่ผิวเป็น 16.66, 18.73, 18.19 และ 14.44 ดังรูปที่ 9 ทั้งนี้คาดว่าค่าความแข็งที่เพิ่มมากขึ้นเป็นเพราะกระบวนการขึ้นรูปที่เป็นแบบหมุนทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตที่มีลักษณะที่แข็งและมีน้ำหนักที่หนักกว่าไปอยู่ด้านบนของชิ้นงานหรือผิวของชิ้นงานนั่นเอง จากการศึกษานี้ค่าที่ได้มีสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang และคณะ [7] ที่ได้ทำการผสม HDPE กับ $CaCO_3$ ด้วยเครื่องผสมจากนั้นจึงนำไปขึ้นรูปให้เป็นแผ่นและทำให้เย็นตัวช้าๆ ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงทำการตัดเป็นแผ่นให้มีขนาด 30x10x5 mm จากนั้นจึงนำไปทดสอบค่าความแข็ง ที่มีค่าความแข็งของผิวหน้ามากที่สุดที่ 7 % และค่อยๆลดลงเมื่อปริมาณ $CaCO_3$ เพิ่มขึ้น



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความแข็งของผิวหน้าของพอลิเอทิลีนที่ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต

ค่าทนต่อการลามไฟของพอลิเอทิลีนที่ผสมแคลเซียมคาร์บอเนต มีค่าการทนการลามไฟที่มากขึ้น ดังเห็นได้จากผลการทดสอบของพอลิเอทิลีนที่ไม่ได้ผสมแคลเซียมคาร์บอเนตใช้เวลา 2.49 นาที ค่าการทนการลามไฟที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในเชิงพาณิชย์มีค่าการทนการลามไฟเป็น 3.12, 2.57, 3.14 และ 3.01 นาที ค่าการทนการลามไฟที่ได้จากการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลมีค่าการทนการลามไฟเป็น 2.42, 3.13, 2.44 และ 2.46 นาที ดังรูปที่ 10 อาจเป็นเพราะแคลเซียมคาร์บอเนตมีสมบัติที่ไม่ติดไฟ [4] ทำให้ค่าทนการลามไฟมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มากขึ้นจึงทำให้ค่าการทนต่อการลามไฟที่มากขึ้น



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการทนการลามไฟของพอลิเอทิลีนที่ผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต

4. สรุปผล

แคลเซียมคาร์บอเนตที่ มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีขนาดประมาณ 7-10 ไมโครเมตร มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบแคลไซต์เมื่อนำมาเติมในพอลิเอทิลีนไม่ส่งผลกระทบต่อค่าต้านทานแรงดึงมากนัก แต่ค่าการทนแรงกระแทกลดลง ค่าความแข็งที่ผิว และสมบัติการต้านทานต่อการลามไฟเพิ่มขึ้น และเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการนำเอาศัตรูพืชมาใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมวัสดุโดยใช้เครื่องมือที่สร้างเองในประเทศ ด้วยวิธีที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยากเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2558 กลุ่มวิจัย Nanotechnology for Textile and Polymer Research Group (NanoTeP) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] ณฐนนท์ ตราชู, การพัฒนาครีมกันแดดจากเปลือกหอยเชอรี่ คลินิกเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปี 2550

[2] ชมพูนุท จรรยาเพศ,ทักษิณ อาชวาคม. ชีววิทยาของหอยเชอรี่ Biology of Golden Apple Snail เกษตรพระจอมเกล้า ปี ที่ 9 เล่ม 2. 2534

[3] Atuanya C.U., Aigbodion V.S., Obiorah S.O., Kchaou M., Elleuch R., “Empirical models for

estimating the mechanical and morphologic al properties of recycled lowdensity polyethylene /snail shell bio composites", Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences xxx, xxx–xxx 2015. http://dx.doi.org/10.1016/j.jaubas.2015.01.001

[4] Liu Z. H., Zhu X. G., Li Q., Oi Z. N., Wang F. S., "Effect of morphology on the brittle ductile transition of polymer blends: 5. The role of $CaC0_3$ particle size distribution in high density polyethylene/CaC03 composites", Polymer Vol. 39. No. 10, 1863-1868, 1998

[5] Garbarski J., Fabijanski M., "The Mechanical Properties of a Mixture of High Density Polyethylene and Calcium Carbonate Dedicated for Packaging", Advances in Manufacturing Science and Technology Vol. 37. No. 2, 2013.

[6] นิลุบล เผือกบัวขาว "สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเติมแต่ง", มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2550

[7] Zhang M., Fang P. F., Zhang S. P., Wang B, Wang S. J., "Study of structural characteristics of HDPE/ $CaCO_3$ nano composites by positrons", Radiation Physics & Chemistry, Vol.68. 565-567, 2003

ขนาดและรูปร่างอนุภาคพอลิคาร์บอเนตในกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน

Particles Shape and Size of Polycarbonate on Rotational Molding

ณรงค์ชัย โอเจริญ* จักราวุธ วงศ์ศักดิ์ เอกตินัย จันทร์ศรี
ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี
E-mail: o-charoen1@hotmail.com*

Narongchai O-Charoen* Jakrawut Wongsak Ektinai Junsri
Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani
E-mail: o-charoen1@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ในอุตสาหกรรมพลาสติกนิยมใช้กระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์กลวงขนาดใหญ่ เช่น ถังเก็บน้ำ ถังบำบัดน้ำเสีย ถังน้ำแข็ง เป็นต้น ซึ่งนิยมใช้พอลิเอทธิลีนในรูปแบบผงละเอียด (Powder) เป็นวัตถุดิบเป็นหลัก ในงานวิจัยนี้มุ่งที่จะทดลองหาวัสดุใหม่ๆมาทดลองขึ้นรูปเพื่อเป็นทางเลือกอื่นๆสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติในด้านอื่นๆ เช่น ความใส เป็นต้น จากผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่าวัสดุที่นำมาทดลองใช้นี้สามารถขึ้นรูปแบบหมุนได้ในบางกรณีเช่น พอลิคาร์บอเนตชนิดที่มีค่าน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่ามีแนวโน้มที่จะขึ้นรูปได้ยากกว่า ในขณะที่การนำพอลิคาร์บอเนตในรูปแบบผงสามารถขึ้นรูปได้ยากกว่าในรูปแบบเม็ดพลาสติกขนาดเล็ก (Micro-pellet) ในขณะที่การกระจายความหนาของชิ้นงานที่ได้พบว่า พอลิเอทธิลีนมีการกระจายความหนาได้ใกล้เคียงกันทั้งชิ้น ตรงกันข้ามกับที่พบในชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยพอลิคาร์บอเนต พบว่าผนังชิ้นงานในแต่ละด้านมีความหนาต่างกันมากถึง 3 เท่าตัว ซึ่งจากการศึกษานี้ทำให้พบได้ว่า ขนาดและรูปร่างของอนุภาควัสดุที่ใช้ขึ้นรูป มีผลต่อการกระจายความหนาของชิ้นงานที่ได้

คำสำคัญ การขึ้นรูปแบบหมุน พอลิคาร์บอเนต น้ำหนักโมเลกุล รูปร่างและขนาดของอนุภาค

Abstract

In the plastics industry widely used the rotational molding to make the large hollow products such water tanks, septic tanks, ice boxes, etc., which use polyethylene in a fine powder form as a raw material mainly. This research aims to use the new materials were tested up to the other alternatives for the desired product properties in other areas, such as clarity. The results of the preliminary trial found that polycarbonate can be molded with the rotational molding process in some cases. Polycarbonate with a higher molecular weight is likely to be more difficult to molding than the lower. While implementation of polycarbonate in powder form can be molded more difficult than in a small plastic pellets (Micro-pellet). The polyethylene specimen were found that the thickness distribution were similar in all pieces. In contrast to that found in specimens molded with polycarbonate, the wall pieces on each side with different thickness up to 3 times. This study found that the size and shape of the plastics particles are all affecting the thickness distribution of the specimen.

Keywords: Rotational Molding, Polycarbonate, Molecular Weight, Shape and Size of Particles

1. บทนำ

กระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน (Rotational Molding) เป็นกระบวนการขึ้นรูปที่เหมาะสำหรับผลิตชิ้นงานทีมีลักษณะ กลวง ขนาดใหญ่ และมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งยากต่อการขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปชนิดอื่นๆ โดยลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้เช่นถังน้ำขนาดใหญ่ ถังที่ใช้ในอุตสาหกรรมเรือบดเป็นต้นโดยในปัจจุบันเทคนิคการขึ้นรูปแบบหมุนใช้ขึ้นรูปพลาสติกในกลุ่มเทอร์โมพลาสติกและพลาสติกที่ถูกใช้ในอุตสาหกรรมชนิดนี้มากที่สุดก็คือพอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) [1,2] ลักษณะพิเศษของกระบวนการขึ้นรูปชนิดนี้คือในกระบวนการผลิตจะใช้การหมุนแบบ 2 แนวแกน(Biaxial) จะไม่มีการใช้ความดันที่สูง (High Pressure) และ อัตราเฉือนที่สูง (High Shear Rate) ซึ่งแตกต่าง จากกระบวนการขึ้นรูปแบบอื่นเช่นกระบวนการอัดรีดพลาสติก (Extrusion molding) และกระบวนการฉีด พลาสติก (Injection molding) ทำให้แม่พิมพ์และเครื่องจักรที่ใช้มีราคาค่อนข้างถูก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตแบบอื่นๆอีกทั้งเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตไม่ซับซ้อนสามารถจัดทำขึ้นได้ภายในประเทศ จึงมีแนวโน้มในการขึ้นรูปด้วยกระบวนการนี้มากขึ้นทุกปี

พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate; PC) [3] เป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติทนความร้อนสูง มีความแข็งแรงและต้านทานแรงเสียดสีได้ดี อีกทั้งชิ้นงานที่ได้มีความใสจึงเป็นที่นิยมนำมาใช้งานในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ทั้งในส่วนของผลิตภัณฑ์ และชิ้นส่วนกลไกของเครื่องจักรกลเป็นต้น แต่เนื่องจากพอลิคาร์บอเนตมีค่าความหนืดที่สูงจึงนิยมขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีด และกระบวนการอัดรีดเป็นส่วนใหญ่

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำพอลิคาร์บอเนตมาใช้ในการขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน โดยศึกษาน้ำหนักโมเลกุล ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ สมบัติการนำความร้อนเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนใช้ในอุตสาหกรรมการขึ้นรูปแบบหมุน เพื่อเป็นแนวทางในการใช้พอลิคาร์บอเนตเป็นวัตถุดิบหลักในกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน และเป็นการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปชนิดนี้อีกด้วย

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ในการดำเนินการนี้ได้ใช้พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate; PC) บริษัทMitsubishi Chemical ประเทศญี่ปุ่น 2 เกรด คือ PC 2000 MFI 5.4 (300°C/1.2kg) และ PC 4000 MFI 63 (300°C/1.2kg) ความหนาแน่นเท่ากันที่ 1.20 g/m^3 T_m 236 °C โดย PC 4000 มี 2 รูปแบบคือเป็นผงและเม็ดพลาสติกขนาดเล็ก (Micro-pellet) ในส่วนของ PC 2000 เป็น Micro-pellet เพียงอย่างเดียวและผงพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นตรง (Linear Low Density Polyethylene; LLDPE) เกรด M3204RUP จากบริษัท Thai Polyethylene Co., Ltd.

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

2.2.1 เครื่องขึ้นรูปแบบหมุน

เครื่องขึ้นรูปแบบหมุนชนิดกระสวยเดี่ยว (Single-Shuttle-Style)ที่ออกแบบและจัดสร้าง ขึ้นใช้งานในภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี [4] ที่นำมาใช้ขึ้นรูปตัวอย่างในงานวิจัยนี้ดังแสดงในรูปที่ 1โดยใช้แก๊สหุงต้ม (Liquid Petroleum Gas; LPG) เป็นเชื้อเพลิงแม่พิมพ์ที่ใช้จะเป็นแม่พิมพ์รูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังแสดงในรูปที่ 2โดยน้ำหนักรวมของวัสดุในแม่พิมพ์ประมาณ 632 กรัมสำหรับขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างหนา 3 มม.อุณหภูมิขึ้นรูปที่ 280°C ใช้เวลาในการให้ความร้อน ที่ 10-20 นาที โดยใช้เวลาในการหล่อเย็นประมาณ 20-30 นาที จนอุณหภูมิของแม่พิมพ์ลดลงเหลือ 50-60 °C จากนั้นทำการปลดชิ้นงาน

รูปที่ 1 แสดงเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุนชนิด Shuttle-Style ที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

รูปที่ 2 แสดงแม่พิมพ์รูปทรงกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2.2.2 Gel Permeation Chromatography (GPC)

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ [5] ดังแสดงในรูปที่ 3เป็นเครื่อง GPC รุ่น Water 2414 จากบริษัท Water ประเทศสหรัฐอเมริกาเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) ที่ใช้คือ เตตระไฮโดรฟิวแรน (THF) ที่มีแผ่นกรองเป็น Nylon Membrane ที่มีรูพรุนขนาด 0.45 ไมโครเมตรและใช้สารละลายมาตรฐานพอลิสไตรีน (PS) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล $1.2 * 10^{3}$ - $3.73*10^{6}$ กรัมต่อโมลเพื่อนำไปสร้าง Calibration Curve เพื่อใช้เป็นกราฟมาตรฐานเปรียบเทียบกับสารละลายพอลิคาร์บอเนตตัวอย่าง

รูปที่ 3 แสดงเครื่องGel permeation Chromatography (GPC)

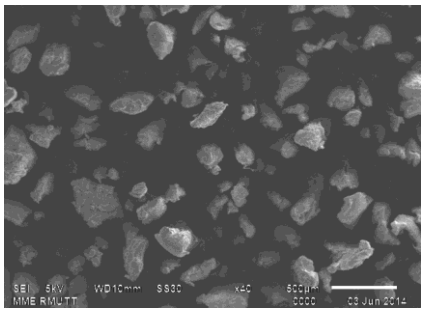
2.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(SEM: JSM-6510, JEOL, JAPAN) เป็นเครื่องวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐาน โดยมีกำลังขยายค่อนข้างสูง ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะและขนาดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูป หลักการพื้นฐานของการทำงานคือนำวัสดุที่จะทำการส่องไปเคลือบด้วยอนุภาคโลหะเพื่อให้มีสภาวะนำไฟฟ้า จากนั้นทำการส่องโดยเครื่องจะปล่อยกระแสอิเล็กตรอนลงมากระทบกับชิ้นงานจากนั้นแปลงเป็นสัญญาณภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

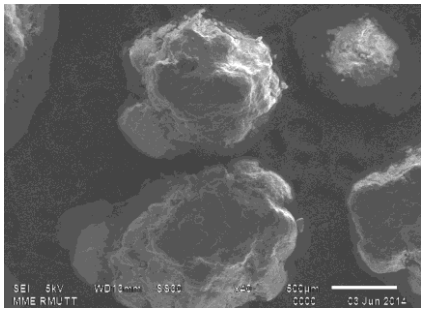
3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

3.1 สัณฐานของวัสดุก่อนการขึ้นรูป

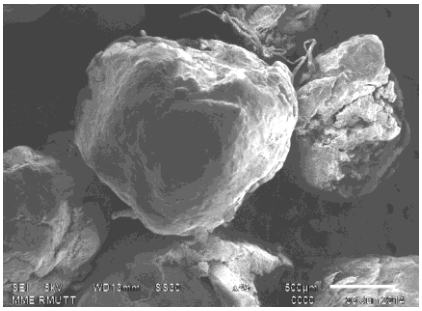
การขึ้นรูปกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยงนั้น ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกระบวนการขึ้นรูปชนิดนี้คือรูปร่างและขนาดของวัสดุที่ใช้ จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Scanning electron microscope)ที่กำลังขยาย 40 เท่า ของผงพลาสติก LLDPEที่ใช้ในอุตสาหกรรมการขึ้นรูปแบบหนุนดังแสดงในรูปที่ 4 และPC 2 เกรดได้แก่ PC2000ดังแสดงในรูปที่ 5 และPC40002 ขนาดอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 6,7พบว่าขนาดของผง LLDPE มีขนาดเล็กกว่าและมีสัณฐานที่กลมน้อยกว่าPC 2000 และ PC4000ชนิด Micro-pelletแต่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับผงPC4000 เนื่องมาจากกระบวนการลดขนาดของผงจากกระบวนการบดเม็ดพลาสติกที่ใหญ่กว่าให้มีขนาดเล็กลง



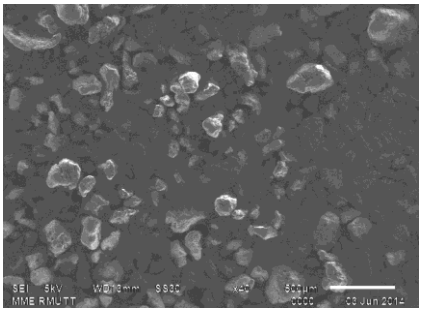
รูปที่ 4 แสดงถึงภาพถ่ายที่กำลังขยาย 40 เท่าของ ผง LLDPE



รูปที่ 5 แสดงถึงภาพถ่ายที่กำลังขยาย 40 เท่าของ PC2000 Micro-pellet



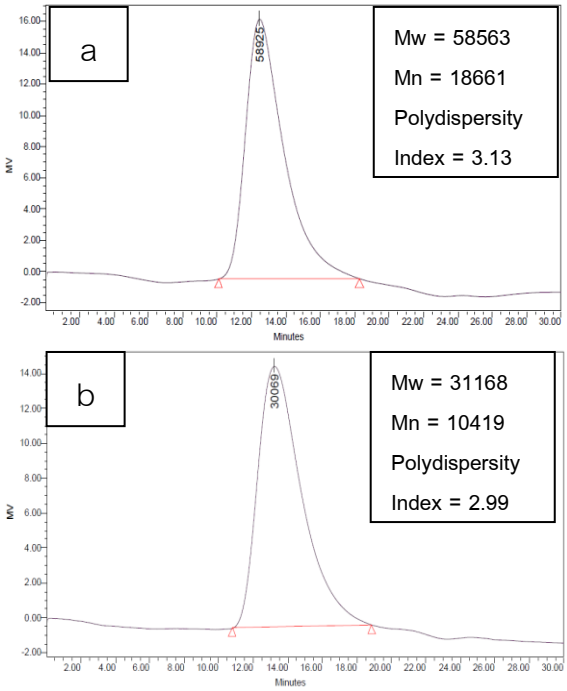
รูปที่ 6 แสดงถึงภาพถ่ายที่กำลังขยาย 40 เท่าของ PC4000 Micro-pellet



รูปที่ 7 แสดงถึงภาพถ่ายที่กำลังขยาย 40 เท่าของผง PC4000

3.2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล

จากรูปที่ 8 แสดงถึงกราฟน้ำหนักโมเลกุลของ PC2000 และPC4000 ด้วยเทคนิค Gel permeation Chromatography (GPC) โดยน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของ PC2000 นั้นมีค่ามากกว่า PC4000 อีกทั้งการกระจายตัวของขนาดสายโซ่โมเลกุล (Polydispersity Index) ของ PC2000 นั้นมีมากกว่า PC4000 ด้วยเช่นกัน จากผลที่ได้สรุปได้ว่า ในกระบวนการขึ้นรูป PC4000 สามารถขึ้นรูปได้ง่ายกว่า PC2000 เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยกว่า และการกระจายตัวของสายโซ่โมเลกุลที่ดีกว่าซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าความหนืดและการหลอมละลายของพอลิเมอร์ กล่าวคือ ที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปเท่ากัน ความหนืดของ PC2000 จะมีค่ามากกว่า PC4000 [6,7] และการหลอมละลาย PC2000 จะมีอัตราการหลอมละลายของอนุภาคไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับ PC4000 [5]



รูปที่ 8แสดงเส้นกราฟแสดงน้ำหนักโมเลกุลของ PC2000 (a) และเส้นกราฟแสดงน้ำหนักโมเลกุลของ PC4000 (b)

3.3 ผลการทดสอบการกระจายตัวของชิ้นงาน

ทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง Thickness Measurement Apparatus เพื่อวัดความหนาของชิ้นงาน โดยทำการวัดชิ้นงานแบบสุ่ม 10 ตำแหน่ง เพื่อหาความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานหลังการขึ้นรูป

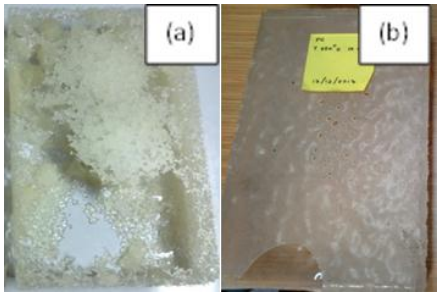
ตารางที่ 1 แสดงความหนาชิ้นงานPC2000 และ PC4000

No.	PC2000	PC4000	PC2000	PC4000
	ฝากล่องด้านบน		ฝากล่องด้านล่าง	
1	N/A	1.9	N/A	3.87
2		2.74		4.39
3		2.68		3.78
4		2.48		3.65
5		2.71		4.33
6		2.21		4.69
7		2.48		3.63
8		2.65		3.79
9		2.32		3.99
10		2.35		4.14

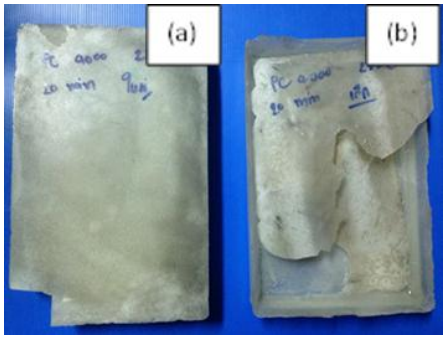
ตารางที่ 2 แสดงความหนาของชิ้นงานPC4000 และ PC4000ผง

No.	PC4000	PC4000ผง	PC4000	PC4000ผง
	ฝากล่องด้านบน		ฝากล่องด้านล่าง	
1	3.28	2.17	4.21	4.65
2	2.53	2.67	4.12	1.52
3	2.36	2.40	4.16	3.93
4	2.82	4.91	4.25	5.10
5	2.54	3.16	4.19	3.26
6	2.48	1.92	3.92	1.38
7	2.64	6.85	4.18	5.28
8	2.22	5.15	4.28	5.85
9	2.56	2.88	4.21	1.59
10	2.8	3.47	4.16	5.71

จากตารางที่1และตารางที่2 เป็นการวัดการกระจายความหนาของชิ้นงานทดสอบรูปกล่องสี่เหลี่ยม โดยวัดส่วนด้านบนและด้านล่างของกล่อง พบว่า การกระจายความของชิ้นงาน PC2000 เปรียบเทียบกับชิ้นงาน PC4000 จะเห็นได้ว่า PC2000 ไม่สามารถวัดความหนาได้เนื่องจากไม่สามารถขึ้นรูปเป็นกล่องที่สมบูรณ์ได้ ในส่วนของขนาดที่แตกต่างกันของ PC4000 พบว่า ขนาดอนุภาคที่ใหญ่สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่มีการกระจายความหนาที่ดีกว่า อันเนื่องมาจาก ลักษณะของอนุภาคที่ค่อนข้างกลมทำให้เคลื่อนที่ในแม่พิมพ์ได้ง่ายกว่า และเกิดการเทกองที่น้อยกว่าอนุภาคขนาดเล็กที่ทำให้เกิดการไหลไม่เต็มชิ้นงานดังภาพที่ 9 และ 10



รูปที่ 9 แสดงชิ้นงานที่ขึ้นรูปของMicro-pellet PC2000 (a) และ PC4000 (b)



รูปที่ 10 แสดงชิ้นงานขึ้นรูประหว่าง PC4000 Micro-pellet(a) และ PC4000 อนุภาคผง (b)

จากรูปที่ 9 และรูปที่ 10 แสดงผลจากกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนโดยใช้พอลิคาร์บอเนตเป็นวัตถุดิบหลัก พบว่า PC2000 มีความสามารถในการขึ้นรูปด้อยกว่า PC4000 เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่าส่งผลต่อความหนืดที่มากกว่าทำให้ในกระบวนการขึ้นรูปเป็นไปได้ยาก [8] และจากการใช้ขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกัน พบว่า อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าสามารถขึ้นรูปได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์กว่าอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งตรงกันข้ามกับพอลิเอทิลีน ซึ่งงานวิจัยของ Nugent, P.J. [2] ได้กล่าวไว้ว่าในกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนสำหรับพอลิเอทิลีนอนุภาคขนาดเล็กสามารถขึ้นรูปได้ดีกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ แต่ในงานวิจัยนี้ อาจกล่าวได้ว่าพอลิคาร์บอเนต ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีความหนืดมากกว่าพอลิเอทิลีนและอนุภาคที่มีขนาดเล็กสามารถหลอมละลายในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ทำให้ไปเคลือบบริเวณผิวของแม่พิมพ์ได้เร็วกว่าส่งผลให้อุณหภูมิภายในต่ำกว่าที่ควร อีกทั้งอนุภาคที่มีขนาดเล็กมักเกิดการรวมตัวกันระหว่างเคลื่อนที่ได้ง่ายทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการขึ้นรูป [2] และสัณฐานของอนุภาคขนาดเล็กนั้นมีความกลมน้อยกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ จึงส่งผลต่อการขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน และข้อสำคัญอีกประการคือ เครื่องขึ้นรูปแบบหมุนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ไม่สามารถปรับรอบการหมุนของแกนหลักต่อแกนรองได้ และเป็นเครื่องที่ใช้ขึ้นรูปสำหรับพอลิเอทิลีนเท่านั้น ทำให้ชิ้นงานที่ได้จากการใช้พอลิคาร์บอเนตเป็นวัตถุดิบหลักนั้นมีการกระจายความหนาไม่ดีเท่าที่ควร [9]

4. สรุป

ในการขึ้นรูปด้วยการระบวนแบบหมุนโดยใช้พอลิคาร์บอเนตเป็นวัตถุดิบหลัก มีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูง แต่มีข้อจำกัดในการเลือกใช้ นั้นคือ น้ำหนักโมเลกุลไม่ควรสูงมากนัก อีกทั้งรูปร่างสัณฐานต้องค่อนข้างกลม ช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการขึ้นรูปโดยใช้พอลิคาร์บอเนตเป็นวัตถุดิบหลักได้ ขนาดของอนุภาคก็เช่นกัน กล่าวคือควรใช้อนุภาคที่ไม่เล็กเกินไปจนส่งผลในการเคลื่อนที่ภายในแม่พิมพ์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.อมร ไชยสัตย์ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.ธัญบุรี สำหรับการใช้งานและการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GPC

เอกสารอ้างอิง

[1] Torres, F.G. and Aragon, C.L, Final Product Testing of Rotational Moulded Natural Fibre-reinforced polyethylene, Polymer Testing, 25: 568–577, 2006

[2] Nugent, P.J. and Crawford, R.J, Rotational Molding of Plastics, Crawford, R J. ed., John Wiley and Sons Inc.,New York, USA, 1992

[3] Chiu, FC. and Ting, MH, Thermal Properties and Phase Morphology of Melt-Mixed Poly(trimethyleneterephthalate) Polycarbonate Blends- Mixing Time Effect, Polymer Testing, 26(3): 338-350, 2007

[4] สุภัทราโพธิ์พ่วง, วิธรอาภานุวัติ, จิรวุฒิเกตุวโร ภาส, ณรงค์ชัยโอเจริญ, อดิเทพสหธรรมปกรณ์ และวิวัฒน์ ไชยนาพงษ์., การสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบเหวี่ยง, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย, 19-21 ตุลาคม 2541: 940-941

[5] รศ.ดร.จตุพรวุฒิกนกกาญจน์คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ (มจธ.), เอกสารประกอบการสอนวิชา MTT656 Polymer Characterization and Analysis,

[6] Dealy J. M. &Saucier P, Rheology in Plastic Quality Control, Hanser Publishers, Munich, 2006

[7] Cogswell F. N, Polymer Melt Rhology, George Godwin Ltd, London, 1981

[8] Alvin Spence, Investigation of the Rheological Properties of Rotomolding Resins, ANTEC 1999

[9] Jachowicz T. Investigation of the Influence of Mold Rotation Speed on the Cast Wall Thickness in the Rotational Molding Process, Advances in Science and Technology Research Journal, 79–87, 2013

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการให้ความร้อนซ้ำต่อสมบัติทางไตรบอโลยีของฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiN และ TiCN

Study on the Influence of Reheat Temperature on Tribological Properties of H-DLC, TiN and TiCN Coating Films

รัตติยา รบศึก ณัฏฐนันท์ มูลสระดู่*
ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ จ.กรุงเทพฯ 10140
E-mail: nutthanun.moo@kmutt.ac.th*

Rattiya Robsuek, Nutthanun Moolsradoo*
Department of Production Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thung Khru, Bangkok 10140,
E-mail: nutthanun.moo@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการให้ความร้อนซ้ำต่อสมบัติทางไตรบอโลยีของฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiN และ TiCN ซึ่งฟิล์มเคลือบ H-DLC ถูกเคลือบด้วยกระบวนการ Plasma based ion implantation (PBII) ส่วนฟิล์มเคลือบ TiN และ TiCN ถูกเคลือบด้วยกระบวนการ Physical Vapour Deposition (PVD) ฟิล์มเคลือบทั้งหมดถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 100˚C แล้วจึงนำไปอบซ้ำที่ 200˚C และ 300˚C ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบทดสอบด้วยเครื่อง Tribometer แบบ ball on disk ผลการทดลองพบว่าฟิล์มเคลือบ H-DLC ที่ผ่านการอบซ้ำที่ 200˚C และ 300˚C จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำเท่ากับ 0.05 และ 0.06 ตามลำดับ ส่วนฟิล์มเคลือบ TiN และ TiCN แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบซ้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดความเค้นภายในชั้นฟิล์ม และจะเสียหายที่อุณหภูมิการอบซ้ำ 300˚C

คำหลัก สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, สมบัติทางไตรบอโลยี, อุณหภูมิการให้ความร้อนซ้ำ

Abstract

This research is to study the influence of reheat temperature on the tribological properties of H-DLC, TiN and TiCN films. H-DLC film was deposited by Plasma based ion implantation (PBII) process. TiN and TiCN films were deposited by Physical Vapour Deposition (PVD) process. All films were heated at a temperature of 100˚C, and then reheated at temperature of 200˚C and 300˚C, respectively. Friction coefficient of films was measured by Tribometer with ball on disk type. The results found that H-DLC film reheated at 200˚C and 300˚C had a low friction coefficient of 0.05 and 0.06, respectively. TiN and TiCN films were shown friction coefficient increase with increasing of reheat temperature due to internal stress in the films, and failed at reheat temperature of 300˚C.

Keywords: Friction coefficient, Tribology property, Reheat temperature

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้จะพบว่า ฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ เช่น TiC, TiCN, TiAlN, CrN, DLC และอื่นๆ ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมโทรศัพท์มือถือ และอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องมือทางการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟิล์มเคลือบ DLC ซึ่งมีจุดเด่นในเรื่องความแข็งของฟิล์มมาก (High hardness) สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ (Low friction coefficient) ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอและการกัดกร่อนดี (Good wear and corrosion resistance) [1-4] อย่างไรก็ตามปัญหาของฟิมล์เคลือบชนิดต่างๆนั้น เมื่อมีการใช้งานในสภาวะที่อุณหภูมิสูง มักจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากค่าความเค้นภายในของฟิล์มเคลือบมีค่าสูงขึ้น และสมบัติของฟิล์มเคลือบเมื่อได้รับความร้อนเปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานที่มีสภาพแวดล้อมอุณภูมิสูง อาจจะเกิดความเสียหายขึ้นได้

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการให้ความร้อนซ้ำต่อสมบัติทางไตรบอโลยี ซึ่งหมายถึงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiN และ TiCN โดยที่แผ่นชิ้นงานทำจากวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) ถูกนำมาเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiN และ TiCN จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100˚C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวในเตา หลังจากนั้นนำชิ้นงานเดิมไปอบอีกครั้งที่ 200˚C และ 300˚C ตามลำดับ โดยใช้เงื่อนไขการอบเหมือนเดิม ฟิล์มเคลือบที่ได้จะถูกนำมาทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้วยเครื่องทดสอบ Tribometer แบบ Ball on disk

2. การดำเนินการทดลอง

2.1 การเตรียมชิ้นงาน

ชิ้นงานทำจากวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm ถูกเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiN และ TiCN ซึ่งฟิล์มเคลือบ H-DLC ใช้กระบวนการเคลือบแบบ Plasma based ion implantation (PBII) โดยมีความหนาฟิล์มเท่ากับ 500 nm ส่วนฟิล์มเคลือบ TiN และ TiCN ใช้กระบวนการเคลือบแบบ Physical Vapour Deposition (PVD) ด้วยวิธี Sputtering โดยมีความหนาชั้นฟิล์ม ≈3 um สมบัติทางกลของฟิล์มเคลือบแสดงในตารางที่ 1 และ atomic content ของฟิล์มเคลือบแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของฟิล์มเคลือบ [7]

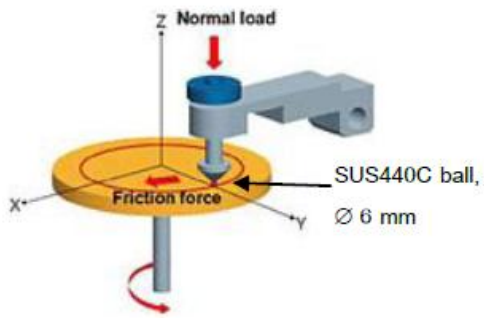
Film type	Hardness (GPa)	Roughness (Ra)
TiCN	31	0.06
TiN	29.8	0.06
H-DLC	12.2	0.04

ตารางที่ 2 ค่า atomic content percentage ของฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ

Film types	Atomic content percentage (at.%)		
	Ti	N	C
TiCN	67.79	28.30	3.91
TiN	67.60	32.40	-

2.2 การทดลองค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ฟิล์มเคลือบที่ได้ทั้งก่อนและหลังการอบซ้ำที่อุณหภูมิ 100˚C, 200˚C และ 300˚C จะถูกนำมาทำการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้วยเครื่อง Tribometer แบบ Ball on disk ในการทดลองจะใช้บอลที่ทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SUS440 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm น้ำหนักกด (Normal load) เท่ากับ 3 N ความเร็วเชิงเส้นเท่ากับ 3.14 cm/s จำนวนรอบในการหมุนทดสอบเท่ากับ 1,500 รอบ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 1

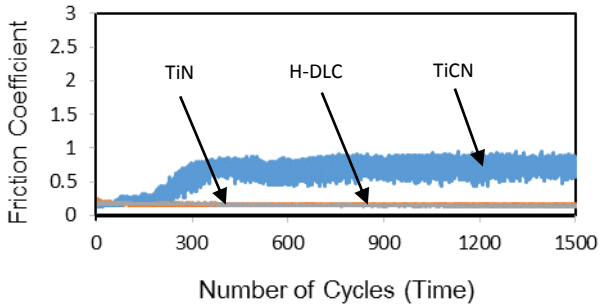


รูปที่ 1 การทดสอบ Ball on disk [8]

3. ผลการทดลอง

3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบชนิดต่าง ๆ

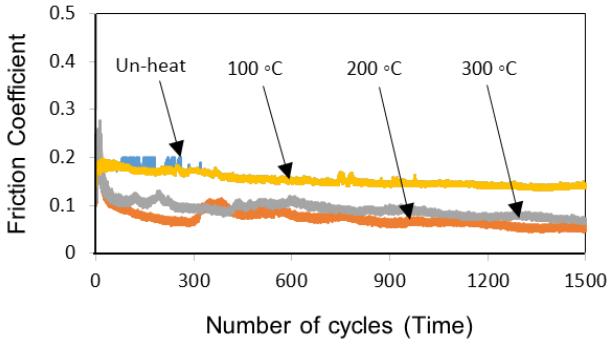
รูปที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ทดสอบภายใต้อุณหภูมิห้องของฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiN และ TiCN ที่ไม่ผ่านการอบ จากการทดลองพบว่า ฟิล์มเคลือบ H-DLC มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุดเท่ากับ 0.15 รองลงมาคือ TiN และ TiCN ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.20 และ 0.75 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มเคลือบ H-DLC มีค่าความเรียบผิวน้อยที่สุด ดังตารางที่ 1 จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้อยที่สุด ส่วนฟิล์มเคลือบ TiN ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีความแข็งสูงอีกทั้งยังมีไนโตรเจนในปริมาณที่มาก ซึ่งช่วยทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำลง ดังตารางที่ 2



รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบที่ไม่ผ่านการอบ

3.2 อิทธิพลของอุณภูมิจากการให้ความร้อนซ้ำที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC

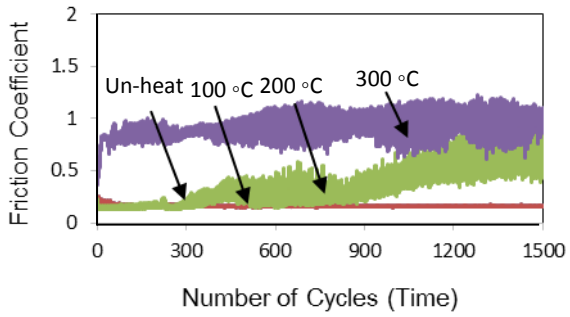
จากรูปที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100˚C แล้วอบซ้ำที่ 200˚C และ 300˚C ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100˚C และอบซ้ำที่ 200˚C และ 300˚C มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.16, 0.05 และ 0.06 ตามลำดับ ผลดังกล่าวพบว่า เมื่อฟิล์มเคลือบถูกให้ความร้อนจากการอบซ้ำที่ 200˚C จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำลง อาจจะเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน [6] บนชั้นผิวฟิล์มซึ่งออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น [9] ทำให้บนชั้นฟิล์มที่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวมีสมบัติที่ลื่นขึ้น จนส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำลง และยังคงสามารถรักษาสมบัติของฟิล์มได้ถึงอุณหภูมิอบซ้ำที่ 300˚C



รูปที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC ที่ผ่านและไม่ผ่านการอบซ้ำ

3.3 อิทธิพลของอุณภูมิจากการให้ความร้อนซ้ำที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiN

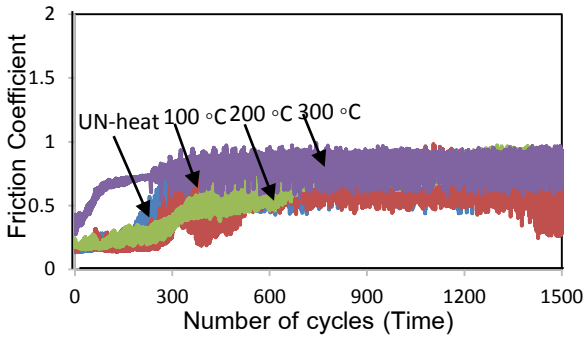
รูปที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiN ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100˚C แล้วอบซ้ำที่ 200˚C และ 300˚C ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiN ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100˚C และอบซ้ำที่ 200˚C และ 300˚C มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.2, 0.5 และ 1.0 ตามลำดับ ผลดังกล่าวสามารถระบุได้ว่า ฟิล์มเคลือบ TiN เมื่อได้รับความร้อนจากการอบซ้ำ จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มมากขึ้น อาจจะเนื่องจากการเกิดความเค้นภายในชั้นฟิล์มที่มากขึ้น [9] แต่ยังคงสามารถรักษาสมบัติของฟิล์มได้ถึงอุณหภูมิอบซ้ำที่ 200˚C และฟิล์มจะเกิดความเสียหายเมื่อผ่านการอบซ้ำอีกครั้งที่ 300˚C



รูปที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiN ที่ผ่านและไม่ผ่านการอบซ้ำ

3.4 อิทธิพลของอุณภูมิจากการให้ความร้อนซ้ำที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiCN

จากรูปที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiCN ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100˚C แล้วอบซ้ำที่ 200˚C และ 300˚C ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiCN ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 100˚C และอบซ้ำที่ 200˚C และ 300˚C มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.5, 0.55 และ 0.8 ตามลำดับ นอกจากนั้นผลดังกล่าวยังสามารถระบุได้ว่า ฟิล์มเคลือบ TiCN เมื่อได้รับความร้อนจากการอบซ้ำ จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มมากขึ้น อาจจะเนื่องจากการเกิดความเค้นภายในชั้นฟิล์มที่มากขึ้น [9] แต่ยังคงสามารถรักษาสมบัติของฟิล์มได้ถึงอุณหภูมิอบซ้ำที่ 200˚C และฟิล์มจะเกิดความเสียหายเมื่อผ่านการอบซ้ำอีกครั้งที่ 300˚C



รูปที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiCN ที่ผ่านและไม่ผ่านการอบซ้ำ

4. สรุป

จากผลการทดลองพบว่าฟิล์มเคลือบ H-DLC ที่ผ่านการอบซ้ำที่อุณหภูมิ 200˚C และ 300˚C จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำเท่ากับ 0.05 และ 0.06 ตามลำดับ และต่ำกว่าฟิล์ม H-DLC ที่ไม่ผ่านการอบ ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่ชั้นผิวฟิล์ม ส่วนฟิล์มเคลือบ TiN และ TiCN พบว่า เมื่อได้รับความร้อนจากการอบซ้ำ จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเกิดความเค้นภายในชั้นฟิล์มที่มากขึ้น และฟิล์มจะเกิดความเสียหายเมื่อผ่านการอบซ้ำอีกครั้งที่ 300˚C

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ได้สนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นทุนวิจัยหมวดเงินอุดหนุนที่ได้รับการจัดสรรจากรัฐ และขอขอบคุณภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Kwak, S.C.H., Wang, J. and Chu, P.K. (2005). Surface energy, wettability, and blood compatibility phosphorus doped diamond-like carbon films, Diamond and Related Materials, vol. 14, January 2005, pp. 78-85.

[2] Cruz, R., Rao, J., Rose, T., Lawson, K. and Nicholls, J.R. (2006). DLC-ceramic multilayers for automotive applications, Diamond and Related Materials, vol. 15, November-December 2006, pp. 2055-2060.

[3] Shirakura, A., Nakaya, M., Koga, Y., Kodama, H., Hasebe, T. and Suzuki, T. (2006). Diamond-like carbon films for PET bottles and medical applications, Thin Solid Films, vol. 494, January 2006, pp. 84-91.

[4] Dillon, R.O., Woollam, J.A. and Katkanant. (1984). Use of Raman scattering to investigate disorder and crystallite formation in as-deposited and annealed carbon films, Physical Review B, vol. 29, 1984, pp. 3482-3489.

[5] Moolsradoo, N. and Watanabe, S. (2010). Modification of tribological performance of DLC films by means of some elements addition, Diamond and Related Materials, vol. 19, January 2010, pp. 525-529.

[6] Moolsradoo, N., Abe, S. and Watanabe, S. (2011). Thermal stability and tribological performance of DLC-Si-O films, Advanced in Materials Science and Engineering, vol. 2011, Article ID 483437.

[7] Sresomroeng, B., Premanond, V., Kaewtatip, P., Khantachawana, A., Koga, N. and Watanabe, S. (2010). Anti-adhesion performance of various nitride and DLC films against high strength steel in metal forming operation, Diamond and Related Materials, vol. 19, January 2010, pp. 833-836.

[8] ญาณี กลั่นภูมิศรี, ณัชชา ขุนศิริมา, รชฏ เจริญธรรม, Shuichi Watanabe, ณัฏฐนันท์ มูลสระดู่, 2557, การศึกษาอิทธิพลของความร้อนที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ ฟิล์มเคลือคาร์บอนคล้ายเพชร (DLC) (Study on the Influence of Thermal on Friction Coefficient of Diamond-Like Carbon (DLC) Film), การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 28, 15-17 ตุลาคม, ขอนแก่น

[9] Fahnline, D.E., Master, C.B. and Salaman, N.J. (1991). Thin film stresses from nonspherical substrate bending measurement, Journal of Vacuum Science and Technology, Vol. A 9, pp. 2483-2487.

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiSiXN และ AlTiN

Study on the Influence of Heating Temperature on Friction Coefficient of H-DLC, TiSiXN and AlTiN Films

อนุลักษณ์ จันทร์ยอย ณัฏฐนันท์ มูลสระดู่*
ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ จ.กรุงเทพฯ 10140
E-mail: nutthanun.moo@kmutt.ac.th*

Anuluck Chantyoy, Nutthanun Moolsradoo*
Department of Production Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thung Khru, Bangkok 10140,
E-mail: nutthanun.moo@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของของอุณหภูมิในการอบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiSiXN และ AlTiN ชิ้นงานทังสเตนคาร์ไบด์ถูกเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ H-DLC ซึ่งเคลือบด้วยกระบวนการ Plasma Based Ion Implantation (PBII) ฟิล์มเคลือบ AlTiN และ TiSiXN ถูกเคลือบด้วยกระบวนการ Physical Vapour Deposition (PVD) ฟิล์มเคลือบที่ได้จะนำไปอบที่อุณหภูมิ 200˚C, 400˚C และ 600˚C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนผสมของฟิล์มวัดด้วย Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) ค่าสัมประสิทธ์ความเสียดทานวัดด้วยเครื่อง Tribometer แบบ Ball on disk ผลการทดลองพบว่าฟิล์มเคลือบ H-DLC ที่ไม่ผ่านการอบมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุดเท่ากับ 0.15 และสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 400˚C โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.19 สำหรับฟิล์มเคลือบ TiSiXN และ AlTiN สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 600˚C โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.41 และ 0.45 ตามลำดับ

คำหลัก สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, การเคลือบผิว, อุณหภูมิในการอบ

Abstract

This research is to study the influence of heating temperature on friction coefficient of H-DLC, TiSiXN and AlTiN. Tungsten carbide samples were coated with H-DLC film deposited by Plasma based Ion Implantation (PBII) process. AlTiN and TiSiXN films were deposited by Physical Vapour Deposition (PVD) process. All deposited films were heated at 200˚C, 400˚C and 600˚C, for 1 hour. The composition of film was measured by Energy dispersive X-ray Spectroscopy (EDS). Friction coefficient was measured by Tribometer with Ball on disk type. The results found that Un-heated H-DLC film had a lowest friction coefficient of 0.15 and showed heat resistance up to 400˚C with friction coefficient of 0.19. TiSiXN and AlTiN films showed heat resistance up to 600˚C with friction coefficient of 0.41 and 0.45, respectively.

Keywords: Friction coefficient, Coating, Heating temperature

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนต่างๆเช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนอิเลกทรอนิกส์หรือชิ้นส่วนโทรศัพท์ ล้วนแต่ต้องผ่านการเจาะด้วยดอกสว่าน ซึ่งจากการเจาะในปริมาณมากและต่อเนื่อง จะพบกว่าดอกสว่านมีการสึกหรอได้ง่าย ส่งผลให้คุณภาพของรูเจาะเสียไป จึงได้มีการนำเอาฟิล์มเคลือบมาประยุกต์ใช้กับดอกสว่านมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีสมบัติเหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟิล์มเคลือบ DLC ซึ่งมีความแข็งผิวสูง (high hardness) สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ (low friction coefficient) และความสามารถในการต้านทานการสึกหรอและการกัดกร่อนดี (good wear and corrosion resistance) [1-4] นอกจากนั้นยังมีฟิล์มเคลือบชนิดอื่นในท้องตลาดอีกเช่นกัน เช่น TiSiXN และ AlTiN อย่างไรก็ตามความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำการเจาะนั้นย่อมส่งผลต่อสมบัติของฟิล์มเคลือบ จนอาจจะเกิดการหลุดลอกของฟิล์มเคลือบบนดอกสว่านออกไปได้

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiSiXN และ AlTiN วัสดุชิ้นงานทำจากทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide) ถูกเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiSiXN และ AlTiN แล้วนำไปทำการอบที่อุณหภูมิ 200˚C, 400˚C และ 600˚C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะแวดล้อมอากาศ ส่วนผสมทางเคมีของฟิล์มเคลือบวัดด้วย Energy Dispersive X-ray (EDS) ค่าสัมประสิทธ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบที่ผ่านการอบและไม่ผ่านการอบทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ Tribometer แบบ Ball on disk ภายใต้สภาวะอากาศปกติที่อุณหภูมิห้อง

2. การดำเนินการทดลอง

2.1 การเตรียมชิ้นงาน

วัสดุชิ้นงานที่จะเคลือบทำจากวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 20 mm หนา 3 mm นำไปเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ H-DLC ด้วยกระบวนการ Plasma based-ion implantation (PBII) โดยมีความหนาฟิล์มเท่ากับ 500 nm ส่วนฟิล์มเคลือบ AlTiN และ TiSiXN เคลือบด้วยกระบวนการ Physical Vapour Deposition (PVD) ด้วยวิธี Sputtering โดยมีความหนาฟิล์มเท่ากับ 3 um ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบแล้ว จะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 200˚C, 400˚C และ 600˚C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งสมบัติของฟิล์มเคลือบก่อนทำการอบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ [5,6]

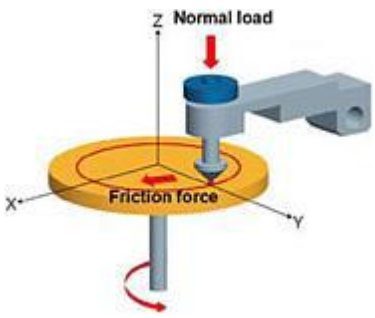
Film types	Hardness (GPa)
H-DLC	12.2
AlTiN	27
TiSiXN	36

2.2 การวิเคราะห์ส่วนผสมของธาตุ

ฟิล์มเคลือบที่ได้ทั้งก่อนอบและหลังอบจะถูกนำไปตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของฟิล์มด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray (EDS)

2.3 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ฟิล์มเคลือบที่ได้ก่อนและหลังทำการอบจะถูกนำมาทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้วยเครื่อง Tribometer แบบ Ball on disk ในการทดลองจะใช้บอลที่ทำจากวัสดุเหล็กกล้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm โดยมีน้ำหนักกด (Normal load) เท่ากับ 1 N ความเร็วเชิงเส้นเท่ากับ 3.14 cm/s จำนวนรอบในการหมุนเท่ากับ 2500 รอบภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องดังแสดงในรูปที่ 1

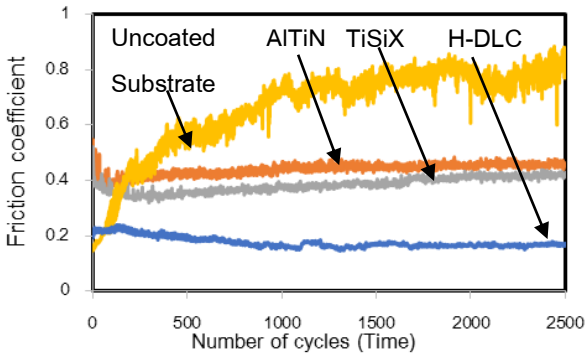


รูปที่ 1 การทดสอบ Ball on disk [7]

3. ผลการทดลอง

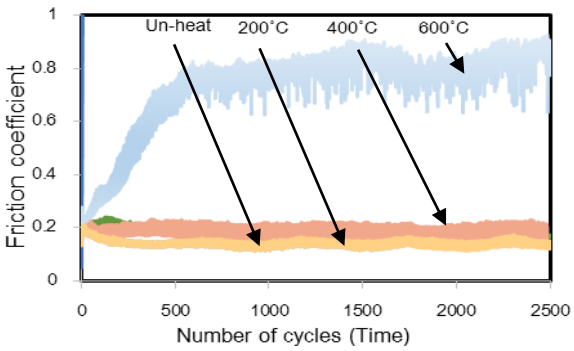
3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC, AlTiN และ TiSiXN ที่ไม่ผ่านการอบ

รูปที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบที่ไม่ผ่านการอบ พบว่าฟิล์มเคลือบ H-DLC, TiSiXN และ AlTiN มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.15, 0.38 และ 0.43 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามฟิล์มเคลือบ H-DLC ซึ่งความแข็งของฟิล์มน้อยที่สุดดังตารางที่ 1 แต่แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์มเคลือบ H-DLC มีค่าความเรียบผิวฟิล์มน้อยที่สุดเท่ากับ 0.04 um ในขณะที่ฟิล์มเคลือบ AlTiN มีค่าความเรียบผิวเท่ากับ 0.09 um [8] ส่วนฟิล์มเคลือบ AlTiN ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากมีค่าความแข็งน้อยกว่า TiSiXN



รูปที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ ที่ไม่ผ่านการอบ

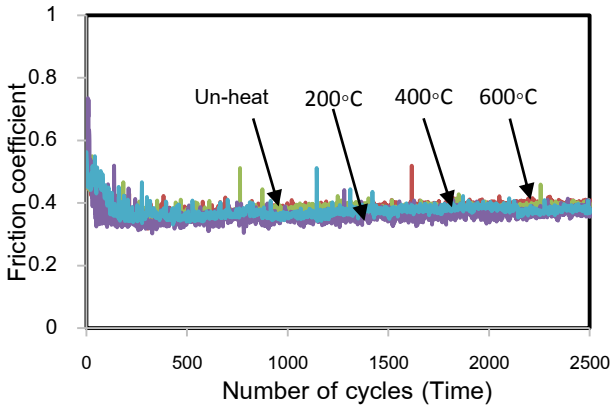
3.2 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC



รูปที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC ที่ผ่านและไม่ผ่านการอบ

จากรูปที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ H-DLC ที่ไม่ผ่านการอบ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.15 และเมื่อผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200°C, 400°C และ 600°C ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.15, 0.19 และ 0.80 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟิล์มเคลือบ H-DLC สามารถทนอุณหภูมิในการอบได้ถึง 400°C เนื่องจากฟิล์มเคลือบดังกล่าวยังไม่เกิดความเสียหายและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่อนข้างใกล้เคียงกับก่อนอบ ส่วนฟิล์มเคลือบที่ถูกอบที่ 600°C จะเกิดการเสียหายหลุดลอกขณะทำการทดสอบ ทั้งนี้คาดว่าอุณหภูมิในการอบอาจทำให้โครงสร้างของฟิล์มเคลือบเปลี่ยนไป และเกิดความเค้นสูงภายในเนื้อฟิล์มเคลือบดังกล่าว [9,10] ส่งผลให้ง่ายต่อการหลุดลอกของฟิล์ม

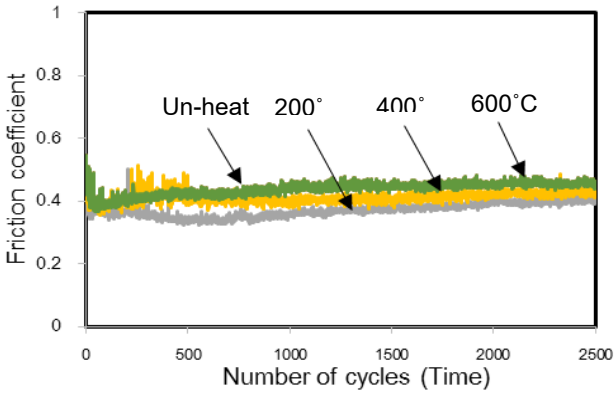
3.3 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiSiXN



รูปที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiSiXN ที่ผ่านและไม่ผ่านการอบ

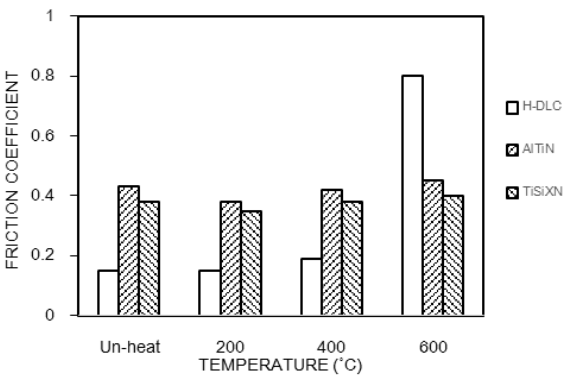
จากรูปที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ TiSiXN ที่ไม่ผ่านการอบ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานก่อนอบเท่ากับ 0.38 และเมื่อผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200°C, 400°C และ 600°C ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.37, 0.38 และ 0.41 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟิล์มเคลือบ TiSiXN สามารถทนอุณหภูมิในการอบได้ถึง 600°C เนื่องจากฟิล์มเคลือบดังกล่าวยังไม่เกิดความเสียหายและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่อนข้างใกล้เคียงกับก่อนอบ

3.4 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ AlTiN



รูปที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ AlTiN ที่ผ่านและไม่ผ่านการอบ

จากรูปที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ AlTiN ที่ไม่ผ่านการอบ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานก่อนอบเท่ากับ 0.43 และเมื่อผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200˚C, 400˚C และ 600˚C ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.36, 0.42 และ 0.45 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟิล์มเคลือบ AlTiN สามารถทนอุณหภูมิในการอบได้ถึง 600˚C เนื่องจากฟิล์มเคลือบดังกล่าวยังไม่เกิดความเสียหายและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่อนข้างใกล้เคียงกับก่อนไม่ผ่านการอบ



รูปที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆที่ผ่านและไม่ผ่านการอบ

จากรูปที่ 6 จะสังเกตุได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ AlTiN และ TiSiXN ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 200˚C จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าก่อนอบเล็กน้อย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วควรจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าก่อนทำการอบ เนื่องจากอิทธิพลของค่าความเค้นภายในฟิล์ม [9,10] และความแข็งของฟิล์มที่น้อยลงเมื่อได้รับความร้อน อย่างไรก็ตาม กรณีที่มีค่าต่ำกว่าก่อนอบนั้น ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าว ฟิล์มเคลือบบางส่วนได้เกิดการหลุดออกมา และยังคงอยู่ระหว่างหน้าสัมผัสของบอลและฟิล์ม จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำลงเล็กน้อย นอกจากนั้น เนื่องจากเป็นการอบภายใต้สภาวะอากาศภายในเตา จะเห็นได้ว่ามีการรวมตัวของอ๊อกซิเจนบนชั้นผิวฟิล์มดังตารางที่ 2 ซึ่งก่อให้เกิดชั้นฟิล์มบาง Si-O บนผิวของฟิล์ม TiSiXN ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำลง

ตารางที่ 2 ค่า Atomic content percentage ของฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ

Film types	Atomic content percentage				
	Ti	Al	N	O	Si
AlTiN Unheated	41.09	23.48	35.43	-	-
AlTiN 600˚C	38.55	22.28	32.95	5.49	-
TiSiXN Unheated	44.61	4.61	34.52	-	2.50
TiSiXN 600˚C	41.82	4.97	27.15	20.39	2.52

4. สรุป

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบ ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบทุกชนิด โดยที่ฟิล์มเคลือบ H-DLC มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานก่อนอบต่ำที่สุดเท่ากับ 0.15 และสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 400˚C โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.19 ในขณะที่ฟิล์มเคลือบ TiSiXN และ AlTiN สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 600˚C โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.41

และ 0.45 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจะพบว่าเมื่อฟิล์มเคลือบถูกอบที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการที่ฟิล์มเคลือบได้รับความร้อน จะส่งผลให้โครงสร้างของฟิล์มเคลือบเปลี่ยนไป นอกจากนั้นความเค้นภายในเนื้อฟิล์มเคลือบที่สูงขึ้นเมื่อได้รับความร้อน ย่อมส่งผลให้เกิดการหลุดลอกของฟิล์มได้ง่าย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ได้สนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นทุนวิจัยหมวดเงินอุดหนุนที่ได้รับการจัดสรรจากรัฐ และขอขอบคุณภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Kwak, S.C.H., Wang, J. and Chu, P.K. (2005). Surface energy, wettability, and blood compatibility phosphorus doped diamond-like carbon films, Diamond and Related Materials, vol. 14, January 2005, pp. 78-85.

[2] Cruz, R., Rao, J., Rose, T., Lawson, K. and Nicholls, J.R. (2006). DLC-ceramic multilayers for automotive applications, Diamond and Related Materials, vol. 15, November-December 2006, pp. 2055-2060.

[3] Shirakura, A., Nakaya, M., Koga, Y., Kodama, H., Hasebe, T. and Suzuki, T. (2006). Diamond-like carbon films for PET bottles and medical applications, Thin Solid Films, vol. 494, January 2006, pp. 84-91.

[4] Dillon, R.O., Woollam, J.A. and Katkanant. (1984). Use of Raman scattering to investigate disorder and crystallite formation in as-deposited and annealed carbon films, Physical Review B, vol. 29, 1984, pp. 3482-3489.

[5] Moolsradoo, N. and Watanabe, S. (2010). Modification of tribological performance of DLC films by means of some elements addition, Diamond and Related Materials, vol. 19, January 2010, pp. 525-529.

[6] Moolsradoo, N., Abe, S. and Watanabe, S. (2011). Thermal stability and tribological performance of DLC-Si-O films, Advanced in Materials Science and Engineering, vol. 2011, Article ID 483437.

[7] J&L Tech Co., Ltd. (2014). Thin Film Analysis and Measurement Equipment, Korea URL:http://jnltech.en.ec21.com/Tribometer-4635452_4635464.html, access on 1/07/2014.

[8] Sresomroeng, B., Premanond, V., Kaewtatip, P., Khantachawana, A., Koga, N. and Watanabe, S. (2010). Anti-adhesion performance of various nitride and DLC films against high strength steel in metal forming operation, Diamond and Related Materials, vol. 19, January 2010, pp. 833-836.

[9] Fahnline, D.E., Fahnline, C.B., Salamon, N.J., Thin film stresses from nonspherical substrate bending measurements, Journal of Vacuum Science and Technology, vol. A9, pp. 2483-2487.

[10] Stoney, G., (1909). The Tension of Metallic Films Deposited by Electrolysis. Proc. R. Soc. London, Ser. A, 82, pp.172-175.

การศึกษาอิทธิพลของธาตุซิลิคอนที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบคาร์บอนคล้ายเพชรที่ถูกอบภายใต้อุณหภูมิสูง

Study on the Influence of Silicon Element on Friction Coefficient of Diamond-Like Carbon Film Annealed Under High Temperature

นรินทร์ สุนทรพันธ์ กฤตพนธ์ จันทร์เชิดชู วราวุธ ฤทธิแพทย์ ณัฏฐนันท์ มูลสระดู่*
ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ จ.กรุงเทพฯ 10140
E-mail: nutthanun.moo@kmutt.ac.th*

Narin Sunthornpan, Krittapon Chancherdchu, Warawut Rittiphat, Nutthanun Moolsradoo*
Department of Production Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thung Khru, Bangkok 10140,
E-mail: nutthanun.moo@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของธาตุซิลิคอนที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบคาร์บอนคล้ายเพชรที่ถูกอบภายใต้อุณหภูมิสูง โดยที่ชิ้นงาน Silicon wafer ถูกนำไปเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ Si-DLC ซึ่งถูกเตรียมจากการผสมระหว่างก๊าซ C_2H_2:TMS ที่อัตราส่วน 2:1, 1:2 และ 1:4 และเคลือบด้วยเทคนิค Plasma Based Ion Implantation (PBII) ฟิล์มที่ถูกเคลือบจะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 400°C, 450°C, 500°C, 550°C และ 600°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงปล่อยให้เย็นตัวในเตา ส่วนผสมของฟิล์มจะถูกวัดด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDS) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มถูกวัดด้วย Ball on disk friction tester โครงสร้างของฟิล์มถูกวัดด้วย Raman Spectroscopy จากผลการทดลองพบว่า ฟิล์มเคลือบ Si-DLC ที่อัตราส่วน 2:1 (30.97at.%Si) มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุดเท่ากับ 0.05 และสามารถทนอุณหภูมิการอบได้ถึง 600°C โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ 0.02

คำหลัก สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, ฟิล์มเคลือบคาร์บอนคล้ายเพชร, การเคลือบผิว

Abstract

This research is to study the influence of silicon element on friction coefficient of Diamond-Like Carbon film annealed under high temperature. Silicon wafer samples were coated with Si-DLC film prepared from gaseous mixtures of C_2H_2:TMS at 2:1, 1:2 and 1:4 ratios, and deposited by Plasma Based Ion Implantation (PBII) technique. The deposited films were annealed at 400°C, 450°C, 500°C, 550°C and 600°C for 1 hour and then quenching in furnace. The relative atomic content of films was measured by Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS). The friction coefficient of films was measured by Ball on disk friction tester. The structure of films was measured by Raman Spectroscopy. The results found that Si-DLC film at flow rate ratio of 2:1 (30.97at.%Si) has a lowest friction coefficient of 0.05, and shows heat resistance up to 600°C with a friction coefficient of 0.02.

Keywords: Friction coefficient, Diamond-Like Carbon, Surface coating

1. บทนำ

ฟิล์มเคลือบคาร์บอนคล้ายเพชร (DLC) ได้มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น magnetic storage, automobile, tooling, biomedical และอื่นๆ เนื่องจากฟิล์มเคลือบ DLC มีค่าความแข็งสูง (high hardness) ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอและการกัดกร่อนดี (good wear and corrosion resistance) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ (low friction coefficient) [1-2] ซึ่งฟิล์มเคลือบ DLC ดังกล่าวสามารถปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆให้ดียิ่งขึ้นได้ โดยการเพิ่มธาตุต่าง เช่น Fluorine, silicon, oxygen, hydrogen และอื่นๆ [3-5]

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาอิทธิพลของธาตุซิลิคอนที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบคาร์บอนคล้ายเพชร (เรียกว่า Si-DLC) ที่ถูกอบภายใต้อุณหภูมิสูง ซึ่งฟิล์มเคลือบ Si-DLC ถูกเตรียมจากการผสมกันระหว่าง C_2H_2:TMS ที่อัตราส่วน 2:1, 1:2 และ 1:4 จากนั้นจึงนำฟิล์มที่ได้ไปทำการอบ (annealing) ภายในเตาภายใต้สภาวะอากาศ ที่อุณหภูมิ 400°C, 450°C, 500°C, 550°C และ 600°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงปล่อยให้เย็นตัวในเตา จากนั้นทำการตรวจสอบส่วนผสมของฟิล์มเคลือบทั้งหมดด้วยเครื่อง EDS (Energy Dispersive X-ray Spectrometer) ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้วยเครื่อง Tribometer แบบ Ball on disk และตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มเคลือบด้วยเครื่อง Raman Spectroscopy นอกจากนั้น ฟิล์มเคลือบคาร์บอนคล้ายเพชร ที่ไม่ได้มีการเพิ่มธาตุซิลิคอน (เรียกว่า DLC) จะถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบ

2. การดำเนินการทดลอง

2.1 การเตรียมชิ้นงาน

ชิ้นงาน Silicon wafer หนา 0.7 mm ถูกเคลือบด้วยฟิล์มเคลือบ DLC ซึ่งถูกปลูกจาก C_2H_2 ส่วนฟิล์มเคลือบ Si-DLC ซึ่งมีการเติมธาตุซิลิคอนลงไปนั้น ถูกปลูกจากการผสมระหว่าง C_2H_2:TMS ที่อัตราส่วน 2:1, 1:2 และ 1:4 ซึ่งฟิล์ม DLC และ Si-DLC ถูกเคลือบด้วยกระบวนการ Plasma based ion implantation (PBII) โดยมีความหนาของฟิล์มเท่ากับ 500 nm เงื่อนไขของการเคลือบฟิล์มที่อัตราส่วนต่างๆแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มเคลือบชนิดต่างๆ

Film type	Gaseous mixture	C_2H_2:TMS ratio
DLC	C_2H_2	-
Si-DLC	C_2H_2+TMS	2:1
Si-DLC	C_2H_2+TMS	1:2
Si-DLC	C_2H_2+TMS	1:4

* TMS คือ Tetramethylsilane ($C_4H_{12}Si$)

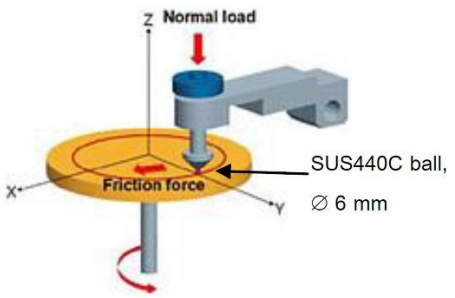
ฟิล์มเคลือบ DLC และ Si-DLC ที่ได้จะถูกนำไปอบภายในเตาภายใต้สภาวะอากาศ ที่อุณหภูมิ 400°C, 450°C, 500°C, 550°C และ 600°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงปล่อยให้เย็นตัวภายในเตา

2.2 การวัดส่วนผสมของธาตุบนผิวฟิล์มเคลือบ

ฟิล์มเคลือบ DLC และ Si-DLC ที่ผ่านการอบและไม่ผ่านการอบจะถูกวัดส่วนผสมด้วยเครื่อง EDS (Energy Dispersive X-ray Spectrometer)

2.3 การวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ฟิล์มเคลือบ DLC และ Si-DLC ที่ผ่านการอบและไม่ผ่านการอบทั้งหมดจะถูกวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้วยเครื่อง Tribometer แบบ Ball on disk โดยบอลทำจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 440 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm น้ำหนักกด (Normal load) เท่ากับ 3 N ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 3.14 cm/s ทำการทดสอบภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การทดสอบ Ball on disk [5]

2.4 การวัดโครงสร้างของฟิล์มเคลือบ

ฟิล์มเคลือบ DLC และ Si-DLC ที่ผ่านการอบและไม่ผ่านการอบจะถูกวัดโครงสร้างของฟิล์มด้วยเครื่อง Raman Spectroscopy

3. ผลการทดลอง

3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบที่ส่งผลต่อส่วนผสมของธาตุบนผิวของฟิล์มเคลือบ DLC และ Si-DLC

ผลการวัดส่วนผสมของธาตุบนผิวของฟิล์มเคลือบที่ไม่ผ่านการอบ (Unheat) แสดงดังรูปที่ 2-5 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของ silicon เป็น 2:1, 1:2 และ 1:4 จะส่งผลให้ปริมาณ atomic content ของซิลิคอนเพิ่มขึ้นจาก 30.07at.%Si เป็น 30.97at.%Si, 37.82at.%Si และ 39.14at.%Si ตามลำดับ

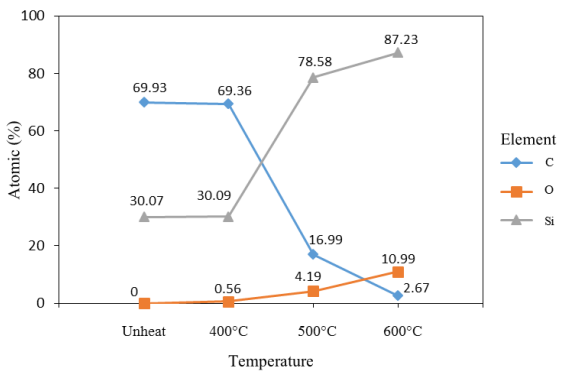
รูปที่ 2 พบว่าฟิล์มเคลือบ DLC ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 400°C มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ carbon, silicon และ oxygen ไปจากก่อนอบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนหลังจากถูกอบที่อุณหภูมิมากกว่า 400°C โดยที่ปริมาณของ carbon จะลดลงในขณะที่ silicon และ oxygen จะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

ฟิล์มเคลือบ Si-DLC ที่อัตราส่วน 2:1 และ 1:2 ดังรูปที่ 3-4 นั้น พบว่าหลังจากผ่านการอบที่อุณหภูมิ 500°C ปริมาณของ carbon, silicon และ oxygen เปลี่ยนแปลงไปจากก่อนอบเล็กน้อย และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนหลังจากถูกอบที่อุณหภูมิมากกว่า 500°C โดยที่ปริมาณของ carbon จะลดลงในขณะที่ silicon และ oxygen จะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

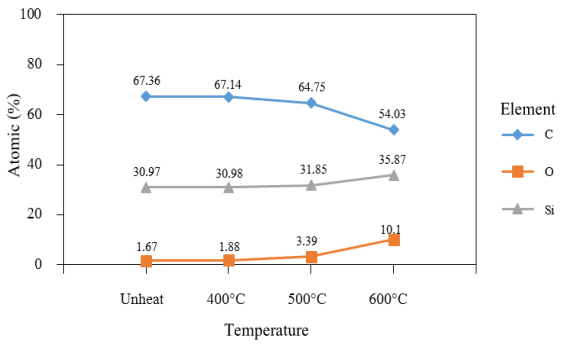
ฟิล์มเคลือบ Si-DLC ที่อัตราส่วน 1:4 ดังรูปที่ 5 นั้น พบว่าหลังจากผ่านการอบที่อุณหภูมิ 600°C ปริมาณของ carbon, silicon และ oxygen เปลี่ยนแปลงไปจากก่อนอบเล็กน้อยเท่านั้น

จากผลการทดลองข้างต้น สรุปได้ว่าฟิล์มเคลือบ DLC เมื่อมีการเติมธาตุ silicon มากขึ้น จะทำให้มีความสามารถในการต้านการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมเมื่อได้รับความร้อนได้เพิ่มขึ้น โดยจะพบว่าที่อัตราส่วน 2:1 และ 1:2 (30.97at.%Si และ 37.82at.%Si) ทนได้ถึง 500°C ในขณะที่อัตราส่วน 1:4 (39.14at.%Si) ทนได้มากกว่า 600°C

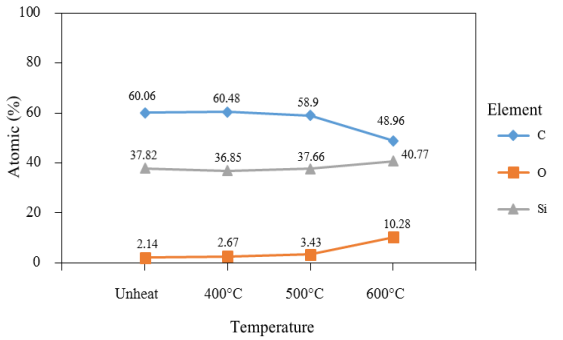
การที่ปริมาณ carbon ลดลง ในขณะที่ silicon กับ oxygen เพิ่มขึ้นเมื่อถูกอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นนั้น เนื่องจาก oxygen ที่มีภายในเตาอบได้ทำปฏิกิริยากับฟิล์มเคลือบ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง (structural transition) โดยเข้าไปแทนที่ carbon จนส่งผลให้ปริมาณ carbon น้อยลง และปริมาณ silicon กับ oxygen เพิ่มขึ้น [5]



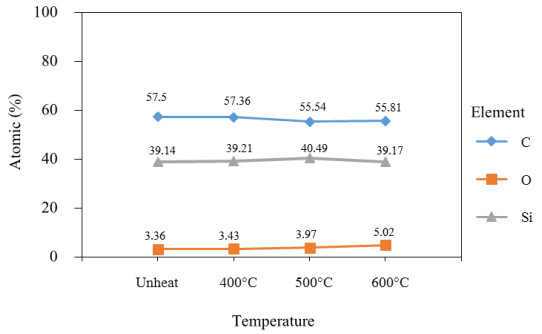
รูปที่ 2 ส่วนผสมของธาตุบนผิวของฟิล์มเคลือบ DLC



รูปที่ 3 ส่วนผสมของธาตุบนผิวของฟิล์มเคลือบ Si-DLC ที่อัตราส่วน 2:1



รูปที่ 4 ส่วนผสมของธาตุบนผิวของฟิล์มเคลือบ Si-DLC ที่อัตราส่วน 1:2



รูปที่ 5 ส่วนผสมของธาตุบนผิวของฟิล์มเคลือบ Si-DLC ที่อัตราส่วน 1:4

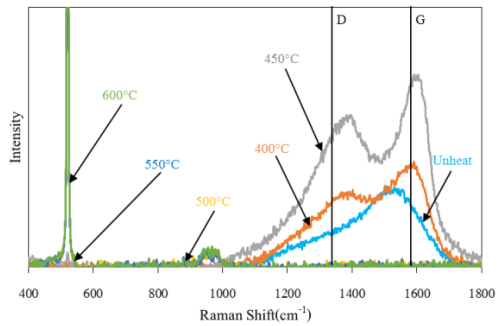
3.2 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบที่ส่งผลต่อโครงสร้างของฟิล์มเคลือบ DLC และ Si-DLC

โครงสร้างฟิล์มเคลือบคาร์บอนคล้ายเพชรโดยทั่วไปนั้น จะมีค่า Raman shift ของ G-peak และ D-peak ในช่วง 1,350 cm^{-1}-1,580 cm^{-1} กรณีที่ตำแหน่งของ G-peak มีค่าเพิ่มสูงมากขึ้นจะมีแนวโน้มเปลี่ยนเป็น graphite มากขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อตำแหน่งของ D-peak มีค่าน้อยลง จะมีแนวโน้มเปลี่ยนเป็น diamond มากขึ้น [3]

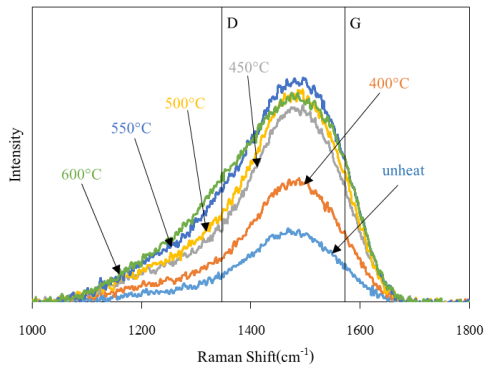
ผลการตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มเคลือบ DLC ดังรูปที่ 6 พบว่าหลังการอบที่อุณภูมิ 400°C ตำแหน่ง Raman shift ของ G-peak เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนอบ และโครงสร้างจะเสียหายที่อุณหภูมิการอบมากกว่า 450°C (G-peak อยู่นอกช่วง 1,580 cm^{-1})

ฟิล์มเคลือบ Si-DLC ที่อัตราส่วน 2:1 ดังรูปที่ 7 พบว่า เมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิสูงขึ้น ตำแหน่ง Raman shift ของ G-peak มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา Graphitization [3] ส่วนฟิล์มเคลือบ Si-DLC ที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:4 ดังรูปที่ 8 มีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่อัตราส่วน 2:1 แต่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบสูงเกิน 500°C

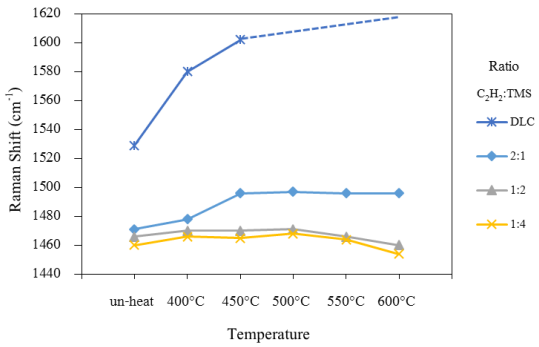
โดยทั่วไป โครงสร้างของฟิล์มเคลือบกลุ่ม DLC เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง Graphitization นั่นคือ ตำแหน่ง Raman shift ของ G-peak มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ฟิล์มดังกล่าวมีแนวโน้มเปลี่ยนเป็น graphite มากขึ้น ซึ่งอาจจะส่งผลให้ความแข็งของผิวฟิล์มมีค่าน้อยลง



รูปที่ 6 Raman shift ของฟิล์มเคลือบ DLC



รูปที่ 7 Raman shift ของฟิล์มเคลือบ Si-DLC ที่อัตราส่วน 2:1

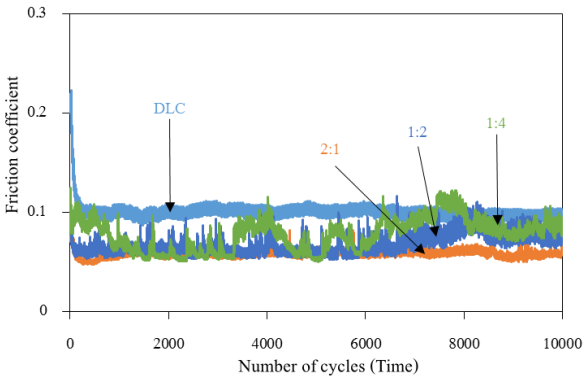


รูปที่ 8 Raman shift ของ G-peak ของฟิล์มเคลือบทุกอัตราส่วน

3.3 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบที่ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ DLC และ Si-DLC

รูปที่ 9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ DLC และ Si-DLC ที่ไม่ผ่านการอบ พบว่า ฟิล์มเคลือบ Si-DLC ที่อัตราส่วน 2:1 มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุดเท่ากับ 0.05 รองลงมาคือที่อัตราส่วน 1:2, 1:4 และ DLC ตามลำดับ ทั้งนี้อาจจะเนื่องจาก

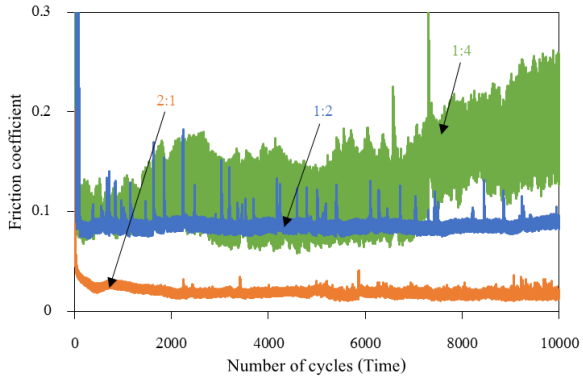
อิทธิพลของปริมาณธาตุ silicon ที่มีในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานค่อนข้างต่ำ



รูปที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ DLC และ Si-DLC ที่ไม่ผ่านการอบ

รูปที่ 10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ Si-DLC ที่ผ่านการอบที่ 600°C พบว่ามีแนวโน้มเหมือนกันกับฟิล์ม Si-DLC ที่ไม่ผ่านการอบ นั่นคือ ที่อัตราส่วน 2:1 ซึ่งมีปริมาณ silicon เท่ากับ 30.97at.%Si มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุด รองลงมาคือ ที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:4 (37.82at.%Si และ 39.14at.%Si) ตามลำดับ และยังพบว่าฟิล์มเคลือบที่ผ่านการอบ มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบ โดยจะพบว่าที่อัตราส่วน 2:1 มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุดเท่ากับ 0.02 ทั้งนี้เนื่องจาก oxygen ภายในเตาอบได้ทำปฏิกิริยากับฟิล์มเคลือบเกิดเป็นชั้น Silicon oxide ป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างผิวคู่สัมผัส จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ผ่านการอบ [4]

นอกจากนั้นพบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนจาก 2:1, 1:2, 1:4 จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงขึ้นเหมือนกันกับฟิล์มเคลือบที่ไม่ผ่านการอบ นั่นคือ เมื่อปริมาณของ silicon เป็นส่วนผสมมากขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงขึ้น ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากการเพิ่มธาตุ silicon เข้าไปในฟิล์มที่มากขึ้น จะทำให้ปริมาณ carbon ลดน้อยลง จึงน่าจะทำให้ฟิล์มเคลือบมีความแข็งน้อยลง จนส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่าสูงขึ้น ส่วนฟิล์มเคลือบ DLC นั้นพบว่าเกิดความเสียหายของฟิล์มไปแล้วโดยดูได้จากค่า Relative atomic content และค่า Raman spectra ดังรูปที่ 2 และ 6



รูปที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของฟิล์มเคลือบ DLC และ Si-DLC ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 600°C

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ธาตุ silicon มีอิทธิพลต่อสมบัติทางไตรบอโลยีของฟิล์มเคลือบ DLC ที่ถูกอบภายใต้อุณหภูมิสูงและไม่ถูกอบ โดยจะพบว่าฟิล์มเคลือบ DLC ที่ไม่ได้เติมธาตุ silicon จะเกิดการเปลี่ยนแปลงและสูญเสียโครงสร้างที่อุณหภูมิการอบมากกว่า 400°C และเมื่อเติมธาตุ silicon ที่อัตราส่วน 2:1 โดยมีปริมาณ silicon เท่ากับ 30.97at.%Si จะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุดเท่ากับ 0.05 และสามารถทนอุณหภูมิการอบได้ถึง 600°C โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุดเท่ากับ 0.02

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ได้สนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นทุนวิจัยหมวดเงินอุดหนุนที่ได้รับการจัดสรรจากรัฐ และขอขอบคุณภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Shirakura, A., Nakaya, M., Koga, Y., Kodama, H., Hasebe, T. and Suzuki, T. (2006). Diamond-like carbon films for PET bottles and medical applications, Thin Solid Films, vol. 494, January 2006, pp. 84-91.

[2] Dillon, R.O., Woollam, J.A. and Katkanant. (1984). Use of Raman scattering to investigate disorder and crystallite formation in as-deposited and annealed carbon films, Physical Review B, vol. 29, 1984, pp. 3482-3489.

[3] Moolsradoo, N. and Watanabe, S. (2010). Modification of tribological performance of DLC films by means of some elements addition, Diamond and Related Materials, vol. 19, January 2010, pp. 525-529.

[4] Moolsradoo, N., Abe, S. and Watanabe, S. (2011). Thermal stability and tribological performance of DLC-Si-O films, Advanced in Materials Science and Engineering, vol. 2011, Article ID 483437.

[5] ญาณี กลั่นภูมิศรี, ณัชชา ขุนศิริมา, รชฏ เจริญธรรม, Shuichi Watanabe, ณัฏฐนันท์ มูลสระดู่, 2557, การศึกษาอิทธิพลของความร้อนที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ ฟิล์มเคลือคาร์บอนคล้ายเพชร (DLC) (Study on the Influence of Thermal on Friction Coefficient of Diamond-Like Carbon (DLC) Film), การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 28, 15-17 ตุลาคม, ขอนแก่น

แผ่นอัดเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเส้นใยเพ็กสำหรับงานตกแต่งภายใน

High Density Polyethylene/Vietnamosasa Pusilla Fiber composite plate for decoration application

สุปราณี เสือดาว[1] , สุมนมาลย์ เนียมหลาง* [1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 02 549 3403
E-mail: sumonman.n@en.rmutt.ac.th*

Supranee Suadaow[1], Sumonman Naimlang[1*]
[1]Department of Material and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110
E-mail: sumonman.n@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

หญ้าเพ็ก (Vietnamosasa Pusilla, VP) เป็นไม้พุ่มคล้ายพืชตระกูลไผ่ มีการขยายพันธ์ได้เองและรวดเร็วมาก เป็นวัชพืชที่กำจัดยากเนื่องจากมีความเหนียวสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะนำวัชพืชที่เป็นปัญหาของเกษตรกรมาก่อให้เกิดมูลมาค่าเพิ่มโดยการนำมาพัฒนาเป็นแผ่นอัดเชิงประกอบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานตกแต่งภายในนั้น ใบหญ้าเพ็กนั้นจะถูกตัดให้เล็กหลังจากนั้นนำไปแช่ให้สารละลายกรดไฮโดรคลอลิก ความเข้มข้น 5% w/w เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5%w/w เป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างเส้นใยที่สกัดได้ด้วยน้ำกลั่นจนมีค่า pH 7 อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 $^{\circ}$C 24 ชั่วโมง แล้วนำเส้นใยที่ได้ไปบดและร่อนแยกขนาด นำเส้นใยที่ได้ไปผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) และขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดเบ้าแบบไฮดรอลิคที่ความดัน 250 MPa อุณหภูมิ 190 °C เพื่อศึกษาผลของปริมาณเส้นใยเพ็กต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นอัดที่ขึ้นรูปได้ แผ่นอัดเชิงประกอบจึงถูกขึ้นรูปที่ปริมาณของเส้นใยเพ็กต่าง ๆ คือ 0, 1, 5 และ 10 %w/w แผ่นอัดที่ขึ้นรูปได้แสดงนั้นมีลักษณะลวดลายคล้ายแผ่นหินอ่อน มีสีเขียวสวยงาม และเมื่อนำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าสมบัติการทนต่อแรงดึงนั้นสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยเพ็กลงไป เนื่องจากเส้นใยเพ็กนั้นเข้าไปเสริมแรงให้กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

คำหลัก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง; เส้นใยเพ็ก; เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง; เครื่องอัดเบ้าแบบไฮดรอลิค

Abstract

The vietnamosasa pusilla, VP is one of a herbicide plant which has high growth rate and thoughness thus it is the major problem for farmer. To increase the useless VP benefit, high density polyethylene/ vietnamosasa pusilla (HDPE/VP) composite was prepared for decoration applications in this research work. VP leaf was first immersed in 5%w/w of HCL solution for 24 hr and then was immersed in 5%w/w of NaOH solution for 10 hr. The extract fiber was dried in oven at 60 ^{o}C for 24 hr. Dry extracted VP fiber was grinded and sieved. VP fiber mix with HDPE by two roll mill. The HDPE/VP composite was fabricated by compression molding at 250 MPa and 190 ^{o}C. To investigate the effect of amount of VP on mechanical and physical properties of composite, HDPE/VP composites at various amount of VP (0, 1, 5 and 10 %w/w) were prepared. The green marble like HDPE/VP composite was produced for decoration application. The tensile strength increase with increasing amount of VP fiber because VP fiber act as filler in composite system.

Keywords: high density polyethylene; vietnamosasa pusilla fiber; two roll mill; compression molding

1. บทนำ

หญ้าเพ็ก มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ (Vietnamosasa Pusilla, VP) มีลักษณะทั่วไปเป็นไม้พุ่มคล้ายพืชตระกูลไผ่ ส่วนมากจะพบหญ้าเพ็กขึ้นในที่ดอนและในพื้นที่ร่มภายในป่าโปร่ง หญ้าเพ็กมีสมบัติทนต่อสภาพแห้งแล้งและการถูกไฟเผา มีการขยายพันธ์ได้เองและรวดเร็วมากแต่หญ้าชนิดนี้จะเหี่ยวเฉาได้ง่าย[1] ในงานเกษตรกรรมหญ้าเพ็กเป็นวัชพืชที่ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีมากและไม่สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้เนื่องจากมีความแข็งและความเหนียวสูงเกิน ดังนั้นจึงเป็นพืชที่เหมาะสมกับการนำมาพัฒนาเพิ่มมูลค่าโดยการนำวัชพืชที่เป็นศัตรูสำหรับเกษตรกรรม โดยนำมาเพิ่มมูลค่าเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงที่สุด

ในปัจจุบันพลาสติกเข้ามีบทบาทมากในชีวิตประจำวัน เนื่องจากคุณสมบัติของพลาสติกนั้นดีกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ เช่น เหล็ก ไม้ ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นของพลาสติกทำให้มีการต้องการเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีการแข่งขันในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และทำการเพิ่มคุณสมบัติต่างๆในพลาสติกเพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับงานมากที่สุด[1] โดยวิธีที่เราเลือกใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติกให้ดีขึ้นคือ การนำพลาสติกผสมกับเส้นใยธรรมชาติ เช่น กากมะพร้าว, ฟางข้าว , กากกาแฟ หรือเส้นใยกล้วย [2-4] ในพลาสติก พบว่าเมื่อเติมสมบัติเชิงกลดีขึ้นกว่าในระบบที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งเข้าไป อีกทั้งยังใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติลงไปในพลาสติกเพิ่มมูลค่าทางด้านสิ่งแวดล้อมในผลิตภัณฑ์อีกด้วย

ในงานวิจัยนี้สนใจที่จะเพิ่มประสิทธิภาพกับพลาสติก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE)ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีปริมาณการใช้มากในประเทศไทย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปสำหรับนำไปพัฒนาเป็นวัสดุตกแต่งภายใน และศึกษาผลของสัดส่วนของเส้นใยเพ็กต่อสมบัติเชิงกล โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของสัดส่วนเส้นใยเพ็กในวัสดุเชิงประกอบต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้ที่มีสมบัติเชิงกลสูงและนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่งภายใน

2. วิธีการดำเนินการทดลอง

2.1 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยเพ็ก

ในการเตรียมเส้นใยเพ็กจะต้องทำการริดใบเพ็กออกจากกิ่งต้นเพ็ก จากนั้นทำการตัดเป็นชิ้นเล็กๆจากนัดนำใบที่ตัดแล้วนำมาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอลิกความเข้มข้น 5% w/w เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปแช่ในสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 5%w/w เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างเส้นใยเพ็กจนมีค่า pH เป็น 7 แล้วนำเข้าตู้อบเพื่อทำการไล่ความชื้นออกจากเส้นใยที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเส้นใยที่ได้จากการอบไปบดและร่อนแยกขนาด

(a.) ใบเพ็ก (b.) เส้นใยเพ็ก

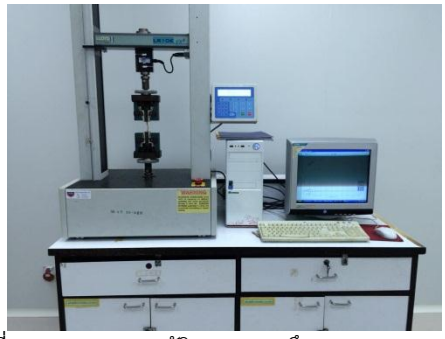
รูปที่ 1 (a.) ใบเพ็ก (b.) เส้นใยเพ็ก

2.2 ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูป

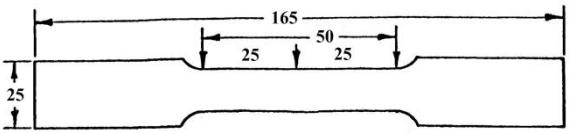
นำเม็ดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมกับเส้นใยเพ็กตามปริมาณดังนี้ คือ 0, 1 , 5 และ 10 %w/w (HDPE, HDPE:VP 1%, HDPE:VP 5%, และ HDPE:VP 10% ตามลำดับ) ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) หลังจากที่ผสมจนเข้ากันแล้วนำไปขึ้นเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดเบ้าแบบไฮดรอลิค (Compression molding) ที่ความดัน 250 MPa อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 7 นาที แล้วทำการลดอุณหภูมิของชิ้นด้วยการหล่อเย็น หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลหลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

2.3 ทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile strength)

ทดสอบหาความสามรถในการทนแรงดึงของพลาสติกด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 ในการทดสอบชิ้นงานที่ใช้ในจะต้องมีขนาด ของชิ้นงานตามรูปที่ 2



รูปที่ 1 การทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile strength)



รูปที่ 2 ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการทนแรงดึง

2.4 ทดสอบความแข็ง (Hardness)

ทดสอบความสามารถของแผ่นอัดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมเส้นใยเพ็ก ด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 Shore D

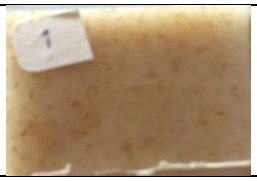
รูปที่ 3 การทดสอบความแข็ง (Hardness)

3. ผลและวิเคราะห์ผล

3.1 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบระหว่างพลาสติกรีไซเคิลและเส้นใยเพ็กสำหรับใช้ในงานตกแต่งภายใน ดังนั้น หลังจากทำการขึ้นรูปแล้ววัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงชนิดรีไซเคิลและเส้นใยเพ็ก ที่ปริมาณเส้นใยเพ็กต่างๆ ถูกศึกษาลักษณะทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

วัสดุเชิงประกอบ	ลักษณะทางกายภาพ	รูปภาพ
HDPE	แข็งเหนียว สีขาว	
HDPE:VP 1%	แข็งเหนียว ยังสีขาวปนเป็นลายคล้ายหินอ่อน	
HDPE:VP 5%	แข็ง สีน้ำตาล	
HDPE:VP 10%	แข็ง สีน้ำตาลเข้มมาก	

3.2 ผลของปริมาณเส้นใยเพ็กต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ

เพื่อศึกษาผลของปริมาณเส้นใยเพ็กต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงรีไซเคิลและเส้นใยเพ็ก วัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้ถูกนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ การทดสอบการทนแรงดึง และทดสอบความแข็ง และมอดูลัสของยังก์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ

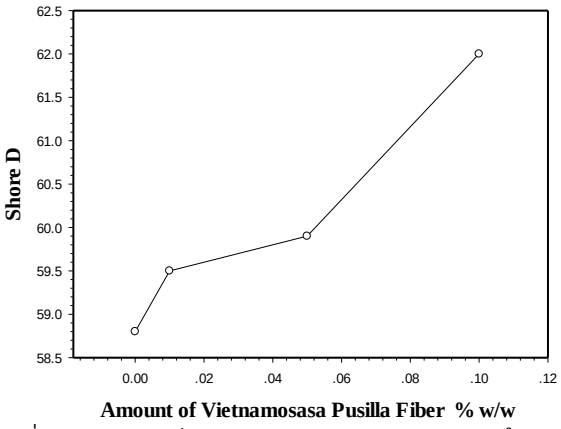
วัสดุ	ความทนแรงดึง (MPa)	มอดูลัสของยัง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
HDPE	27.46	1361.95±121	10.6±1.51
HDPE:VP 1%	26.68	1361.86±120	10.2±1.08
HDPE:VP 5%	27.76	1491.62±106	7.9±1.03
HDPE:VP 10%	26.69	1656.34±114	8.0±1.02

3.2.1 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงรีไซเคิลผสมเส้นใยเพ็ก

ผลจากการทดลองจากที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมเส้นใยเพ็ก ในการทดลองได้ทำการเติมเส้นใยเพ็กเพ็กในการเสริมแรงของวัสดุ คือ 0, 1 , 5 และ 10 %w/w ผลจากการทดลองพบว่าค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของวัสดุที่ผสมเส้นใยเพ็ก 0, 1 , 5 และ 10 %w/w มีค่า 1361, 1361, 1491 และ1656 MPa ตามลำดับ ซึ่งจากค่าที่ได้สามารถบอกได้ว่าเมื่อเติมเส้นใยเพ็กในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงของวัสดุที่ผสมเส้นใยเพ็กมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at break) มีค่าลดลง เนื่องจากเนื่องจากการกระจายตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ เนื้อหลักของวัสดุคอมมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากปริมาณเส้นใยเพ็กเป็นตัวที่มีผลทำให้การผสมกันระหว่างเส้นใยเพ็กกับพลาสติกถ้ามีปริมาณเส้นใยมากเกินไปจะทำให้เกิดการขัดขวางของเส้นใยในเมทริกซ์พอลิเมอร์ จึงทำให้วัสดุคอมโพสิทที่ทำการผสมเส้นใยเพ็กสามารถยืดตัวได้น้อยจึงทำให้เกิดการแตกหักได้ง่าย

3.2.2. ผลทดสอบความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงรีไซเคิลผสมเส้นใยเพ็ก

ผลการทดสอบความสามารถของแผ่นอัดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมเส้นใยเพ็กที่มีปริมาณ 0, 1 , 5 และ 10 %w/w ตามลำดับ ที่แสดงในรูปที่ 4 จะเห็นว่าความความแข็งแรงของวัสดุที่ผสมเส้นใยเพ็กในปริมาณที่มากขึ้นทำให้ความค่าแข็งแรงที่ชิ้นงานเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและปริมาณเส้นใยเพ็ก

4. บทสรุป

จากการศึกษาพบว่าแผ่นอัดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมเส้นใยเพ็ก ที่ได้ทำการเตรียมในปริมาณ 0, 1 , 5 และ 10 %w/w ซึ่งในปริมาณที่เติมเส้นใยเพ็ก 10 %w/w พบว่าผลจากการทดสอบความแรงดึงของวัสดุคอมโพสิทที่เตรียมได้มีค่ามอดูลัสของยังเพิ่มมากขึ้นและผลของค่าการทดสอบความแข็งก็มีการเพิ่มขึ้นด้วย แต่เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด มีค่าลดลงอาจเป็นเพราะเมื่อเติมปริมาณเส้นใยลงไปมีการขัดขวางของเมตทริกซ์เส้นใยในพอลิเมอร์จึงทำให้วัสดุคอมโพสิทยืดตัวได้น้อย ดังนั้นแผ่นอัดจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเส้นใยเพ็กจึงเป็นวัสดุอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับวัสดุตกแต่งภายใน เช่น โต๊ะ เก้าอี้ เฟอร์นิเจอร์ในบ้าน ที่สีสันสวยงาม มีสมบัติเชิงกลที่ดี โดยจะต้องทำการศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียในสภาวะชื้น และ ประกอบเป็นชิ้นงานตกแต่งภายในเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มวิจัย Advanced Materials Research Group ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมงคลธัญบุรีและกลุ่มชาวบ้านอำเภอห้วยเม็ก จังหวัดกาฬสินธุ์สำหรับแหล่งที่มาของหญ้าเพ็ก

เอกสารอ้างอิง

[1] ไผ่เพ็ก, (2011) (ออนไลน์) สืบค้นจาก: http://www.ifarm.in.th/index.php?option=com_mtree&task=viewlink&link_id=115&Itemid=162. 9 มกราคม 2558.

[2] อดิศักดิ์ ขานทอง, ฤทธิชัย จันทร์คาเรือง, อรรถกฤต ครุฑปักษี, (2554) การเตรียมและสมบัติเชิงกลบางประการของแผ่นอัดจากวัสดุรีไซเคิล (ขวดน้ำดื่ม HDPE กับกากกาแฟ) การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจาปี 2554, วันที่ 27-29 มกราคม 2554 ณ ห้องมงกุฎเพชร โรงแรมโมฆะ อาเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

[3] A. Alavudeen [a], N. Rajini [a], S. Karthikeyan [a], M. Thiruchitrambalam [b], N. Venkateshwaren [c], Mechanical properties of banana/kenaf fiber-reinforced hybrid polyester composites: Effect of woven fabric and random orientation. Materials & Design Volume 66, Part A, , Pages 246–2575, (February 2015)

[4] มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์* , ทิพย์รัตน์ พิฑูรทัศน์ , พนิดา พุทธชาดสมบัติ และ รัชมาลิณี สุเริงฤทธิ์ , (2553) , สมบัติของแผ่นใยไม้อัดจากใยมะพร้าวกับโฟมพอลิสไตรีนผสมสารหน่วงไฟ, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 15 (2553) 2 : 57-66

[5] T. Kunanopparat, P. Menut *, M.-H. Morel, S. Guilbert , (2008) , Reinforcement of plasticized wheat gluten with natural fibers: From mechanical improvement to deplasticizing effect. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing Volume 39, Issue 12, Pages 1787–1792 (December 2008)

[6] Benjamin Bax, Jo¨rg Mu¨ssig *, (2008) , Impact and tensile properties of PLA/Cordenka and PLA/flax composites. Composites Science and Technology Volume 68, Issues 7–8, Pages 1601–1607 (June 2008)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาของเปลือกหอยแครงและแคลเซียมคาร์บอเนตในการชุบแข็งมีดตัดอ้อยด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บูไรซิง

The Efficient Comparison of Blood Cockle Shell and Calcium Carbonate as Energizer on Hardening of Sugarcane Cutting Knife in the Pack Carburizing Process

ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ[1] สุภัทรวิทย์ ศรีนอก[1*] สมบัติ น้อยมิ่ง[1] รสรินทร์ ดือขุนทด[2]
วรรณา หอมจบก[2] ชัยวัฒน์ พีรทัตสุวรรณ[2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ [2]สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 E-mail: supattaravit_sri@hotmail.com *

Narongsak Thammachot[1], Supattaravit Srinork[1*], Sombat Noiming[1], Rossarin Duekuntod[2],
Wanna Homjabok[2], Chaiyawat Peeratatsuwan[2]
[1]Department of Industrial Engineering, [2]Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Maung, Nakornratchasima 30000
E-mail: supattaravit_sri@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาระหว่างเปลือกหอยแครงและแคลเซียมคาร์บอเนตในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่ผิวของมีดตัดอ้อยที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บูไรซิง โดยทำการเปรียบเทียบกับมีดตัดอ้อยที่ตีและชุบแข็งจากเหล็กใบเลื่อยที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด การทดลองดำเนินการโดยนำเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 มาตีขึ้นรูปเป็นมีดตัดอ้อยแล้วนำไปทำการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวด้วยสารแพ็กคาร์บูไรซิงที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตและเปลือกหอยแครงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผสม 20% โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 900°C ด้วยเวลา 30, 60 และ 90 นาที ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศแล้วนำไปชุบแข็งโดยใช้อุณหภูมิออสเทไนไทซิง 780°C เวลาอบแช่ 15 นาที จุ่มชุบในน้ำเย็นและทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 180°C ใช้เวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นทดสอบมาตรวจสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์สและโครงสร้างจุลภาค จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า $CaCO_3$ ให้ค่าความแข็งสูงกว่าเปลือกหอยแครง แต่ที่เวลา 90 นาที เปลือกหอยแครงให้ความแข็งที่ใกล้เคียงกับเหล็กใบเลื่อยมากกว่า $CaCO_3$ แสดงว่าเปลือกหอยแครงสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการชุบแข็งมีดทางการเกษตรได้

คำหลัก เปลือกหอยแครง แคลเซียมคาร์บอเนต มีดตัดอ้อย เหล็กใบเลื่อย แพ็กคาร์บูไรซิง

Abstract

The purpose of this research is to compare the efficiency of two energizers, blood cockle shell and calcium carbonate in increasing carbon content on surface of a harden sugarcane cutting knife by pack carburizing process. The mechanical properties of the knife were compared to those the sugarcane cutting knife that made from saw blade steel. The experiment was conducted by forging the knife made of low carbon steel grade AISI 1010. The knife was pack carburized by using blood cockle shell and

calcium carbonate as the energizers with the percentage of 20% by weight. The carburizing temperature of 900°C with the carburizing time of 30, 60 and 90 minutes was used in the experiment and the knife was cooled by air. The knife was then austenitized at 780°C for 15 minutes and quenched into water. Also, the specimens from the knife were tempered at temperature of 180°C for 1 hour. The specimens were carried out by Micro-Vickers hardness testing and the microstructure inspection. The results of the experiment showed that the calcium carbonate had hardness values more than blood cockle shell but the knife with the blood cockle shell as the energizer were found higher than those of the calcium carbonate and nearly the hardness of saw blade steel. This means that the blood cockle shell can be use as the energizer for hardening the agricultural knives in pack carburizing process.

Keywords: blood cockle shell, calcium carbonate, sugarcane cutting knife, saw blade steel, pack carburizing

1. บทนำ

มีดตัดอ้อยเป็นงานหัตถกรรมพื้นบ้านของชุมชนที่ตีขึ้นมาใช้สืบทอดมาแต่บรรพบุรุษ โดยทั่วไปแล้วเหล็กที่นิยมใช้ในการตีมีดชนิดนี้คือเหล็กใบเลื่อยซึ่งจะให้ความแข็งภายหลังการชุบแข็งที่ดี ในอุตสาหกรรมการผลิตงานทางด้านโลหะ การชุบแข็งที่ผิวด้วยกรรมวิธี Pack Carburizing เป็นหนึ่งในวิธีที่นิยม เพราะไม่ยุ่งยากและใช้ต้นทุนต่ำ วิธีการนี้สามารถทำให้เหล็กมีความแข็งเพิ่มขึ้นโดยอาศัยการเพิ่มคาร์บอนที่ผิว โดยใช้ถ่านผสมกับสารเร่งปฏิกิริยาแล้วนำไปทำการชุบแข็งต่อไป สารเร่งปฏิกิริยาที่ช่วยให้เกิดการแตกตัวของคาร์บอนเป็นสารประกอบคาร์บอเนต ได้แก่ $BaCO_3$, Na_2CO_3, และ $CaCO_3$ สารประกอบคาร์บอเนตเหล่านี้เมื่อถูกความร้อนจะเกิดการแตกตัวได้แก๊ส CO_2 ดังปฏิกิริยา

$$BaCO_3 \rightarrow BaO + CO_2$$

$$Na_2CO_3 \rightarrow Na_2O + CO_2$$

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

จากนั้น CO_2 จะรวมตัวกับคาร์บอนในถ่านทำให้ได้แก๊ส CO แก๊ส CO ที่เกิดขึ้นสัมผัสกับผิวเหล็กแล้วแตกตัวให้อะตอมของคาร์บอนและแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจะเกิดอย่างต่อเนื่อง [1-3] ดังนี้

$$3Fe + 2CO \rightarrow Fe_3C + CO_2$$

หรือ $3Fe + 2CO \rightarrow 3Fe + C_{(\text{ละลายในออสเทไนต์})} + CO_2$

การแพร่ของคาร์บอนเข้าไปในเนื้อเหล็กขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เวลา ชนิดและปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวที่ผ่านมา [4-6] เป็นการผสมสารแพ็กคาร์บูไรซิงระหว่างถ่านไม้และถ่านโค้กกับสารเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ เข้าด้วยกันในปริมาณที่ต่างกัน ทำให้ไม่ทราบประสิทธิภาพของสารเร่งแต่ละชนิดว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และคณะ [7-8] ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของสารแคลเซียมคาร์บอเนตและหินปูนในการชุบแข็งมีดตัดอ้อย สรุปผลออกมาว่าสารแคลเซียมคาร์บอเนตมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาที่ดีกว่าหินปูนและหินปูนสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในกรรมวิธีแพ็กคาร์บูไรซิงซึ่งใช้ในการชุบแข็งมีดได้ เพราะหินปูนมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบโดยมีปริมาณที่แตกต่างกันตามชนิดของหินปูน หากเป็นหินปูน (Limestone) จะมีปริมาณ $CaCO_3$ อยู่ระหว่าง 80-98% แต่ถ้าเป็นหินปูนชนิด Dolomitic limestone จะมีปริมาณ $CaCO_3$ ระหว่าง 42.8-57% [9] สำหรับเปลือกหอยแครงนั้นมีสารประกอบคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ชนิด Aragonite ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกชนิดหนึ่งของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความหนาแน่นและความแข็งที่สูงเป็นส่วนผสมหลัก[10] จึงมีความน่าจะเป็นที่จะนำมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเร่งปฏิกิริยาของแคลเซี่ยมคาร์บอเนตกับเปลือกหอยแครงในการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวของมีดตัดอ้อยที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บูไรซิง เปรียบเทียบกับมีดตัดอ้อยที่ตีและชุบแข็งจากเหล็กใบเลื่อยที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เพื่อเป็นแนวทางในการชุบแข็งมีดให้มีความแข็งเป็นทางเลือกในการผลิตมีดทางการเกษตรได้อีกทางหนึ่ง

2. วิธีการทดลอง

2.1 ข้อกำหนดการทดลอง

- สารเพิ่มคาร์บอนใช้ถ่านไม้ยูคาลิปตัส
- สารเร่งปฏิกิริยาใช้ $CaCO_3$ และเปลือกหอยแครงบดละเอียดผสม 20% โดยน้ำหนัก
- ชิ้นทดสอบใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010
- อุณหภูมิการเพิ่มคาร์บอนที่ผิว 900°C ± 10°C
- เวลาการเพิ่มคาร์บอนที่ผิว 30, 60 และ 90 นาที (เตาอบยี่ห้อ MODUTEMP รุ่น WW51A)
- ชุบแข็งโดยใช้อุณหภูมิออสเทไนไทซิง 780°C เวลา 15 นาที ทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 1 ชั่วโมง
- ทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (เครื่องทดสอบยี่ห้อ Matsuzawa รุ่น MHT2)
- ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคภาพขาวดำด้วยกล้องจุลทรรศน์ (ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BX60M)

2.2 การดำเนินการทดลอง

ชิ้นทดสอบที่ศึกษาเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1010 นำมาทำการตีขึ้นรูปมีดตัดอ้อยที่มีรูปร่างและขนาดตามที่จำหน่ายในท้องตลาดและตัดมาเพียงส่วนที่เป็นตัวมีดที่ใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 1

การเตรียมสารแพ็กคาร์บูไรซิงดำเนินการโดยนำถ่านไม้ยูคาลิปตัสมาทำการบดและร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2 มิลลิเมตร จากนั้นผสมกับผงสารเร่งปฏิกิริยา $CaCO_3$ และเปลือกหอยแครงบดละเอียด โดยใช้ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา 20% โดยน้ำหนัก

รูปที่ 1 ลักษณะมีดตัดอ้อยช่วงตัวมีด

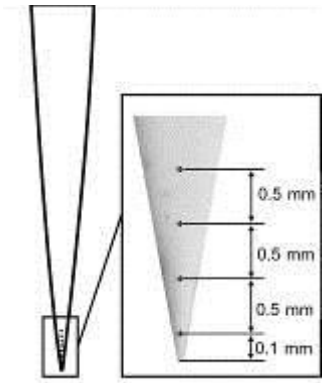
การแพ็กคาร์บูไรซิงทำโดยนำชิ้นทดสอบบรรจุลงในกล่องเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) แล้วเติมสารแพ็กคาร์บูไรซิง(ถ่านไม้ยูคาลิปตัสผสมกับเร่งปฏิกิริยา)ที่เตรียมไว้จนเต็มกล่องเหล็ก โดยความหนาของสารแพ็กคาร์บูไรซิงจากผิวกล่องด้านในถึงชิ้นทดสอบจะต้องไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว จากนั้นกดอัดสารเร่งให้แน่น ปิดฝากล่องแล้วใช้ดินเหนียวเคลือบด้านบนฝาปิด ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) แล้วนำเข้าเตาอบให้ความร้อนและเวลาตามที่กำหนด จากนั้นนำกล่องเหล็กบรรจุชิ้นทดสอบออกจากเตาแล้วนำชิ้นทดสอบออกจากกล่องเหล็กเพื่อให้เย็นตัวในอากาศ

การชุบแข็งและทำเทมเปอร์ทำโดยนำชิ้นทดสอบที่ผ่านการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวมาทำการชุบแข็งโดยใช้อุณหภูมิออสเทไนไทซิง 780°C เวลาอบแช่ 15 นาที จุ่มชุบในน้ำเย็นและทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 180°C เวลาอบแช่ 1 ชั่วโมง เมื่อได้เวลาแล้วนำชิ้นทดสอบออกจากเตาแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

(ก) (ข)

รูปที่ 2 (ก) บรรจุชิ้นทดสอบในกล่องเหล็ก (ข) เคลือบดินเหนียวที่ฝากล่อง

การทดสอบความแข็งกำหนดบริเวณในการวัด ดังแสดงในรูปที่ 3 คือ ตำแหน่งแรกของการวัดห่างจากคมของชิ้นงานเข้ามา 0.1 มิลลิเมตร ตำแหน่งถัดมาแต่ละตำแหน่งห่างกัน 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

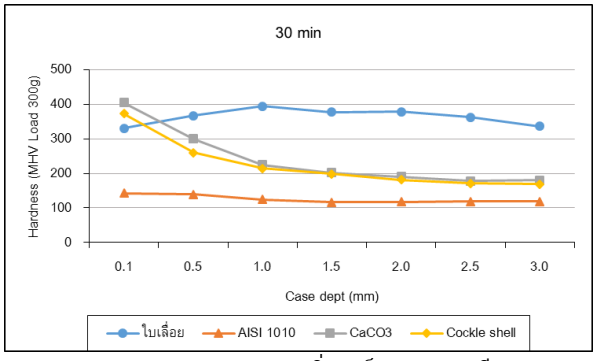


รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดความแข็ง

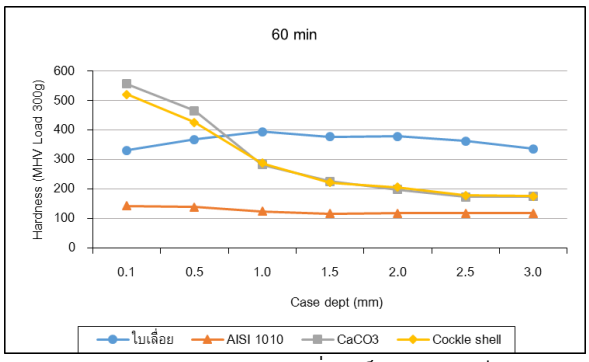
3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 การเปรียบเทียบความแข็ง

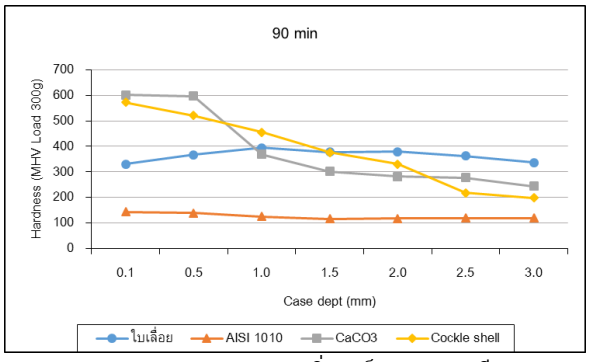
การเปรียบเทียบความแข็งของคมมีดที่เพิ่มคาร์บอนโดยใช้ถ่านผสมกับ $CaCO_3$ และเปลือกหอยแครงแสดงในรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งของเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 30 นาทีนั้นยังต่ำกว่ามีดที่ทำจากเหล็กใบเลื่อยที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดอย่างมาก เมื่อเวลาเพิ่มเป็น 60 นาที ค่าความแข็งที่บริเวณคมมีดจะสูงขึ้นทั้งนี้เนื่องจากบริเวณคมมีดมีความบางปริมาณคาร์บอนจึงเข้าได้มาก อย่างไรก็ตามค่าความแข็งสูงนั้นเข้าไปได้เพียง 0.5 มิลลิเมตรเท่านั้น สำหรับที่เวลา 90 นาที ค่าความแข็งที่บริเวณคมมีดจะสูงขึ้นอย่างมากและความแข็งของสารเร่งที่เป็นเปลือกหอยแครงนั้นมีค่าสูงกว่าสาร $CaCO_3$ โดยค่าความแข็งที่สูงกว่าเหล็กใบเลื่อยอยู่ที่ 1.5 มิลลิเมตร จากข้อมูลเบื้องต้นจะเห็นได้ว่าเวลามีผลต่อการเพิ่มคาร์บอนโดยเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งที่สูงขึ้น



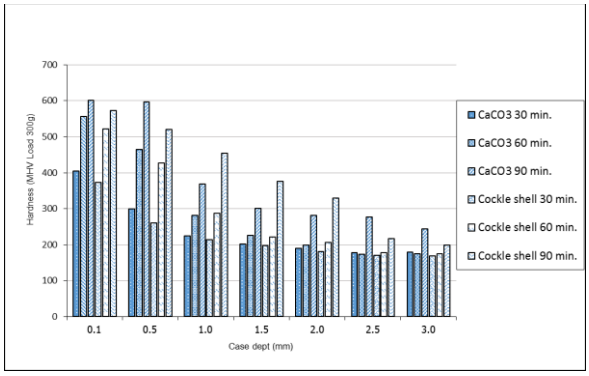
(ก) เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 30 นาที



(ข) เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 60 นาที



(ค) เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 90 นาที

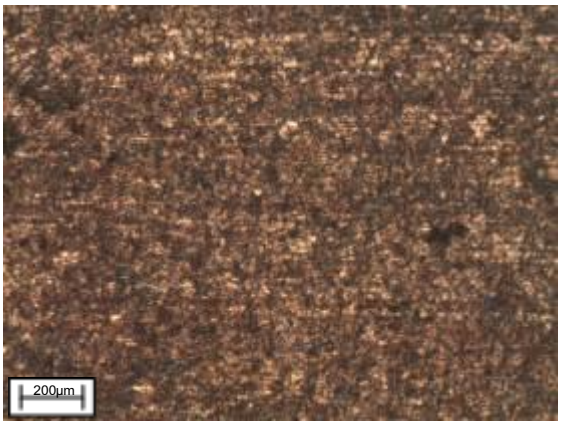


(ง) เปรียบเทียบค่าความแข็งของสารเร่งแต่ละชนิด

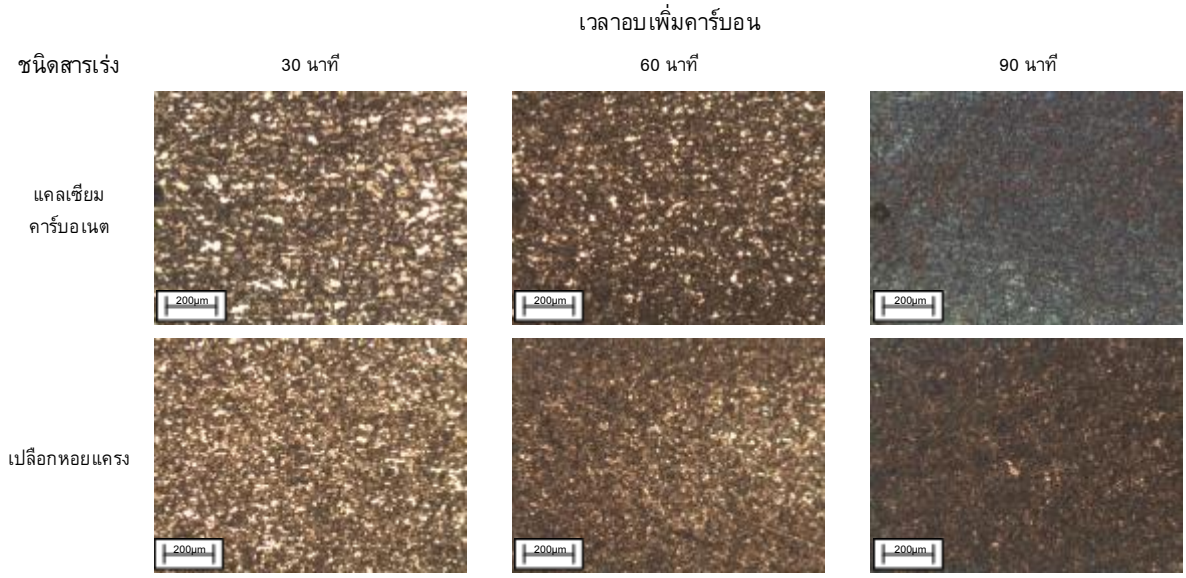
รูปที่ 4 ความแข็งที่คมมีดของเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนต่าง ๆ

3.2 โครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคของมีดที่ชุบแข็งแสดงในรูปที่ 5 โดยภาพโครงสร้างที่นำมาแสดงนี้ถ่ายที่ตำแหน่งห่างจากคมมีดเข้ามา 0.1, 1.5 และ 3.0 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าโครงสร้างที่ความลึก 0.1 มิลลิเมตร ของชิ้นงานที่ผ่านการอบเพิ่มคาร์บอนโดยใช้สานเร่ง 2 ชนิดจะมีเมทริกซ์เป็นมาร์เทนไซต์และมีคาร์ไบด์กระจายอยู่ทั่วไป ทำให้ที่ปลายมีดมีค่าความแข็งสูง สำหรับที่ความลึก 1.5 มิลลิเมตรชิ้นงานที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิดเมทริกซ์ยังคงเป็นมาร์เทนไซต์แต่มีเฟอร์ไรต์ปะปนอยู่จึงทำให้ค่าความแข็งที่วัดได้นั้นลดลง ส่วนมีดที่ทำจากเหล็กใบเลื่อยเมทริกซ์ประกอบด้วยมาร์เทนไซต์ที่มีเฟอร์ไรต์ปะปนอยู่เช่นกัน ส่วนที่ความลึก 3.0 มิลลิเมตรนั้นชิ้นงานที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิดปริมาณคาร์บอนแพร่เข้าไปได้น้อยทำให้มีโครงสร้างเฟอร์ไรต์อยู่มาก บริเวณนี้จึงอ่อนตัวสูง สำหรับเหล็กใบเลื่อยนั้นจะมีโครงสร้างเฟอร์ไรต์อยู่มากเช่นกันทำให้ค่าความแข็งลดลง



รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของมีดตัดอ้อยที่ตีจากเหล็กใบเลื่อย



รูปที่ 6 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบที่ผ่านการอบเพิ่มคาร์บอนของสารเร่งชนิดต่างๆ

3.4 อภิปรายผล

หากใช้ความแข็งและความต้านทานแรงกระแทกของเหล็กใบเลื่อยเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาในการเพิ่มคาร์บอนระหว่าง $CaCO_3$ และเปลือกหอยแครง จะเห็นได้ว่าเปลือกหอยแครงให้ผลของความแข็งที่น่าสนใจโดยที่ปลายมีความแข็งสูงและค่อย ๆ ลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นส่วน $CaCO_3$ นั้นค่าความแข็งที่ปลายจะสูงมากแต่ความแข็งจะลดลงอย่างมากเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าความแข็งที่มีค่าสูงกว่าเหล็กใบเลื่อยมีความลึกประมาณ 1.5 มิลลิเมตรเท่านั้น ที่ความลึกมากกว่านี้ค่าความแข็งจะลดลงที่เป็นเช่นนี้เพราะเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนอาจน้อยเกินไปเพราะเวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คาร์บอนสามารถแพร่เข้าไปในผิวเหล็กได้มากขึ้นเป็นไปตามกฎของฟิกส์ [11] ที่ว่าการแพร่จะแปรผันตามความเข้มข้นของอะตอมและเวลาในการแพร่ ดังนั้นเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 30, 60 และ 90 นาที จึงทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นไปตามลำดับ

4. สรุป

เปลือกหอยแครงมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่ผิวของมีดตัดอ้อยที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บูไรซิงที่สูงกว่าสารแคลเซียมคาร์บอเนตเล็กน้อยแต่เมื่อระยะลึกมากขึ้นค่าความแข็งยังคงต่ำกว่ามีดที่ทำจากเหล็กใบเลื่อยที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

เวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่สูงขึ้น มีผลต่อความแข็งและความลึกของชั้นผิวแข็งเพิ่มขึ้น โดยเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ผิวที่ให้ค่าความแข็งและชั้นผิวแข็งที่สูงสุดคือ เวลา 90 นาที

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุในความอนุเคราะห์การใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง ขอขอบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่สนับสนุนทุนวิจัยในงานนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Sinha A. K., Physical Metallurgy Handbook, McGraw-Hill Company Inc, 2003

[2] Lakhtin Y. M., Engineering Physical Metallurgy and Heat Treatment, Mir Publishers Moscow, 1990

[3] Rajan T. V., et al., Heat Treatment; Principles and Techniques, Prentice-Hall of India Private Limited, 1994

[4] ธีระเดช ธีรทรัพย์กุล และ ประวุธ ตันตยกร, รายงานการศึกษาทดลอง เรื่อง Pack carburizing compound, สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

[5] ศิริพร ดาวพิเศษ และ วชิร ฉายสุวรรณ, เม็ดถ่านผสมสำหรับใช้ในการเติมคาร์บอนที่ผิวเหล็ก, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 8(5): 19-23, 2541

[6] เหรียญ พลต้าง, การทดลองเปรียบเทียบส่วนผสมของสารแพ็กคาร์บูไรซิงในกระบวนการชุบผิวแข็งโลหะ, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541

[7] ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และคณะ, การเปรียบเทียบการเร่งปฏิกิริยาของหินปูนและแคลเซียมคาร์บอเนตในการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวของมีดตัดอ้อยที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บูไรซิง, การประชุมวิชาการทางโลหะวิทยาแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 กระบี่, 2556

[8] ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และคณะ, ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวต่อสมบัติทางกลของมีดตัดอ้อยที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บูไรซิง, การประชุมวิชาการและการนำเสนอผลงานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, 2556

[9] Khorram F. et al., Limestone Chemical Compositions Estimation Using Image Processing and Pattern Recognition Techniques, Journal of Mining & Environment, Vol.2 No.2, 2011

[10] Mohamed M. et al., Decomposition Study of Calcium Carbonate in Cockle Shell, Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 7, No.1., 2012

[11] Askeland D.R. and Phule P.P., The Science and Engineering of Materials, Thomson Brooks/Cole, 2003

การพัฒนาพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดเจลลาตินและเชลแลค สำหรับเป็นฟิล์มที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Development of Poly(lactic acid)/Gelatin/Shellac Blend for Green Composite Film

เกวลี นิลกำแหง[1],อนินท์ มีมนต์[2] และ สุมนมาลย์ เนียมหลาง*[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110โทรศัพท์:02 549 3403
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 02 549 3440
E-mail: sumonman.n@en.rmutt.ac.th*

Kewalee Nilgumhang[1],Anin Memon[2], Sumonman Naimlang[1*]
[1]Department of Material and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110
[2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110
E-mail: sumonman.n@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

พอลิแลกติกแอซิด (Poly (Lactic acid), PLA) เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สามารถผลิตจากกรดแลกติกซึ่งสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบจากธรรมชาติได้แก่ มันสำปะหลัง อ้อย แต่พอลิแลกติกแอซิดมีปัญหาในการนำมาใช้เป็นฟิล์มเนื่องจากมีความยืดหยุ่นต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะปรับปรุงสมบัติความยืดหยุ่นของฟิล์มพอลิแลกติกแอซิดโดยทำพอลิเมอร์ผสมกับเชลแลคซึ่งเป็นสารสกัดจากคลั่งและเจลลาตินซึ่งสามารถสกัดจากโปรตีนธรรมชาติเพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นของฟิล์มที่ขึ้นรูปได้ โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความน่าจะเป็นในการขึ้นรูปฟิล์มพอลิเมอร์ผสมพอลิแลกติกแอซิดเชลแลคและเจลลาตินที่สัดส่วนต่างๆ (ร้อยละโดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด:เจลลาติน:เชลแลค คือ 90:10:0 ,80:10:10 ,70:10:20 ,60:10:30 ,90:0:10 และ 70:20:10 สำหรับ PLA:GEL:SH 90:10:0, PLA:GEL:SH 80:10:10, PLA:GEL:SH 70:10:20, PLA:GEL:SH 60:10:30 และ PLA:GEL:SH 70:20:10 ตามลำดับ) ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปด้วยตัวทำละลาย (Solvent casting) พบว่าฟิล์มที่สามารถขึ้นรูปได้นั้น คือ ฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 70:20:10 ,60:10:30 ,70:10:20 ซึ่งมีลักษณะเป็นฟิล์มเหนียว สีเหลืองส้มสวยงาม หลังจากนั้นนำฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่ขึ้นรูปได้มาทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเชลแลคและเจลลาตินลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้สมบัติการทนต่อแรงดึงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเสนอทางเลือกใหม่สำหรับฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าที่เป็นบรรจุภัณฑ์ได้

คำสำคัญ เชลแลค ,พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ , พอลิแลกติกแอซิด, เจลลาติน, การขึ้นรูปด้วยทำละลาย

Abstract

Poly (Lactic acid), PLA is one of biodegradable plastic which can produce from lactic acid. Lactic acid can be synthesized from natural resources; cassava and sugar can. Despite the excellent properties of PLA, low flexibility has limited the film applications of this material. To improve its flexibility, PLA was blended with shellac and gelatin. Shellac is a natural, biodegradable resin from the female lac bug. Gelatin is extracted from natural protein. In this research work, the possibility of PLA/Gelatin/Shellac blend film fabrication at various amount of PLA, Shellac and Gelatin (%w/w of PLA: Gelatin: Shellac is 90:10:0, 80:10:10, 70:10:20, 60:10:30, 90:0:10 and 70:20:10 for PLA:GEL:SH 90:10:0, PLA:GEL:SH 80:10:10, PLA:GEL:SH 70:10:20, PLA:GEL:SH 60:10:30and PLA:GEL:SH 70:20:10, respectively.) by solvent casting technique was studied. Only PLA:GEL:SH 70:20:10 , PLA:GEL:SH 60:10:30 and PLA:GEL:SH 70:10:20 films can successfully prepared. The blend films is yellow-orange like and tough film. The tensile strength of blend film increase with increasing amount of shellac and gelatin. These blend films will be new class of green film without non-toxic substance which can degrade in composed environment. Moreover, the packaging that made from these blend film will add high value to product too.

Keywords: Shellac, Biodegradable plastic, Poly(Lactic acid), Gelatin, Solvent Casting

1. บทนำ

เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นให้มีความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลกนอกจากจะพัฒนาสินค้าให้มีคุณภาพให้ได้มาตรฐานสากล การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ทางด้านคุณภาพ รูปลักษณ์ ให้มีความโดดเด่น น่าสนใจ และไม่ก่อให้เกิดมลพิษก็เป็นอีกทางเลือกสำคัญในการแข่งขันในตลาดต่างประเทศ โดยที่บรรจุภัณฑ์ที่จะนำมาเป็นจุดเด่นได้นั้นต้องมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทำมาจากธรรมชาติและมีความเข้ากันได้ดีทางชีวภาพ

ซึ่งด้วยคุณสมบัตินี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความน่าสนใจมากขึ้นและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ที่มีตามท้องตลาดทั่วไป

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ เป็นพลาสติกที่ถูกออกแบบมาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม จึงทำให้สมบัติต่างๆ ของพลาสติกลดลงและเกิดการ

ย่อยสลายจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติ พอลิแลกติกแอซิด (Polylactic Acid) หรือ PLA เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติ โดยมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด และมันสำปะหลัง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้ได้เป็นน้ำตาล และนำไปหมักด้วยจุลินทรีย์เกิดเป็น Lactic Acid แล้วสังเคราะห์เป็นพอลิเมอร์ แต่ด้วยคุณสมบัติที่เปราะของพอลิแลกติกแอซิดจึงมีงานวิจัยมากมายที่พยายามจะปรับปรุงคุณสมบัตินี้ ด้วยการเติมสารที่ได้จากผลิตผลของปิโตรเคมีจึงไม่เหมาะหากจะนำมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร[1][2]

เชลแลค (Shellac) เป็นสารจากธรรมชาติในรูปแบบเรซินหรือสารคัดหลั่งที่ได้จากแมลงที่เรียกว่า “ครั่ง” หรือที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า “Tachardialacca” ซึ่งพบมากในประเทศไทย และอินเดีย[3]

มีคุณสมบัติ เช่น การกันน้ำที่ดี, มีความเป็นเงางาม, สามารถยึดกับพื้นผิวได้หลายชนิด, กันความร้อนและไฟฟ้าได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานได้หลายประเภท เช่น การเคลือบผลไม้และอาหารป้องกันการสูญเสียน้ำและยืดอายุในการเก็บรักษา, การเคลือบเภสัชภัณฑ์เพื่อควบคุมการปลดปล่อยยาให้ออกฤทธิ์ในตำแหน่งและเวลาที่ต้องการ, การประยุกต์ใช้ในการเคลือบผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันความชื้นและเพิ่มความสวยงาม นอกจากนี้การเลี้ยงครั่งนั้นสามารถทำได้ง่าย จึงมีการแนะนำให้เกษตรกรเลี้ยงครั่งเพื่อสร้างรายได้ ดังนั้นการนำครั่งไปเพิ่มมูลค่าโดยการนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จึงเป็นการสร้างรายได้ให้กับกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงครั่งอีกทางหนึ่ง[4]

เนื่องจากเชลแลคเป็นเรซินที่ได้จากธรรมชาติที่ย่อยสลายได้ และสามารถรับประทานได้ด้วย มีลักษณะเหนียวเป็นจุดเด่น แต่ในขณะเดียวกันจุดด้อยของ

เชลแลค คือ มีสมบัติเชิงกลต่ำ ไม่สามารถละลายในน้ำได้ จึงมีงานวิจัยมากมายที่พยายามจะแก้ไขจุดด้อยของเชลแลค แต่การปรับปรุงนั้นมีวิธีการที่ยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายที่สูง จึงได้มีงานวิจัยที่พยายามลดต้นทุนลงโดยการที่นำเชลแลคผสมกับเจลลาติน เพื่อเพิ่มสมบัติทางกลที่ดีขึ้น โดยที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค แต่ผลที่ได้ออกมานั้นยังไม่เป็นที่พอใจ เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปสมบัติเชิงกลจะตกลง[5]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะทำการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดเจลลาตินและเชลแลคจากครั่ง สำหรับเป็นฟิล์มสำหรับเป็นวัสดุทางเลือกในการทำบรรจุภัณฑ์อาหารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและไม่ก่อให้เกิดสารปนเอนของมนุษย์

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

เชลแลคจากครั่ง (Shellac),พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid หรือPLA)(AR grade, Cast film) , เจลลาติน(Gelatin from porcine skin, Type A), คลอโรฟอร์ม (Chloroform) ใช้ในการทำละลาย PLAและเมทานอล (Methanol)ใช้ในการทำละลายเชลแลค

2.2 การขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดเจลลาติน และเชลแลคจากครั่ง

ในงานวิจัยนี้ฟิล์มจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดเจลลาตินและเชลแลคจากครั่ง (PLA:GEL:SH) นั้นถูกเตรียมขึ้นที่สัดส่วนของพอลิแลกติกเจลลาตินและเชลแลคต่างๆเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูป สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ขึ้นรูปได้ โดยสัดส่วนของพอลิเมอร์ผสมได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1แสดงปริมาณสัดส่วนต่างๆในการเตรียมฟิล์ม

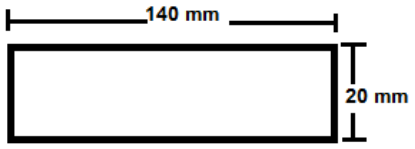
ตัวอย่าง PLASH:GEL	ปริมาณ PLA (%w/w)	ปริมาณ เชลแลค (%w/w)	ปริมาณ เจลลาติน (%w/w)
90:0:10	90	0	10
80:1010	80	10	10
70:20:10	70	20	10
60:30:10:	60	30	10
90:10: 0	90	10	0
70:10:20	70	10	20

ปริมาณสารตัวทำละลาย (Methanol 10 mL, Chloroform 30 mL)

โดยฟิล์มนั้นจะถูกเตรียมขึ้นโดยนำเชลแลคละลายในสารละลายเมทานอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมงมาผสมกับสารละลายพอลิแลกติกแอซิดในคลอโรฟอร์ม ที่อุณหภูมิ 30℃ แล้วนำมาผสมกับเจลลาตินที่สัดส่วนที่แสดงไว้แล้วในตารางที่ 1จากนั้นนำสารที่ผสมแล้วเทใส่แม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ขนาด กว้าง×ยาว×หนา = 100 mm × 250 mm x 1 mm แล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา24 ชั่วโมงและนำฟิล์มที่ขึ้นรูปได้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลต่อไป

2.3การทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดเจลลาติน และเชลแลคจากครั่ง

ทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดูลัส (Modulus)ของฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM D882 โดยตัดฟิล์มตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยกำหนดให้ชิ้นงานมีขนาด 140 mm× 20 mm



รูปที่ 1 ตัวอย่างการเตรียมชิ้นงานทดสอบค่าแรงดึง

วัดความหนาของแต่ละชิ้นงาน จากนั้นทำการทดสอบโดยมีสภาวะที่ใช้ทดสอบ ดังนี้

น้ำหนักสูงสุดที่รับแรง (Load cell) 100 N

ระยะห่างตัวจับชิ้นงาน (Gauge length) 50 mm

ความเร็วการดึง (Cross head speed) 2 mm/min

โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดูลัส (Modulus) สามารถคำนวณค่าต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength : σ)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

ค่ามอดูลัส (Modulus : E)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงยืดชิ้นงานตัวอย่าง

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง

รูปที่ 2 การวัดค่า Tensile strength ของแผ่นฟิล์ม

3.ผลการทดลองและการวิเคราะห์

3.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดเจลลาติน และเชลแลคจากครั่ง

สมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ขึ้นรูปได้จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดเจลลาติน และเชลแลคจากครั่งที่สามารถขึ้นรูปได้ นั้น พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแชลแลคลงในวัสดุเชิงประกอบจะทำให้ค่ามอดูลัสของยังนั้นสูงขึ้น ทั้งนี้ส่วนหนึ่งน่าจะมาจากการลดลงของพอลิแลกติกแอซิดซึ่งมีสมบัติเชิงกลค่อนข้างเปราะ และอีกประการหนึ่งคือ เชลแลคนั้นมีลักษณะเป็นเรซิน มีความเหนียวในสถานะที่เป็นของเหลวและจะมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้การเพิ่มเจลลาตินลงไปในระบบพอลิเมอร์ผสมนั้นจะทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมนี้ดีขึ้นด้วย เนื่องจาก โดยแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า Young's Modulus และค่า Tensile Strength ของแผ่นฟิล์มที่เตรียมขึ้นรูปได้

ตัวอย่าง PLA:SH:GEL	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	หมายเหตุ
90:0:10	-	-	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
80:10:10	-	-	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
70:20:10	46.185	0.896	
60:30:10	162.857	0.563	
90:10:0	-	-	ไม่สามารถขึ้นรูปได้
70:10:20	180.415	2.667	

ปริมาณสารตัวทำละลาย PLA 30 mL

ปริมาณสารตัวทำละลายแชลแลค10 mL เท่ากันทุกตัวอย่าง

3.2 สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดเจลลาติน และเชลแลคจากครั่ง

สมบัติทางกายภาพของฟิล์มที่ขึ้นรูปได้จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดเจลลาตินและเชลแลคจากครั่งที่สามารถขึ้นรูปได้นั้น พบว่ามีลักษณะของเนื้อสาร และสีที่แตกต่างกันรวมไปถึงลักษณะการเปราะหักของแผ่นฟิล์ม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอัตราส่วนผสมของแผ่นฟิล์มแต่ละสูตรแตกต่างกัน โดยเห็นได้ชัดจากสีของแผ่นฟิล์มที่เกิดจากสีของเชลแลคจากครั่ง แสดงได้ดังตารางที่ 3

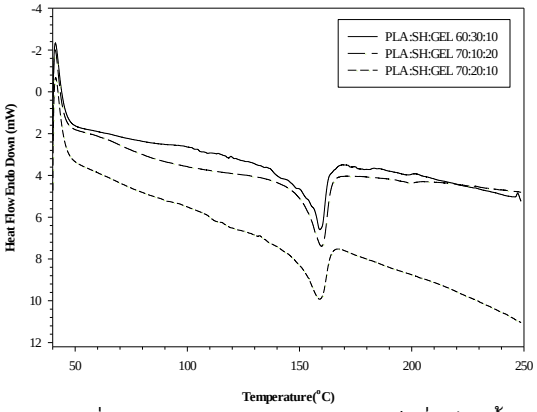
ตารางที่ 3ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มที่เตรียมขึ้น

ตัวอย่าง PLA:SH:GEL	ลักษณะทางกายภาพ	รูปชิ้นงาน
90:0:10	-เนื้อสารมีความเข้ากัน -เนื้อฟิล์มแข็งเปราะมาก	
80:10:10	-เนื้อสารมีความเข้ากัน -เนื้อฟิล์มค่อนข้างแข็ง และเปราะ	

ตัวอย่าง PLA:SH:GEL	ลักษณะทางกายภาพ	รูปชิ้นงาน
70:20:10	-เนื้อสารมีความเข้ากัน -เนื้อฟิล์มค่อนข้างอ่อนไม่เปราะ	
60:30:10	-เนื้อสารมีความเข้ากัน -เนื้อฟิล์มค่อนข้างอ่อน เหนียว เล็กน้อย ไม่เปราะ	
90:10:0	-เนื้อสารมีความเข้ากัน -เนื้อฟิล์มค่อนข้างอ่อน เหนียว เปราะเล็กน้อย	
70:10:20	-เนื้อสารมีความเข้ากัน -เนื้อฟิล์มค่อนข้างอ่อน ไม่เปราะ	

3.3 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดเจลลาติน และเชลแลคจากครั่ง

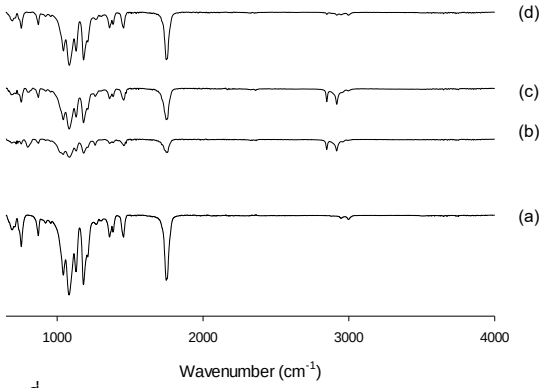
สมบัติทางความร้อนของฟิล์มที่ขึ้นรูปได้จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด เจลลาตินและเชลแลคจากครั่งที่สามารถขึ้นรูปได้นั้น พบว่ามีค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (Tm) ใกล้เคียงกันคือ อยู่ในช่วงประมาณ 158.92℃ ถึง 159.85℃ ดังแสดงในรูปที่ 3 จะสังเกตได้ว่า เมื่อ แชคแลคมีอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นค่า Tm ของกราฟจะเบนจาก 142℃ [6] ไปเป็น 158.92℃ , 195.10°C และ 159.85°C ตามลำดับ อันเนื่องมาจากปริมาณเจลลาตินและเชลแลคที่เพิ่มเข้ามาตามอัตราส่วน



รูปที่ 3 กราฟแสดงค่า Tm ของแผ่นฟิล์มที่เตรียมขึ้น

3.4 FTIR Fourier transform infrared spectroscopy

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องFTIR Fourier transform infrared spectroscopyของฟิล์มที่ขึ้นรูปได้จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดเจลลาตินและเชลแลคจากครั่งที่สามารถขึ้นรูปได้นั้น พบว่ายังคงมี peak ของ พอลิแลคติกแอซิดเจลลาตินและเชลแลคจากครั่ง เหลืออยู่ ดูได้จากกราฟในช่วงความยาวคลื่น 3315 cm^{-1} นั้นเป็นของเจลลาติน[7],ช่วงความยาวคลื่น 3000 cm^{-1} เป็นของเชลแลค[8] และช่วงความยาวคลื่น 1750 cm^{-1} นั้นเป็นช่วงความยาวคลื่นของ พอลิแลคติกแอซิด[9]



รูปที่ 4FTIR spectra of PLA (a) ,PLA:GEL:SH 60:30:10 (b),PLA:GEL:SH 70:10:20 (c) และ PLA:GEL:SH 70:20:10 (d)

4. สรุปผล

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ขึ้นรูปได้จากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดเจลลาติน และเชลแลคจากครั่ง ที่สามารถขึ้นรูปได้ นั้น พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแชลแลคลงในพอลิเมอร์ผสมจะทำให้ค่ามอดูลัสของยังนั้นสูงขึ้นในขณะเดียวกันการศึกษาทางด้านสมบัติ

ทางกายภาพพบว่าแผ่นฟิล์มที่มีส่วนผสมของแชลแลคจะมีสีที่ใกล้เคียงกัน อีกทั้งยังมีลักษณะเหนียวไม่เปราะหรือแตกหักง่าย และจากการศึกษาทางด้านสมบัติทางความร้อน พบว่าค่า Tm ของแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้มีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณ 158.92℃ ถึง 159.85℃ ทำให้ทราบว่าอัตราส่วนของพอลิแลคติกแอซิดและเจลลาตินที่แตกต่างกันนั้นมีผลกับค่า Tm น้อยมาก แต่กลับกันอัตราส่วนของเชลแลคจากครั่งกลับมีผลต่อค่า Tm มากที่สุด และจาการที่นำแผ่นฟิล์มที่ขึ้นรูปได้ไปวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง FTIR Fourier transform infrared spectroscopy พบว่าในแผ่นฟิล์มยังคงมีส่วนประกอบของวัสดุอยู่อย่างชัดเจน และนอกจากนี้ยังมีความสอดครองกลับงานวิจัยของ Jung H. Han ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ นำเอาเชลแลคมาเคลือบอาหารโดยไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และยังสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติอีกด้วย [10]

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มวิจัย AdvancedMaterials Research Group และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สมหมาย ผิวสอาด ,สรพงษ์ ภวสุปรีย์ ,ภูริทัต ใจหลัก ,อุบล อินทร์ศวรและวีราภรณ์ผิวสะอาด.Preparation of Polymer Blends between Poly (L-lactic acid), Poly(butylene succinate-co-adipate) and Poly(butylene adipate-co-terephthalate)for Blow Film Industrial Application.การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2554

[2] อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุล, ฉบับที่ 77 ปีที่ 24 กรกฎาคม - กันยายน 2554, พอลิแลกติกแอซิด : พอลิเอสเทอร์ จากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้, ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

[3] Stefanie Stummer , SharareshSalar-Behzadi ,Frank M. Unger ,SilvesterOelzant ,Manfred Penning ,Helmut Viernstein.Application of shellac for the development of probiotic formulations.Food Research International 43 (2010) 1312–1320.

[4] K.P. Krause, R.H. Muller. Production of aqueous shellac dispersions by high pressure Homogenization.International Journal of Pharmaceutics 223 (2001) 89–92.

[5] YassinFarag. Characterization of DifferentShellac TypesandDevelopment of Shellac-CoatedDosage Forms.Hamburg, 2010.

[6] Astrid Juliana Rincon Lasprilla, Guillermo Andres Rueda Martinez, BetaniaHossLunelli, JaiverEfren Jaimes Figueroa, Andre LuizJardini and Rubens Macie. Synthesis and Characterization of Poly (Lactic Acid) forUse in Biomedical FieldFilho

[7] Hanna Staroszczyk ,KatarzynaSztuka ,Julia Wolska ,Anna Wojtasz-Pająk ,IlonaKołodziejska. Interactions of fish gelatin and chitosan in uncrosslinked and crosslinkedwith EDC films: FT-IR study. SpectrochimicaActa Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 117 (2014) 707–712.

[8] SontayaLimmatvapirat ,PiyapoomPiyawatakarn, SugannikaTabtimsri, PornsakSriamornsak,JurairatNunthanid and Chutima Limmatvapirat.Design of Taste Masked DextromethorphanThroughIncorporation Into Shellac-Based Matrix.Advanced Science LettersVolume 14, Pages 409–412 (July 2012)

[9] Chin-San Wu, Hsin-Tzu Liao. A new biodegradable blends prepared from polylactide and hyaluronic acid.Polymer 46 (2005) 10017–10026.

[10] Jung H. Han.Edible Films and Coatings: A Review. Pepsico Inc. Plano Texas USA. (2014) 214-241.

การพัฒนาวัสดุรีไซเคิลจากยางรีเคลมสำหรับเป็นตัวสะสมความร้อนในระบบทำความร้อนแสงอาทิตย์

DEVELOPMENT OF RECYCLEMATERIALS FOR HEAT STORAGE IN SOLAR THERMAL SYSTEM

อภิสิทธิ์ บาลเพียร[1] ธัญธร ยาสุข[1] สุมนมาลย์ เนียมหลาง[1*] สถาพร ทองวิค[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 02 549 3558
E-mail: sumonman.n@en.rmutt.ac.th[*]

Apisit Banpean[1] Tunyatorn Yasook[1] Sumonman Naimlang[1*] Sataporn Thongwick[2]
[1]Department of Material and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering
[2]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110
E-mail: sumonman.n@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำยางรีเคลมซึ่งเป็นยางที่รีไซเคิลมาจากยางที่ใช้แล้วมาศึกษาพัฒนาเป็นตัวสะสมความร้อนในระบบความร้อนแสงอาทิตย์ โดยจะทำการศึกษาผลของปริมาณเขม่าดำต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของยางรีเคลมที่ขึ้นรูปได้นำมาผสมกับ ซิงค์ออกไซด์ , กรดเสตียริก , เมอร์แคปโตนเบนโซไทอะโซไดซัลไฟด์ , เตรตะเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ และ กำมะถัน โดยเครื่องผสมภายในและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดเบ้าแบบไฮดรอลิคที่ความดัน 250 MPa อุณหภูมิ 150 °C 90 วินาที ชิ้นงานยางที่ขึ้นรูปได้ที่ปริมาณเขม่าดำต่างๆ (0 , 5 , 7 , 10 และ 15 phr สำหรับชิ้นงานยางผสม ; Re-C5, Re-C7, Re-C10 และ Re-C15) ถูกนำไปวัดสมบัติเชิงกลและค่าคงที่การนำความร้อน (K) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำลงไปค่าคงที่การนำความร้อนของ Re-C5 , Re-C7 , Re-C10 และ Re-C15 คือ 1.05 , 1.31 , 2.00 , 2.38 และ 4.31 W/m.k ตามลำดับ ซึ่งค่านี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำ เนื่องจากเขม่าดำที่เติมเพิ่มลงไปนั้นทำหน้าที่เป็นตัวนำความร้อนในเนื้อยาง นอกจากนั้นเขม่าดำที่เพิ่มลงไปยังแสดงพฤติกรรมเป็นสารตัวเติมเพิ่มความแข็ง (Shore A) ของยางรีเคลมอีกด้วย ชิ้นงานยางรีเคลมที่ขึ้นรูปได้นั้นถูกนำมาทดสอบเป็นแผงรับความร้อนบนท่อทองแดง โดยมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ 1.5 ลิตร/นาที โดยทดสอบเป็นเวลา 10 นาที ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 630 W/m^3 พบว่าค่าการกักเก็บพลังงานความร้อนของ Re-C5, Re-C7, Re-C10 และ Re-C15 เพิ่มขึ้น 5.15 , 5.27 , 42.14 และ 75.43 W พบว่าพลังงานที่ถูกกับเก็บเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำ แต่เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลและพลังงานความร้อนที่ถูกกับเก็บภายใต้การทดสอบการใช้งานเป็นเวลา 1440 ชั่วโมง ยางรีเคลมที่ผสมเขม่าดำลงไป 10 phr นั้นเหมาะกับการนำไปใช้งานมากที่สุดเนื่องจากมีความยืดหยุ่นไม่แข็งเปราะ หรือให้ค่าการกักเก็บความร้อนน้อยเกินไป

คำสำคัญ ระบบสะสมความร้อน , ยางรีเคลม , เขม่าดำ , ความร้อนแสงอาทิตย์

Abstract

The reclaim rubber which produced from recycle crosslinked rubber by digester process, was developed for solar storage system in this research work. The effect of amount of carbon black (0 , 5 , 7 , 10 and 15 phr ; Re-C5, Re-C7, Re-C10 and Re-C15) on physical and mechanical properties were investigated. Reclaim rubber sheet was prepared by using zinc oxide, stearic acid, mercaptonedibenzodisulfide, tetramethylthiuramdisulfide and sulfur as activator, accelerator and vulcanizing agent, respectively. Compound rubber was prepared by internal mixer and fabricated by compression molding at 250 MPa and 150 ^{o}C for 90 s. Reclaim rubber sheet at various amount of carbon black were measured the mechanical and thermal conductivity (K). The thermal conductivity increase with increasing amount of carbon black. The K of Re-C5, Re-C7, Re-C10 and Re-C15 are 1.05, 1.31, 2.00, 2.38 and 4.31, respectively. Carbon black which added in reclaim rubber sheet act as thermal conductor thus the thermal conductivity increase. Carbon black also acts as filler in reclaim rubber sheet, resulting in increasing reclaimed rubber hardness (Shore A). To study the solar thermal efficiency, reclaim rubber was mount on copper tube and measured the temperature of water in and out copper tube for 10 min, flow rate of 1.5 L/min. The produced heat increase with increasing amount of carbon black. The produced heats are 5.15 , 5.27 , 42.14 and 75.43 W for Re-C5, Re-C7, Re-C10 and Re-C15, respectively. In this study, the reclaim rubber at amount of carbon black of 10 phr was chosen as the suitable material for solar thermal system due to its flexible and good thermal conductivity after 2 months.

Keywords: Thermal storage , Reclaim rubber , Carbon black , Solar thermal

1. บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูง สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบ คือการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน [1] พลังงานแสงอาทิตย์แบบความร้อน (Solar collector) คือ การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานความร้อนหรือการสะสมความร้อน [2] การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ การผลิตน้ำร้อนไหลเวียนตามธรรมชาติ การผลิตน้ำร้อนชนิดใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนและการผลิตน้ำร้อนชนิดผสมผสาน แต่ความร้อนที่ได้มายังมีข้อจำกัดด้านความเสถียรภาพทางความร้อนอยู่ จึงมีงานวิจัยมากมายที่จะสามารถพัฒนาระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบความร้อนให้รักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ หรือเพิ่มฉนวนกันความร้อนและเก็บความเย็นบนผิวท่อหรือถังบรรจุน้ำ [3]

ปัจจัยที่ทำให้ไม่เกิดความเสถียรทางความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นเพราะว่าพลังงานแสงอาทิตย์มีเฉพาะช่วงเวลากลางวันเพียงเท่านั้น จึงเป็นเหตุทำให้ในช่วงเวลากลางคืนปราศจากพลังงานที่ทำให้เกิดความร้อน ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการศึกษาค้นคว้า เพื่อที่จะพัฒนาวัสดุที่สามารถจะกักเก็บพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันมาใช้ในเวลากลางคืน เพื่อที่จะถ่ายเทพลังความร้อนไปสู่น้ำที่บรรจุในท่อได้นานที่สุดให้น้ำมีอุณหภูมิที่เสถียรทั้งเวลากลางวันและกลางคืน โดยวัสดุที่เรานำมาใช้ศึกษาคือ ยางรีเคลมซึ่งปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการพัฒนาวัสดุสำหรับกักเก็บความร้อน คือความสามรถในการกักเก็บ และถ่ายเทความร้อน มีกระบวนการผลิตที่ง่ายและราคาที่เหมาะสม

ดังนั้นในงานนี้จึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาวัสดุเก็บความร้อนจากขยะยางที่เหลือใช้ที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ ซึ่งจะมีการนำยางยางรีเคลมมาทำเป็นแผ่นเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในเวลากลางคืน โดยใช้รวมกับเทคโนโลยีที่ทันสมัย เพื่อที่จะเป็นทางเลือกในการใช้พลังงานให้แก่มนุษย์ได้มากขึ้นท่ามกลางสภาวะพลังงานที่กำลังจะขาดแคลน และ ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุนั้นด้วย

2. วิธีการดำเนินการทดลอง

2.1 การผสมยางรีเคลมเพื่อทำเป็นวัสดุกักเก็บความร้อน

การพัฒนาการเตรียมวัสดุเพื่อเป็นตัวกักเก็บความร้อนสำหรับใช้ในการทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นสามารถเตรียมได้จากการผสมยางรีเคลม (เกรดยางรถยนต์ , ยูเนี่ยนเบ็ลท์อินดัสตรี้ส์ จำกัด) กับสารตัวเติม ซิงค์ออกไซด์ (Commercial grade , นิค อินเตอร์เคม จำกัด) , กรดเสตียริก (Commercial grade , นิค อินเตอร์เคมจำกัด) , เมอร์แคป โตนเบนโซไทอะซิลไดซัลไฟด์ (Commercial grade , Behn meyer chemical co., Ltd) , เตรตะเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (Commercial grade , นิค อินเตอร์เคม จำกัด) , กำมะถัน (Commercial grade , นิค อินเตอร์เคม จำกัด) , เขม่าดำ (High Abrasion Fumace grade , นิค อินเตอร์เคม จำกัด) สำหรับเป็นสารกระตุ้น , สารตัวเร่ง และ สารเชื่อมขวาง ตามลำดับ ตารางที่ 1 แสดงปริมาณสัดส่วนของสารตัวเติมต่างๆ โดยนำสารตัวเติมต่างๆ มาผสมให้เข้ากันก่อนขึ้นรูปโดยเครื่องผสมภายใน (YFM , HM 1001 , ยง ฟง แมชชินเนอรี่ จำกัด) เป็นเวลา 6 นาที

ตารางที่ 1 สัดส่วนสารเคมีที่เติมลงไปในยางรีเคลม(phr)

ตัวอย่าง	ยางรีเคลม	กำมะถัน	เขม่าดำ
Re-S0	100	0	-
Re-S2	100	2	-
Re-S4	100	4	-
Re-S6	100	6	-
Re-S10	100	10	-
Re-C5	100	6	5
Re-C7	100	6	7
Re-C10	100	6	10

ปริมาณสารตัวเติม (ซิงค์ออกไซด์ 5 phr , กรดเสตียริก 2 phr , MBTS 1 phr , TMTD 0.5 phr)

2.2 สมบัติการไหลของยางผสม

เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปของยางผสมที่เตรียมไว้ถูกนำมาหาค่าความหนืด (Mooney viscosity) ตามมาตรฐาน ASTM D 1646

การวัดระยะเวลาในการคงรูปยางค่าระยะเวลาในการคงรูป (Tc 90) ที่อุณหภูมิ 150 ºC โดยเครื่องมือ Moving die rheometer (MDR) ตามมาตรฐาน ASTM D5289-07a เพื่อนำค่าที่ได้ไปกำหนดเวลาในการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression Molding โดยระยะเวลาในการคงรูปคือ 1.82,1.82,1.83,1.85 และ 1.88 นาทีสำหรับปริมาณเขม่าดำ (0 , 5 , 7 , 10 และ 15 phr) ตามลำดับ

2.3 การขึ้นรูปยางแผ่น

ทำการขึ้นรูปยางแผ่นเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางเคมี ทางความร้อน และสมบัติเชิงกล สามารถทำได้โดยเครื่อง Compression molding ระยะเวลาในการคงรูปดังแสดงในหัวข้อที่ 2.2 ที่อุณหภูมิ 150 °C

2.4 การทดสอบร้อยละการบวมตัว

ยางรีเคลมที่ขึ้นรูปได้ขนาด กว้าง×ยาว 10 x 10 มิลลิเมตร ถูกชั่งน้ำหนักแล้วนำไปแช่ในสารละลายโทลูอีน เป็นเวลา 5 วัน แล้วชั่งน้ำหนักหลังแช่เพื่อคำนวณหาค่าร้อยละในการบวมตัว (%Swelling) ดังสมการที่ (1)

$$\%Swelling = \frac{Ws - Wd}{Ws} \times 100 \qquad (1)$$

โดยที่ Ws คือน้ำหนักยางก่อนแช่ (g) Wd คือน้ำหนักยางหลังแช่ (g)

2.5 การทดสอบหาค่าคงที่การนำความร้อน (Thermal conductivity , K)

เพื่อทดสอบหาค่าคงที่การนำความร้อน (Thermal conductivity , K) ของยางรีเคลมที่ขึ้นรูปได้ที่ปริมาณเขม่าดำต่างๆ ชิ้นงานถูกตัดเป็นทรงกระบอก รัศมี 1.25 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร แล้วนำมาวางไว้ระหว่าง Heater และ Cooler โดยปรับพลังงานไว้ที่ 10-15 watts ปล่อยให้อุณหภูมิคงที่ แล้วจึงอ่านอุณหภูมิ (T) ค่าวัตต์ (Q) จากวัตต์มิเตอร์ หลังจากนั้นนำค่าวัตต์ (Q) ที่ได้มาคำนวณหาค่าคงที่การนำความร้อนโดยใช้สามการที่ (2)

$$k = \frac{Q}{A} \times \frac{d}{\Delta T} \qquad (2)$$

โดยที่ Q คือค่าวัตต์ที่อ่านได้ (Watts) A คือพื้นที่หน้าตัดชิ้นงานตัวอย่าง (cm) ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิ ของชิ้นงานที่อ่านได้ ทั้งสองข้าง (°C) d คือความหนาของวัสดุ (cm)

2.6 ทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile strength)

เพื่อทดสอบหาความสามารถในการทนแรงดึงของยางรีเคลมที่ขึ้นรูปได้แต่ ยางรีเคลมที่ถูกนำมาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 2014 ชิ้นงานยางถูกเตรียมเป็นรูปดัมเบล ยาว 12.5 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร

2.7 ทดสอบประสิทธิภาพตัวกักเก็บรังสี

เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพการนำยางรีเคลมผสมที่ขึ้นรูปได้สำหรับใช้เป็นแผงรับความร้อน , ยางรีเคลมที่ขึ้นรูปได้จะถูกนำมาทดสอบกับแผงนำร้อนจำลองดังแสดงในรูปที่ 3 และควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ 1.5 ลิตรต่อนาที ระยะเวลาในการทดสอบ 30 นาที วัดค่าความเข้มของแดดด้วยเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (ยี่ห้อ CEM , รุ่น DT-1307 Accuracy ± 10 W/m^2) โดยประสิทธิภาพของแผงรับความร้อนนี้จะคำนวณจากอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าท่อและอุณหภูมิน้ำออกจากท่อและนำมาคำนวณพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นดังสมการที่ (3)

$$Q_c = \dot{m} \times c_p \left(T_{fo} - T_{fi} \right) \qquad (3)$$

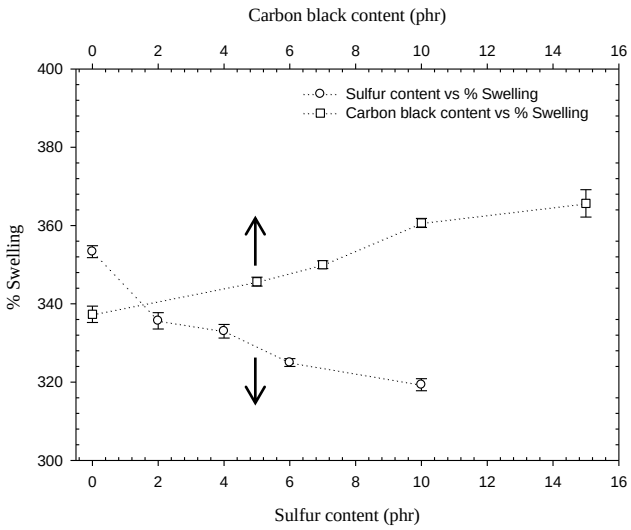
โดยที่ $\dot{m}$ คืออัตราการไหลเชิงมวล (1.5 Kg/s) c_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.187 KJ/Kg) T_{fo} คืออุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากตัวเก็บรังสี (°C) T_{fi} คืออุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าตัวเก็บรังสี (°C)

3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

3.1 ผลการทดสอบค่าความหนืด (Mooney viscosity)

เพื่อศึกษาผลของเขม่าดำต่อความหนืดของยางรีเคลมผสมและสภาวะการขึ้นรูป ยางรีเคลมผสมถูกทดสอบวัดค่าความหนืดของยางตามวิธีการทดสอบ ISO 289-1:2005 พบว่าปริมาณเขม่าดำในระบบเพิ่มขึ้นจาก 0 , 5 , 7 , 10 และ 15 phr ความหนืดของยางจะลดลง คือ164.3 ,143.5 , 107.2 , 106.25 และ 108.6 ตามลำดับ ทั้งนี้น่าจะมาจากการเติมเขม่าดำลงไปในยาง ทำให้เกิดการเข้าไปขัดขวางการเชื่อมโยงของสารโซ่โมเลกุลของยาง จึงทำให้เมื่อมีการเติมผงเขม่าดำลงไปในปริมาณมากจะทำให้ความหนืดของยางลดลง

3.2 ผลของร้อยละการบวมตัวของยางรีเคลมที่ขึ้นรูปได้



รูปที่ 1 แสดงค่าร้อยละในการบวมตัว (% Swelling)

เมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันในยางรีเคลมผสมพบว่าสัดส่วนการบวมตัวน้อยลง ซึ่งเป็นเครื่องยืนยันได้ว่าระบบยางรีเคลมผสมที่ได้ขึ้นรูปนั้นเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางขึ้น และปฏิบัติเชื่อมขวางเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มจำนวนการเชื่อมขวาง ร้อยละในการบวมตัวในตัวทำละลายก็จะน้อยลง ในขณะที่ในระบบมีการเติมเขม่าดำลงไป พบว่าเมื่อปริมาณของเขม่าดำเพิ่มขึ้นสัดส่วนการบวมตัวก็เพิ่มขึ้น ทั้งนี้น่าจะมาจากเขม่าดำไปขัดขวางการเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่ ทำให้เกิดการเชื่อมขวางน้อยกว่าระบบที่มีปริมาณเขม่าดำเยอะกว่า ทำให้สัดส่วนการบวมตัวเพิ่มขึ้น

3.3 ค่าคงที่การนำความร้อน (Thermal conductivity , K)

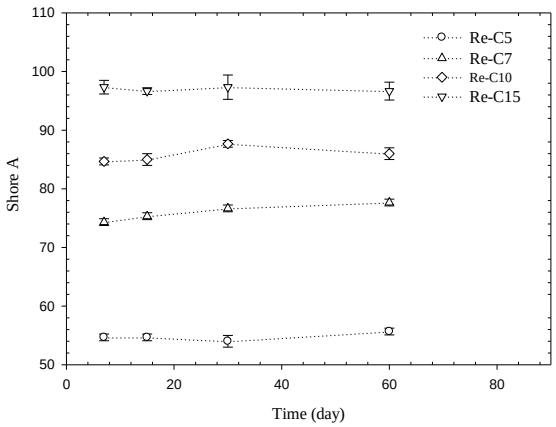
ค่าคงที่การนำความร้อนถูกหาเพื่อสังเกตผลของยางรีเคลม ที่มีผลต่อการนำความร้อน ซึ่งผลจากการทดสอบตัวอย่างยางรีเคลม ที่มีการเติมปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้น (0 , 2 , 4 , 6 และ 10 phr) ตามลำดับ ส่งผลเล็กน้อยต่อค่าคงที่การนำความร้อนเป็น (1.16 , 1.07 , 1.04 , 1.15 และ 1.21 W/m.k) ตามลำดับ

แต่เมื่อทำการทดลองยางรีเคลมที่มีการเติมเขม่าดำลงไปปริมาณ (0 , 5 , 7 ,10 และ 15 phr) ตามลำดับ มีผลทำให้ค่าคงที่การนำความร้อน (K) เพิ่มขึ้นตามปริมาณ

ของเขม่าดำที่ใส่เข้าไปในยางรีเคลมเป็น (1.15 , 1.47 , 2.02 , 2.37 และ 5.76 W/m.k) ตามลำดับ

3.4 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งแรง (Shore A)

เพื่อศึกษาสมบัติความแข็งแรง (Shore A) ของยางรีเคลมเมื่อผ่านการตากแดดในระยะเวลาที่ต่างกัน โดยนำยางรีเคลมแต่ละสูตรขนาด กว้าง×ยาว×หนา 15×15×3 เซนติเมตร มาตากแดดในระยะเวลาที่ต่างกันและนำไปทดสอบความแข็งแรง โดยใช้วิธีทดสอบ ASTM D2240-50 (2010)



รูปที่ 2 แสดสมบัติเชิงกลกับระยะเวลาในการตากแดด

เมื่อนำยางที่ผสมเขม่าดำไปตากแดดทิ้งไว้เป็นเวลา 7, 15 , 30 และ 60 วัน ค่าความแข็ง (Shore A) ของ Re-C5 คือ 54 , 53 , 56 และ 56 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าผลของการตากแดดทิ้งไว้ 60 วัน ไม่ทำให้ความแข็งของยางรีเคลมในสูตร Re-C5 และสูตรอื่นๆ เปลี่ยนไป แต่การเพิ่มปริมาณผงเขม่าดำลงไปในยาง รีเคลม 5 , 7 , 10 และ 15 phr ตามลำดับทำให้ยางมีค่าความแข็งแรง (Shore A) เพิ่มขึ้น 54.75 , 76 , 85.5 และ 96.5 ตามลำดับ ซึ่งการทำปฏิกิริยาน่าจะมาจากกการที่ใส่เขม่าดำเข้าไป ทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างเขม่าดำกับยางเพิ่มเติม เมื่อเวลาและพลังงานเพิ่มขึ้น

3.5 ผลการทดลองอุณหภูมิน้ำเข้าน้ำออกจากแผงกักเก็บรังสีโดยใช้ยางรีเคลม

จากการทดลองค่าอุณหภูมิน้ำเข้า-น้ำออกของยางรีเคลมที่สัดส่วนการผสมต่างๆเมื่อนำแผ่นกักเก็บรังสีไปตั้งไว้กลางแจ้งที่มีความเข้มแดด 630 W/m^3 เป็นเวลาในช่วง 13.00 น.-13.30 น.ที่อัตราการไหลของน้ำ 1.5 ลิตร/นาที และ อุณหภูมิที่น้ำเข้า-น้ำออกสูงสุด , ΔT (max) และ ค่าความร้อน (W) ได้ผลแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่า ΔT (max) ที่ความเข้มแดด 630 $\pm$ 0.05 W/m^2 และค่าความร้อน (W) ที่คำนวณได้

ตัวอย่าง	อุณหภูมิน้ำเข้า (ºC)	อุณหภูมิน้ำออก (ºC)	ΔT (max) (ºC)	ความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี (W)
Re-C5	30.26	31.08	0.82	5.15
Re-C7	30.24	31.08	0.84	5.27
Re-C10	30.06	36.77	6.71	42.14
Re-C15	29.85	41.86	12.01	75.43

ปริมาณกำมะถัน 6 phr เท่ากันทุกตัวอย่าง
ปริมาณผงเขม่าดำ (5 , 7 , 10 และ 15 phr) ตามลำดับ

จากตารางที่ 2 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงเขม่าดำค่าพลังงานที่ได้จากตัวเก็บรังสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงเขม่าดำจากจาก 7 phr เป็น 10 phr และ เป็น 15 phr ทำให้ค่าความร้อนที่ได้เพิ่มขึ้น 5.27 เป็น 42.14 และเป็น 75.43 W ตามลำดับ ดังนั้นค่าความร้อนที่คำนวณได้มีความสอดคล้องกับปริมาณอุณหภูมิแตกต่างกันสูงสุดระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า-อุณหภูมิน้ำออก

พบว่าเมื่อน้ำไหลผ่านตัวอย่างแต่ละสูตรที่มีการเติมผงเขม่าดำลงไปในปริมาณที่แตกต่างกันที่อัตราการไหลของน้ำ 1.5 ลิตร/นาที ส่งผลทำให้ ค่า ΔT (max) มีความแตกต่างกันมากขึ้นซึ่งเมื่อใช้ปริมาณผงเขม่าดำ 5 และ 7 phr ค่า ΔT(max) ไม่ปริมาณเปลี่ยนแปลงคือ 0.84 ºC แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผงเขม่าดำเป็น 10 และ15 phr ค่า ΔT (max) เพิ่มขึ้นเป็น 6.71 และ 12.01 ºC ตามลำดับ

ดังนั้นสรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณผงเขม่าดำส่งผลต่อการเก็บความร้อนไว้ในแผ่นยาง

3.6 ต้นทุนการทำแผงกักเก็บความร้อน

เมื่อนำแผ่นยางรีเคลมขนาด กว้าง×ยาว×หนา 15×15×0.3 เซนติเมตร คิดต้นทุนต่อแผ่นและนำราคามาเปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี ของยางรีเคลม (Re-C5 , Re-C7 , Re-C10 และ Re-C15) มีต้นทุน (0.79 , 0.98 , 1.26 และ 1.73 บาท/แผ่น)

ตามลำดับ และ ความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี (5.15 , 5.27 , 42.14 และ 75.43 W) ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบราคากับค่าความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีจะเห็นว่าเมื่อต้องการยางรีเคลมที่มีค่าความร้อนสูงราคาต้นทุนต่อแผ่นก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4 สรุปผล

จากการศึกษาพบว่ายางรีเคลมผสม มีสมบัติเก็บความร้อนและคลายความร้อนให้กับท่อทองแดง โดยแต่ล่ะสูตรมีความยาวของวัสดุเท่ากัน หุ้มด้วยทองแดง อัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 1.5 ลิตรต่อนาที เมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันในระบบที่ไม่มีเขม่าดำ ไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงสูงสุดระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้า-น้ำออก ΔT (max) แต่เมื่อใส่เขม่าดำเข้าไปในระบบยางรีเคลมพบว่า ΔT (max) มีค่าที่เพิ่มขึ้น โดยที่ 5 phr มีค่า ΔT อยู่ที่ 0.82 , 7 phr มีค่า ΔT อยู่ที่ 0.84 , 10 phr มีค่า ΔT อยู่ที่ 0.71 , 15 phr มีค่า ΔT อยู่ที่ 12.01 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบที่มีการเติมเขม่าดำลงไปนั้นมีประสิทธิภาพในการดูดซับความร้อนที่ดีกว่าตัวอย่างที่เติมเพียงแค่กำมะถัน ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำยางรีเคลมซึ่งเป็นยางที่ผลิตจากเศษยางรถยนต์มาพัฒนาเป็นแผงรับความร้อนสำหรับเครื่องทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ราคาถูกได้

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มวิจัย Advanced Materials Research Group ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการและภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] พงษ์ธร แซ่อุย,ยาง:ชนิดสมบัติและการใช้งาน,ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ(เอ็มเทค).2548

[2] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. ม.ป.ป. ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ.กรุงเทพ: ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิต ภัณฑ์ยาง.สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

[3] ภวัฒน์ วิทูรปกรณ์. 2530. ความสำคัญของยางสังเคราะห์ต่ออุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ยางของประเทศไทย.วารสารยางพารา ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 สิงหาคม หน้า 80-90

[4] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร , แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย , บริษัทจิรังรัชต์ จำกัด . 2542

[5] Barlow,F.w,Rubber Compounding : Principle , Materials , and Techniques. 2nd ed. New York : Marcel Dekker , 1993.

[6] Monia Chaabane , Hatem Mhiri , Philippe Bournot , (2014) Energy Conversion and Management 78 897-903

[7] Sukanya satapathy , A.Nag , Golok Bihari Nando (2010) Process Safety and Environmental Protection 8 8 131–141

[8] Dubkov , S.V. Semikolenov , D.P. Ivanov , D.E. Babushkin , G.I. Parmon Reclamation of waste tyre rubber with nitrous oxide.

การปรับปรุงสมบัติของพอลิสไตรีนโดยใช้ไขละหุ่งเป็นสารเติมแต่ง

Modification of Polystyrene by Compounding with Castor wax as an Additive

อาฐิติ ผลเจริญ กุลวดี สังข์สนิท*
ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทร. 02-5493480 โทรสาร. 02-5494383
E-mail: kullawadee.s@en.rmutt.ac.th*

Atiti Polcharoen Kullawadee Sungsanit*
Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong , Thanyaburi , Pathumthani , 12110
Tel. 02-5493480 , Fax. 02-5494383
E-mail: kullawadee.s@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ไขละหุ่งเพื่อเป็นสารเติมแต่งสำหรับพลาสติกชนิดพอลิสไตรีน โดยทำการคอมปาวด์วัสดุทั้งสองชนิดแบบหลอมผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่อัตราส่วนของไขละหุ่ง คือ 0 , 5, 10, 15 และ 20 ส่วนต่อร้อยส่วนโดยน้ำหนัก(phr) จากการศึกษา พบว่า อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว(T_g) ของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่างพอลิสไตรีนและไขละหุ่ง มีค่าลดลงถึง 20 องศาเซลเซียส เมื่อผสมไขละหุ่งในปริมาณสูงขึ้น และยังสอดคล้องกับค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว(T_g^{DMA}) ซึ่งแสดงว่าไขละหุ่งสามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่ในบริเวณช่องว่างระหว่างสายโซ่ของพอลิสไตรีนได้ นอกจากนี้ ยังส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงกระแทกเพิ่มสูงขึ้นเมื่อผสมไขละหุ่งในอัตราส่วน 5 ส่วนต่อร้อยโดยน้ำหนัก ส่วนค่าการต้านทานการโก่งงอและค่าโมดูลัสการโก่งงอ นั้นก็มีการมีค่าสูงขึ้นเมื่อเติมไขละหุ่งที่ 5 ส่วนต่อร้อยโดยน้ำหนัก เช่นกัน ดังนั้น แสดงให้เห็นว่าไขละหุ่งซึ่งเป็นสารที่ได้มาจากธรรมชาติสามารถนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งสำหรับวัสดุพลาสติกได้

คำหลัก พอลิสไตรีน ไขละหุ่ง คอมปาวด์

Abstract

This research was conducted to investigate the possibility in using of castor wax as an additive for Polystyrene by melt blended with two rolls mill machine. The compounds were mixed of castor wax in ratio of 0, 5, 10, 15 and 20 phr (part per hundred ratio resin) respectively. A range of characterization techniques including transition temperature, impact resistance and flexural strength were studied. The results showed that the transition temperatures from both Differential Scanning Calorimetry (T_g^{DSC}) and Dynamic Mechanical Analysis (T_g^{DMA}) techniques are obviously decreased with increasing of castor wax contents. This was attributed to the enhanced segmental motion of the Polystyrene molecular chains by addition of castor wax. Moreover, impact strength of un-notched specimens was improved with 5 phr of castor wax and the flexural strength has also increase as well. To sum up, castor wax as a bio-based material has exhibited possibly to be used as an additive for plastics properties modification.

Keywords: polystyrene castor wax compound

1. บทนำ

พอลิสไตรีน (Polystyrene) เป็นหนึ่งในพอลิโอลีฟีนที่ถูกใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากพอลิสไตรีนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น กล่องโฟมใส่อาหาร อุปกรณ์เครื่องเขียน ของเด็กเล่น และชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นต้น โดยทั่วไปพอลิสไตรีนมีลักษณะการจัดเรียงตัวแบบอสัณฐาน และมีสมบัติที่เด่นคือ ความแข็งแรงสูง ทนต่อกรดและเบส โปร่งแสง อีกทั้งยังสามารถขึ้นรูปได้ง่าย แต่พอลิสไตรีนยังมีข้อด้อยหลายประการ เช่น เปราะแตกหักง่าย และทนต่อความร้อนได้ต่ำ จึงได้มีการปรับปรุงสมบัติของพอลิสไตรีนในรูปแบบต่างๆ เช่น โดยการสังเคราะห์ร่วมกับพอลิเมอร์ตัวอื่นๆ ที่เรียกว่า สไตรีนโคพอลิเมอร์ หรือการใช้สารเติมแต่งประเภทสารเพิ่มสภาพพลาสติก (Plasticizer) [1-3] ซึ่งสารเติมแต่งเหล่านั้นทำมาจากสารเคมี จึงทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบัน ถูกแบ่งเกรดการใช้งานออกเป็น 2 เกรดหลักๆ คือ พอลิสไตรีนชนิดธรรมดา (General Purpose Polystyrene, GPPS) จะแข็งแต่เปราะ แต่ยังคงรักษาสมบัติทางแสง เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชนิดทั่วๆไป อย่าง โพลิเอทธิลีน (Polyethylene), (PE) หรือ โพลิโพรพิลีน (Polypropylene), (PP) [4] ส่วนพอลิสไตรีนชนิดพิเศษ เช่น ชนิดทนแรงกระแทก (High Impact Polystyrene, HIPS) และโคพอลิเมอร์อื่นของพอลิสไตรีนจะมีความเหนียวกว่าแต่จะขาดสมบัติด้านความโปร่งแสง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงสมบัติของพอลิสไตรีนด้วยไขละหุ่งที่เป็นสารเติมแต่งจากธรรมชาติ

2.วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบและการผสม

พอลิสไตรีน เกรด General Purpose Polystyrene, GPPS รหัส GP150 จากบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) และไขละหุ่ง (Castor wax จากบริษัทไทยคาสเตอร์ออยส์ จำกัด) ผสมกันตามอัตราส่วนดัง ตารางที่1

ตารางที่1 แสดงอัตราส่วนผสมพลาสติกคอมปาวด์ของ PS และ Castor Wax

PS (phr)	Castor Wax (phr)
100	0
100	5
100	10
100	15
100	20

การทดลองนี้จึงจำกัดการผสมไขละหุ่งที่ 20 phr เพราะเมื่อเพิ่มอัตราส่วนไขละหุ่งที่เพิ่มมากขึ้นทำให้การคอมปาวด์ไขละหุ่งใน PS ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งเป็นไปได้ยาก เมื่อไขละหุ่งโดนความร้อนไขละหุ่งจะเป็นของเหลวและทำให้ไหลออกจากลูกกลิ้งร้อนในปริมาณมากทำให้การคอมปาวด์ควบคุมอัตราส่วนเป็นไปได้ยาก จึงจำกัดอัตราส่วนผสมอยู่ที่ 20 phr เท่านั้น

การเตรียมพลาสติกคอมปาวด์ด้วยเครื่องเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Rolls Mill) ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส แล้วนำพลาสติกคอมปาวด์ที่ได้ไปเตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ใช้แรงดันอัดขึ้นรูปที่ 150 kg/cm^2 คงที่ทุกอัตราส่วน

2.2 การเตรียมพลาสติกคอมปาวด์

ชั่งน้ำหนักของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่าง PS และไขละหุ่งที่อัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 1 ทำการหลอมผสมพลาสติกคอมปาวด์ที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง(Two Rolls Mill) ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส จากนั้นนำพลาสติกคอมปาวด์ไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป(Compression Molding) จากนั้นนำไปเตรียมเป็นชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ โดยการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคDifferential Scanning Calorimetry(DSC) ทดสอบสมบัติเชิงกล การวิเคราะห์สมบัติทางกลเชิงไดนามิกDynamic Mechanical Analysis(DMA) ทดสอบทางกายภาพ การวิเคราะห์พฤติกรรมการแตกหักด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscopy (SEM)

2.3 สมบัติทางความร้อน

ทำการทดสอบสมบัติทางความร้อนของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่าง PS และ ไขละหุ่ง ด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิงแคลอรีเมทรี [5] โดยเตรียมตัวอย่างทดสอบประมาณ 5-15 mg จากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมใส่ลงในภาชนะอลูมิเนียม (Pan) แล้วนำไปอัดปิดฝา ตั้งค่าอุณหภูมิการทดสอบที่ 30 - 180 °C อัตราเพิ่มของอุณหภูมิ 10°C/min พลังงานที่วัดออกมาจะเป็น mW

2.4 สมบัติเชิงกล

ทำการสอบการต้านทานการโก้งงอ (Flexural Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 790 โดยชิ้นงานทดสอบมีความหนา 3 mm กว้าง 25 mm ยาว 80 mm โดยการทดสอบเป็นแบบกด 3 จุดที่ความเร็วของหัวกดชิ้นงาน 1.3 mm/min ความยาวของ support span 80 mm

ทำการทดสอบการทนแรงกกระแทก (Impact Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 256 โดยชิ้นทดสอบมีความหนา 3 mm ความกว้าง 12.7 mm ความยาว 63.5 mm โดยไม่ต้องบาก โดยใช้ค้อน 2.0 J ตีชิ้นทดสอบ จับยึดไว้โดย clamp ในแนวตั้งและถูกตีด้วยค้อนน้ำหนักตามแรงเหวี่ยง ณ ตำแหน่งระหว่างจุดที่จับชิ้นทดสอบ [6]

2.5 การวิเคราะห์พฤติกรรมการแตกหักด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การวิเคราะห์พฤติกรรมการแตกหักด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Scanning Electron Microscopy) (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510 โดยนำชิ้นงานจากการทดสอบการทนแรงกระแทก ทำการเคลือบทองบริเวณผิวที่แตกหักก่อนจะทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวการแตกหักของตัวอย่าง โดยใช้กำลังไฟที่ 15 Kv โดยใช้กำลังขยาย 100 , 1000 เท่า

2.6 การวิเคราะห์สมบัติทางกลเชิงไดนามิก (DMA)

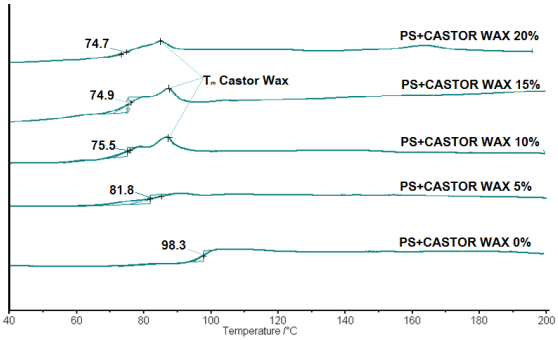
การวิเคราะห์สมบัติทางกลเชิงไดนามิก Dynamic Mechanical Analysis (DMA)ยี่ห้อPerkinelmer รุ่น DMA 8000 โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบมี ความหนา 3 mm ความกว้าง 10 mm ความยาว 25 mm ทำการทดสอบที่อุณหภูมิระหว่าง 30 – 150 องศาเซลเซียส โดยใช้โหมดการทดสอบแบบ Dual Cantilever Bending

3. ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

ตารางที่ 2 สมบัติทางความร้อนของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่าง PS : ไขละหุ่ง ที่อัตราส่วนต่างๆด้วยเทคนิค DSC

PS+Castor Wax (phr)	Tg (˚c)
0	98.3
5	81.8
10	75.5
15	74.9
20	74.7

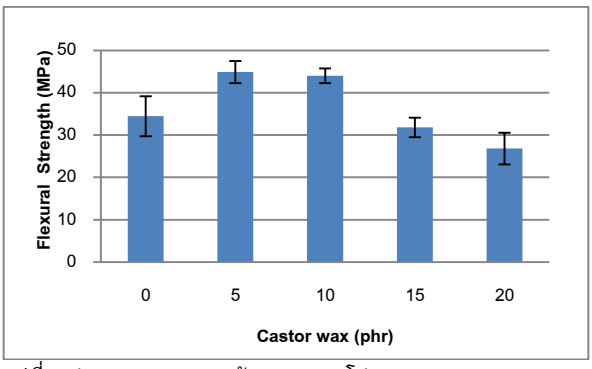


รูปที่ 1 เทอร์โมแกรมแสดงสมบัติทางความร้อนของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่าง PS : Castor Wax

จากตารางที่1และรูปที่ 2 แสดงสมบัติทางความร้อนของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่างPSกับไขละหุ่ง จะเห็นได้ว่าค่าการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว มีค่าอยู่ที่ช่วง 98.3 – 74.7˚C ซึ่งค่าการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วนั้นมีค่าลดลงเมื่อเติมไขละหุ่งลงไปผสมใน PS จากกราฟค่า T_g ของ PS อยู่ที่ 98.3 ˚C เมื่อผสมไขละหุ่งลงใน PS ที่ปริมาณ 5 phr พบว่าค่า T_g 81.8 ˚C ซึ่งมีค่าลดลง จากนั้นเมื่อผสมไขละหุ่งลงใน PS ที่ปริมาณ 10 15 และ 20 phr พบว่าค่า T_g มีค่าประมาณ 75˚C และยังสังเกตุได้ว่ามีพีคแยกออกมาในตำแหน่งเดียวกันซึ่งเป็นพีคของอุณหภูมิหลอมเหลวของไขละหุ่ง(T_m) แสดงให้เห็นว่าไขละหุ่งเข้าไปแทรกตัวอยู่ช่องว่างระหว่างสายโซ่ของ PS จึงทำให้สายโซ่ของ PS เคลื่อนได้ง่ายขึ้นที่อุณหภูมิเดียวกันกับ PS ที่ไม่ได้ผสมไขละหุ่ง [7]

3.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

3.2.1 ผลการทดสอบการต้านทานการโก้งงอ Flexural Strength

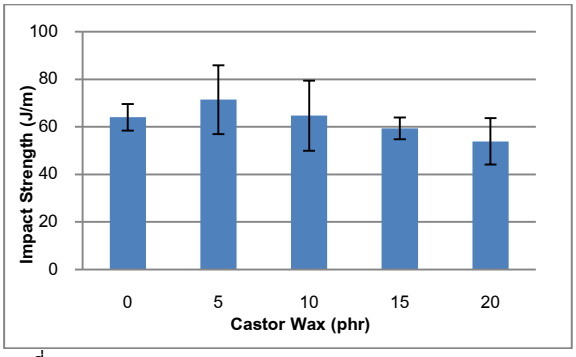


รูปที่ 2 ค่าการทดสอบการต้านทานการโก้งงอ (Flexural Strength) ของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่าง PS : Castor Wax

จากรูปที่ 2 กราฟแสดงการต้านทานการโก้งงอ

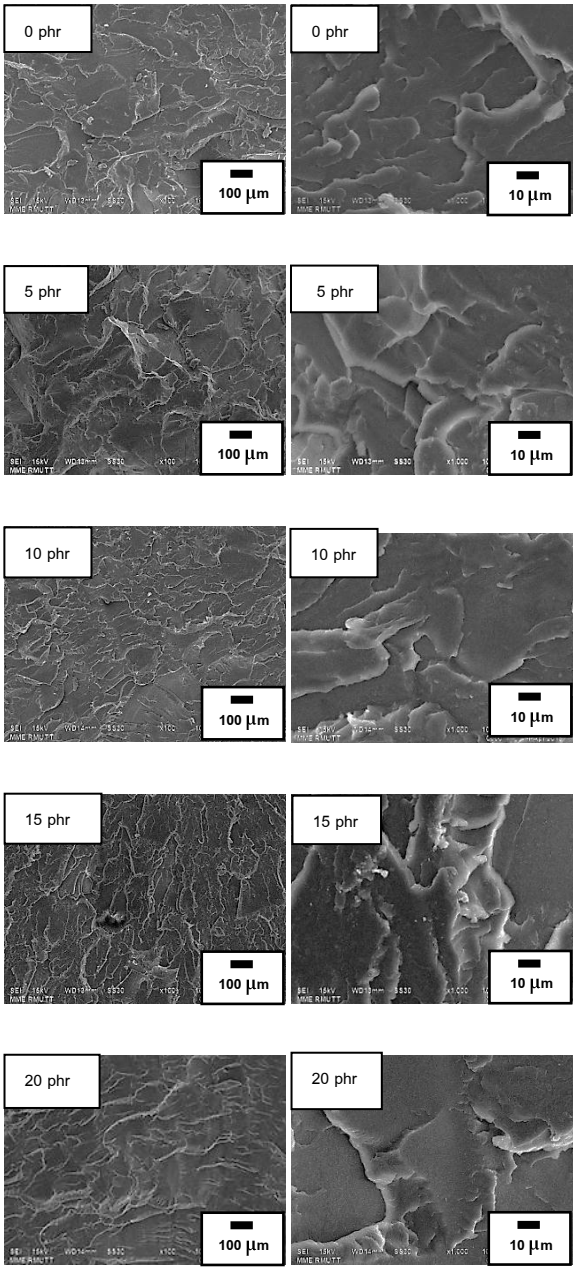
พบว่าค่าการต้านทานการโก่งงอมีค่า 27 – 45 MPa ซึ่งการต้านทานการโก่งงอสูงสุดอยู่ที่ค่าประมาณ 45 MPa ที่ปริมาณไขละหุ่ง 5 phr แต่เมื่อเพิ่มปริมาณไขละหุ่งที่ 10 15 และ 20 พบว่าการต้านการโก่งงอลดลง ตามลำดับ ซึ่งพิจารณาจากผลการวิเคราะห์อุณหภูมิ T_g ของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่า PS กับ ไขละหุ่ง พบพีค T_mของไขละหุ่งอย่างเห็นได้ชัดเมื่อผสมไขละหุ่งที่ 10 15 และ 20 phr แสดงให้เห็นว่าการใช้ไขละหุ่งมากกว่า 5 phr ทำให้เกิดการแยกเฟสระหว่าง PS กับ ไขละหุ่ง ทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง

3.2.2 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก Impact Strength



รูปที่ 3 ค่าการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod impact strength) ของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่าง PS : Castor Wax

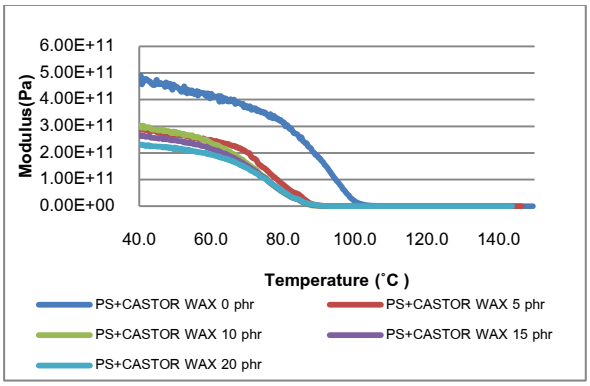
จากรูปที่ 3 กราฟแสดงค่าการต้านทานแรงกระแทก พบว่าค่าการต้านทานแรงกระแทก มีค่าประมาณ 45 – 70 J/m ซึ่งค่าการต้านทานแรงกระแทกที่มีค่าสูงสุด อยู่ที่ประมาณ 70 J/m ที่ปริมาณการผสมไขละหุ่งใน PS ที่ 5 phr พบว่าค่าการทนแรงกระแทกเมื่อเทียบกับ PS 0 ค่าการทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้นไม่มาก แต่เมื่อเพิ่มไขละหุ่งที่ปริมาณ 10 15 และ 20 phr พบว่าค่าการทนแรงกระแทกลดลงตามลำดับ ซึ่งจากการดูลักษณะสัณฐานวิทยาของพลาสติกคอมปาวด์ผสมระหว่าง PS กับ ไขละหุ่งแสดงดังรูปที่ 4 พบว่ารอยแตกของปริมาณไขละหุ่งที่ 5 phr มีรูปแบบการหักแบบผิวขรุขระที่เห็นได้ชัดเจนกว่าอัตราส่วนของไขละหุ่ง 10 15 และ 20 ซึ่งพื้นที่ผิวส่วนใหญ่เป็นรอยแตกแบบราบเรียบและมีรอยแตกหักแบบขรุขระเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับผลการต้านทานแรงกระแทก



รูปที่ 4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของพลาสติกคอมปาวด์ผสมระหว่าง PS:Castor Wax ที่กำลังขยาย100 และ1000 เท่า

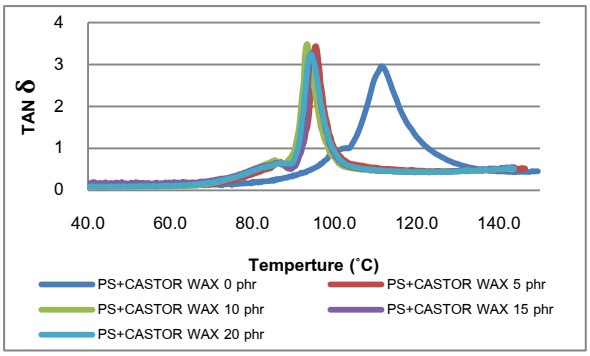
กำลังขยาย100เท่า กำลังขยาย1000เท่า

3.3 ผลการทดสอบวิเคราะห์สมบัติทางกลเชิงไดนามิก DMA



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าโมดูลัสสะสมต่ออุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่าง PS : Castor Wax

จากรูปที่ 5 แสดงค่าโมดูลัสสะสม (Storage Modulas)ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่าง PS กับไขละหุ่ง พบว่าเมื่อผสมไขละหุ่งลงไปใน PS ในอัตราส่วน 5 10 15 และ 20 ค่าโมดูลัสสะสมมีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าไขละหุ่งทำให้พลาสติกคอมปาวด์ สามารถเสียรูปได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น เพราะค่าโมดูลัสของพลาสติกคอมปาวด์จะมีค่าลดลงตามไปเนื่องจากไขละหุ่งสามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่ช่องระหว่างสายโซ่ แต่ไขละหุ่งที่อุณหภูมิห้องจะมีเฟสเป็นของแข็งจึงไม่สามารถทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ได้ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้นไขละหุ่งเกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลวจึงทำให้ไขละหุ่งที่อยู่ในช่องว่างของสายโซ่กลายเป็นสารหล่อลื่นจึงทำให้สายโซ่เกิดการขยับตัวได้ง่ายขึ้นจึงทำให้เสียรูปได้ง่ายขึ้นค่าโมดูลัสจึงลดลง



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าแทนเดลต้าของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่าง PS : Castor Wax

จากรูปที่ 6 กราฟแสดงค่า TAN δ ของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่างPS กับ ไขละหุ่ง พบว่าค่า TAN δ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผสมไขละหุ่งใน PS แสดงว่ามีความเป็นอิลาสติกมากกว่าเป็นเพราะโครงสร้างทางสายโซ่ของ PS มีไขละหุ่งเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของสายโซ่ ทำให้สายโซ่อยู่ห่างกันและเมื่อให้อุณหภูมิเข้าไปไขละหุ่งทำหน้าที่หล่อลื่นสายโซ่ ทำให้สายโซ่สามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายจึงทำมีความเป็นอิลาสติกมากกว่าสูตร 0 phr ซึ่งมีค่า TAN δ ที่ต่ำกว่า แสดงว่าสูตร 0 phr มีการเกี่ยวพันของสายโซ่มากและมีความชิดกันมาก จึงทำให้สายโซ่เกิดการเคลื่อนที่ได้ยากทำให้มีความเป็นอิลาสติกน้อย นอกจากนั้นค่า TAN δ ยังสามารถบอกอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g^{DMA}) ของพลาสติกคอมปาวด์ระหว่าง PS กับ ไขละหุ่ง โดยค่า T_g ของอัตราส่วนที่ 5 10 15 และ 20 จะอยู่ประมาณที่ 90˚C และค่าT_g ของ PS 0 จะอยู่ประมาณที่ 115 ˚C [8-9]

4. สรุป

จากการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิสไตรีนโดยใช้ไขละหุ่งเป็นสารเติมแต่ง ด้วยอัตราส่วนของไขละหุ่ง 0 , 5, 10, 15 และ 20 ส่วนต่อร้อยส่วนโดยน้ำหนัก (phr) อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วลดลง การทนต่อแรงกระแทก และ การต้านทานการโก่งงอ มีค่าเพิ่มขึ้นที่ปริมาณไขละหุ่งที่ 5 phr เมื่อผสมไขละหุ่งปริมาณที่ 10 15 และ 20 พบว่าค่าการทนแรงกระแทกและค่าการต้านทานการโก่งงอลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าอุณภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ลดลง (T_g^{DMA}) แสดงว่าไขละหุ่งที่แทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างของสายโซ่นั้นทำหน้าที่เป็นสารเติมแต่งชนิด สารหล่อลื่นภายใน (Internal Lubricant) จากงานวิจัยนี้ ส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วนที่ 5 phr

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช.) รหัสโครงการ 166327 ปี 2558และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] Caspar, A., et al., J. Chem. Educ., 1986.63.

[2] Slough, G.A., J. Chem. Educ. , 1995. 72: p. 1031.

[3] Scheirs, J.a.P., D. B. , *Modern styrenic polymers: polystyrenes and styrenic copolymers*. 2003, Chichester,UK: John Wiley & Sons.

[4] Dorgan, J.R., H. Lehermeier, and M. Mang, *Thermal and Rheological Properties of Commercial-Grade Poly(Lactic Acid)*. Journal of Polymers and the Environment, 2000. 8(1): p. 1-9.

[5] ปิ่นสุภา ปีติรักษ์สกุลง. 2545. “การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์.” กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยรามคำแหง

[6] Plastics Materials” edited by J.A.Brydson, Butterworths, Great Britain, 1989

[7] Markus Klinger, Lars Poulsen Tolbod, Peter R. Ogilby . 2009. “Influence of a Novel Castor-Oil-Derived Additive on the Mechanical Properties and Oxygen Diffusivity of Polystyrene” Department of Chemistry, Aarhus University.

[8] ชลธิชา วโรกร1* และ อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์ 2 “วิธีเพิ่มระยะเวลาทำงานของกาวอีพอกซี.” กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[9] ปิยะภรณ์ นิลทุ้ย[1]ศิริชัย ก้านกิ่ง[1]ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ[2] และ เอกชัย วิมลมาลา[3]. 2555 “การศึกษาเชิงกลพลวัตและพฤติกรรมการคืนกลับตัวทางอิลาสติกของยางเอ็นบีอาร์ที่มีผงเขม่าดำ เป็นสารเสริมแรงร่วมกับสารตัวเติมกลุ่มซิลิกาสำหรับการใช้งานในระบบไฮดรอลิก” กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การชุบแข็งที่ผิวเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำโดยใช้เปลือกหอยแครงและเปลือกไข่ไก่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแพ็กคาร์เบอไรซิง

Surface Hardening of Low Carbon Steel by Using Blood Cockle Shell and Egg Shell as Energizers in Pack Carburizing Process

ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ[1] สมบัติ น้อยมิ่ง[1*] สุภัทรวิทย์ ศรีนอก[1] รสรินทร์ ดือขุนทด[2]
วรรณา หอมจบก[2] ชัยวัฒน์ พีรทัตสุวรรณ[2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ [2]สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
E-mail: sombut_noymetal44@hotmail.co.th*

Narongsak Thammachot[1], Sombat Noiming [1*], Supattaravit Srinork [1], Rossarin Duekuntod[2],
Wanna Homjabok[2], Chaiyawat Peeratatsuwan[2]
[1]Department of Industrial Engineering, [2]Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Maung, Nakornratchasima 30000
E-mail: sombut_noymetal44@hotmail.co.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาของเปลือกหอยแครงและเปลือกไข่ไก่ ในการชุบแข็งที่ผิวของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำในกรรมวิธีแพ็กคาร์เบอไรซิง วิธีการทดลองทำโดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010 ผ่านกรรมวิธีแพ็กคาร์เบอไรซิง โดยใช้ถ่านไม้ยูคาลิปตัสเป็นสารเพิ่มคาร์บอนผสมสารเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเปลือกหอยแครงและเปลือกไข่ไก่ ที่ปริมาณส่วนผสม 20% โดยน้ำหนัก ทำการอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 900 และ 950°C ด้วยเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศแล้วนำไปชุบแข็งโดยใช้อุณหภูมิออสเทไนไทซิง 780°C เวลาอบแช่ 30 นาที จุ่มชุบในน้ำเย็นและทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 180°C ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ชิ้นทดสอบแต่ละสภาวะถูกนำมาตรวจสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์สและโครงสร้างจุลภาค จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า เปลือกไข่ไก่มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่สูงกว่าเปลือกหอยแครงโดยให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าถึงแม้อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอนจะต่ำกว่า

คำหลัก การชุบแข็งที่ผิว แพ็คคาร์เบอไรซิง เปลือกหอยแครง เปลือกไขไก่ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส

Abstract

The purpose of this research is to compare the efficiency between blood cockle shell and egg shell as energizer in increasing carbon content on surfaces of low carbon steel by the pack carburizing process. The experiment for pack carburized low carbon steel (grade AISI 1010) was conducted by using the eucalyptus wood charcoal as carburizer, mixed with 20% blood cockle shell and egg shell (by weight) as the energizer. The carburizing temperature of 900 and 950°C, and carburizing times of 2, 4 and 6 hours were used in the experiment. The specimens were then austenitized at 780°C for 30 minutes and quenched into water. Also, the specimens were tempered at temperature of 180°C for 1 hour. Micro-

Vickers hardness testing and microstructure inspections were carried out. The results of the experiment showed that the efficiency of egg shell as the energizer (for increasing hardness on surfaces of low carbon steel) was higher than that of blood cockle shell even though the carburizing temperature is lower.

Keywords: surface hardening, pack carburizing, blood cockle shell, egg shell, eucalyptus wood charcoal

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตงานทางด้านโลหะ เทคนิคการชุบแข็งที่ผิวด้วยกรรมวิธีแพ็กคาร์เบอไรซิง (Pack Carburizing) เป็นหนึ่งในวิธีที่นิยม เพราะไม่ยุ่งยากและใช้ต้นทุนต่ำ วิธีการนี้สามารถทำให้เหล็กมีความแข็งเพิ่มขึ้นได้โดยอาศัยการเพิ่มคาร์บอนที่ผิว โดยใช้ถ่านผสมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วนำไปทำการชุบแข็งต่อไป สารเร่งปฏิกิริยาที่ช่วยให้เกิดการแตกตัวของคาร์บอน ได้แก่ แบเรียมคาร์บอเนต ($BaCO_3$) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) สารประกอบคาร์บอเนตเหล่านี้เมื่อถูกความร้อนจะเกิดการแตกตัวได้แก๊ส CO_2 ดังปฏิกิริยา

$$BaCO_3 \rightarrow BaO + CO_2$$

$$Na_2CO_3 \rightarrow Na_2O + CO_2$$

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

จากนั้น CO_2 จะรวมตัวกับคาร์บอนในถ่านทำให้ได้แก๊ส CO แก๊ส CO ที่เกิดขึ้นสัมผัสกับผิวเหล็กแล้วแตกตัวให้อะตอมของคาร์บอนและแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจะเกิดอย่างต่อเนื่อง [1-3] ดังนี้

$$3Fe + 2CO \rightarrow Fe_3C + CO_2$$

หรือ $3Fe + 2CO \rightarrow 3Fe + C_{(\text{ละลายในออสเทไนต์})} + CO_2$

การแพร่ของคาร์บอนเข้าไปในเนื้อเหล็กขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เวลา ชนิดและปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวที่ผ่านมา [4-6] เป็นการผสมสารแพ็กคาร์บูไรซิงระหว่างถ่านไม้และถ่านโค้กกับสารเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ เข้าด้วยกันในปริมาณที่ต่างกัน ทำให้ไม่ทราบประสิทธิภาพของสารเร่งแต่ละชนิดว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากงานวิจัยต่าง ๆ พบว่า สารประกอบจำพวกคาร์บอเนตนั้นมีอยู่ในวัสดุที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ เช่น เปลือกไข่ไก่ เปลือกหอยแครง และหินปูน โดยในเปลือกไข่ไก่นั้นมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ถึง 97% โดยน้ำหนัก [7] ส่วนเปลือกหอยแครงนั้นมีสารประกอบคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ชนิด Aragonite ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกชนิดหนึ่งของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความหนาแน่นและความแข็งที่สูงเป็นส่วนผสมหลัก [8] สำหรับหินปูนนั้นปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตจะมีปริมาณที่แตกต่างกันตามชนิดของหินปูน หากเป็นหินปูน (Limestone) จะมีปริมาณ $CaCO_3$ อยู่ระหว่าง 80-98% แต่ถ้าเป็นหินปูนชนิด Dolomitic limestone จะมีปริมาณ $CaCO_3$ ระหว่าง 42.8-57% [9] ดังนั้นจะเห็นได้ว่า วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาตินั้นมีส่วนประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตที่น่าจะสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาระหว่างเปลือกไข่ไก่กับเปลือกหอยแครงในการชุบผิวแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บูไรซิง เพื่อพัฒนาวัตถุดิบที่หาได้จากธรรมชาติที่เป็นเศษเหลือทิ้ง

2. วิธีการทดลอง

2.1 ข้อกำหนดการทดลอง

- สารเพิ่มคาร์บอนใช้ถ่านไม้ยูคาลิปตัส
- สารเร่งปฏิกิริยาใช้เปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแครงบดละเอียดผสม 20% โดยน้ำหนัก
- ชิ้นทดสอบใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010
- อุณหภูมิการเพิ่มคาร์บอนที่ผิว 900°C, 950°C ± 10°C
- เวลาการเพิ่มคาร์บอนที่ผิว 2, 4 และ 6 ชั่วโมง (เตาอบยี่ห้อ MODUTEMP รุ่น WW51A)
- ชุบแข็งโดยใช้อุณหภูมิออสเทไนไทซิง 780°C เวลา 30 นาที ทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 1 ชั่วโมง

- ทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (เครื่องทดสอบยี่ห้อ Matsuzawa รุ่น MHT2)
- ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคภาพขาวดำด้วยกล้องจุลทรรศน์ (ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BX60M)

2.2 การดำเนินการทดลอง

ชิ้นทดสอบที่ศึกษาเป็นเพลาตันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 การเตรียมสารแพ็กคาร์บูไรซิงดำเนินการโดยนำถ่านไม้ยูคาลิปตัสมาทำการบดและร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 5 มิลลิเมตร จากนั้นผสมกับผงไข่ไก่และเปลือกหอยแครงบดละเอียดเป็นสารเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 20% โดยน้ำหนัก

รูปที่ 1 แสดงลักษณะของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเพลากลม

การแพ็กคาร์บูไรซิงทำโดยนำชิ้นทดสอบบรรจุลงในกล่องเหล็กแล้วเติมสารแพ็กคาร์บูไรซิงที่เตรียมไว้จนเต็มโดยความหนาของสารแพ็กคาร์บูไรซิงจากผิวกล่องด้านในถึงชิ้นทดสอบจะต้องไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว จากนั้นทำการปิดฝากล่องและใช้ดินเหนียวเคลือบด้านบนฝาปิดแล้วนำเข้าเตาอบให้ความร้อนและเวลาตามที่กำหนด จากนั้นนำกล่องเหล็กบรรจุชิ้นทดสอบออกจากเตาแล้วนำชิ้นทดสอบออกจากกล่องเหล็กเพื่อให้เย็นตัวในอากาศ

รูปที่ 2 แสดงลักษณะของการใส่ชิ้นทดสอบลงในกล่องเหล็ก

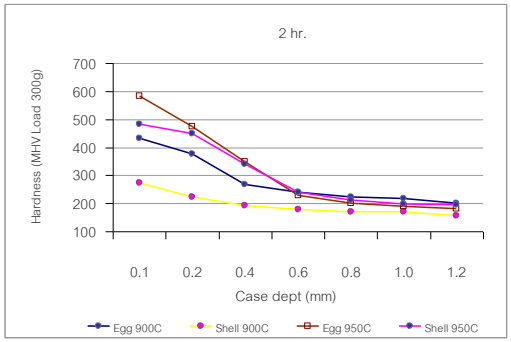
การชุบแข็งและทำเทมเปอร์ทำโดยนำชิ้นทดสอบที่ผ่านการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวมาทำการชุบแข็งโดยใช้อุณหภูมิออสเทไนไทซิง 780°C เวลาอบแช่ 30 นาที จุ่มชุบในน้ำเย็นและทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 180°C เวลาอบแช่ 1 ชั่วโมง เมื่อได้เวลาแล้วนำชิ้นทดสอบออกจากเตาแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

การทดสอบความแข็งดำเนินการโดยนำชิ้นทดสอบไปตัดครึ่งแล้วขัดด้วยกระดาษทรายจากเบอร์หยาบไปจนถึงเบอร์ละเอียดและทำการขัดมันด้วยผ้าสักหลาดจากนั้นนำไปทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์สโดยใช้ Load 300 กรัม กำหนดให้วัดระยะความลึกผิวจุดแรกห่างจากผิวงาน 0.1 มิลลิเมตร จุดต่อ ๆ ไปห่างกันจุดละ 0.2 มิลลิเมตร แต่ละชั้นความลึกทำการวัด 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย ชิ้นทดสอบที่ใช้ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคจะนำไปตรึงชิ้นงานด้วยเรซินเพื่อดำเนินการขัดกระดาษทรายและขัดผิวมันแล้วทำการกัดกรดด้วย 3%Nital ถ่ายภาพโครงสร้างที่ระดับชั้นความลึกต่าง ๆ

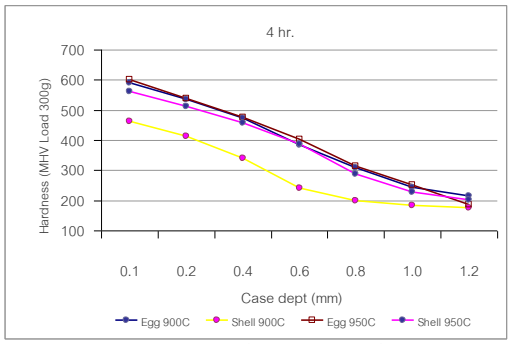
3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 การเปรียบเทียบความแข็ง

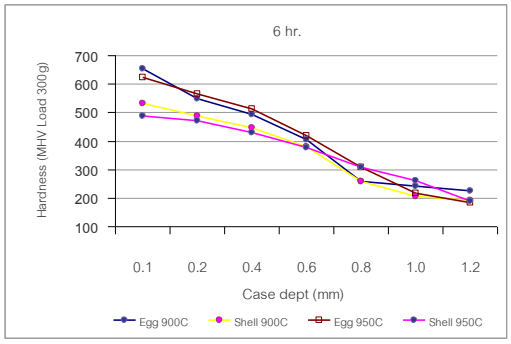
การเปรียบเทียบความแข็งของชิ้นทดสอบที่เพิ่มคาร์บอนโดยใช้ถ่านผสมกับเปลือกไข่ไก่และเปลือกหอยแครงแสดงในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าที่เวลา 2 ชั่วโมงนั้นค่าความแข็งของเปลือกไข่ไก่ที่อบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950°C ให้ค่าความแข็งสูงที่สุด ส่วนที่ให้ค่าความแข็งต่ำที่สุดคือ เปลือกหอยแครงที่อบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 900°C เมื่อเวลาเพิ่มเป็น 4 ชั่วโมง ค่าความแข็งของเปลือกไข่ไก่ที่อบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 900°C เพิ่มขึ้นมาจนสูงกว่าเปลือกหอยแครงที่อบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950°C และมีความแข็งใกล้เคียงกับเปลือกไข่ไก่ที่อบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950°C และที่เวลา 6 ชั่วโมง ค่าความแข็งของเปลือกไข่ไก่ยังสูงขึ้นอีก ในขณะที่เปลือกหอยแครงที่อบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 900°C นั้นความแข็งสูงขึ้นมาใกล้เคียงกับที่อบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950°C จากข้อมูลเบื้องต้นจะเห็นได้ว่าเปลือกไข่ไก่สามารถเพิ่มความแข็งได้มากกว่าเปลือกหอยแครงและเวลามีผลต่อการเพิ่มคาร์บอนโดยเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งที่สูงขึ้น



(ก) เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 2 ชั่วโมง



(ข) เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 4 ชั่วโมง



(ค) เวลาการอบเพิ่มคาร์บอน 6 ชั่วโมง

รูปที่ 3 ความแข็งของเวลาการอบเพิ่มคาร์บอนต่าง ๆ

3.2 โครงสร้างจุลภาค

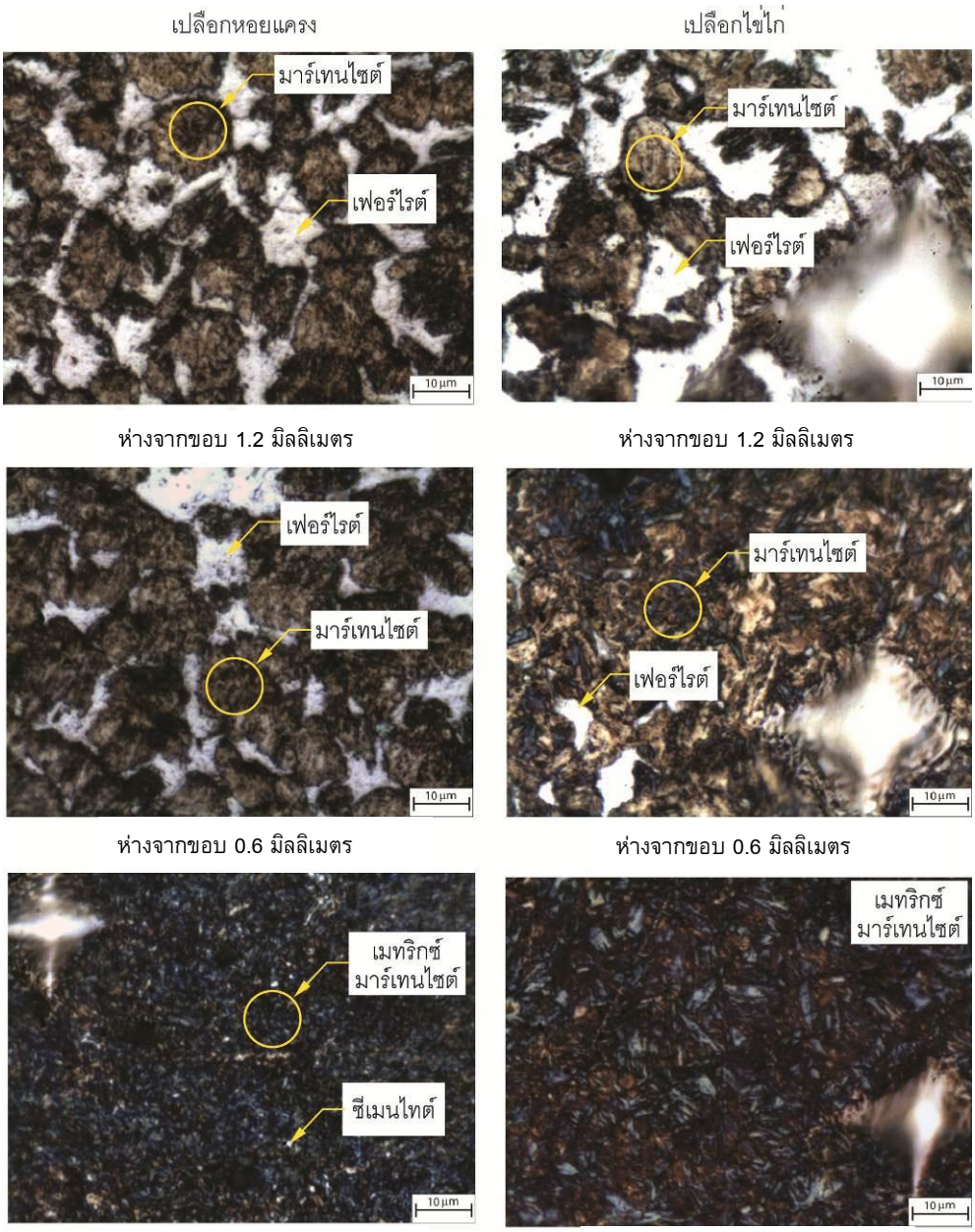
โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบแสดงในรูปที่ 3 โดยภาพโครงสร้างที่นำมาแสดงนี้ถ่ายที่ตำแหน่งห่างจากผิวของชิ้นทดสอบเข้ามา 0.2, 0.6 และ 1.2 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่า โครงสร้างที่ความลึก 0.2 มิลลิเมตร ของชิ้นงานที่ผ่านการอบเพิ่มคาร์บอนโดยใช้สารเร่ง 2 ชนิดจะมีเมทริกซ์เป็นมาร์เทนไซต์โดยสารเร่งที่เป็นเปลือกหอยแครงจะมีคาร์ไบด์ขนาดกระจายอยู่ทั่วไปในเมทริกซ์มาร์เทนไซต์ที่ค่อนข้างละเอียด ส่วนสารเร่งที่เป็นเปลือกไข่ไก่โครงสร้างมาร์เทนไซต์ค่อนข้างหยาบ ถัดขึ้นมาที่ความลึก 0.6 มิลลิเมตรโครงสร้างของสารเร่งที่เป็นเปลือกหอยแครงโครงสร้างประกอบไปด้วยมาร์เทนไซต์และเฟอร์ไรต์เช่นเดียวกับสารเร่งเปลือกไข่ไก่ แต่ปริมาณเฟอร์ไรต์มีน้อยกว่ามากจึงทำให้สารเร่งเปลือกไข่ไก่ให้ความแข็งที่สูงกว่าสารเร่งเปลือกหอยแครงและจุดสุดท้ายที่ความลึก 1.2 มิลลิเมตรโครงสร้างของสารเร่งทั้งสองประกอบไปด้วยเฟอร์ไรต์และมาร์เทนไซต์ บริเวณนี้ปริมาณคาร์บอนแพร่เข้าไปได้น้อยทำให้มีโครงสร้างเฟอร์ไรต์อยู่มาก บริเวณนี้จึงอ่อนตัวสูง

3.3 อภิปรายผล

ในการเปรียบเทียบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาในการเพิ่มคาร์บอนระหว่างเปลือกหอยแครงและเปลือกไข่ไก่จะเห็นได้ว่าเปลือกไข่ไก่ให้ผลของความแข็งสูงกว่าเปลือกหอยแครงทั้งนี้เนื่องมาจากเปลือกไข่ไก่นั้นมีส่วนประกอบของสารแคลเซียมคาร์บอเนตสูงถึง 97% โดยน้ำหนัก [7] ส่วนเปลือกหอยแครงนั้นจากเอกสารของ Mohamed M. et al., [8] ระบุไว้ว่ามีสารประกอบ$CaCO_3$ ชนิด Aragonite ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกชนิดหนึ่งของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความหนาแน่นและความแข็งที่สูงเป็นส่วนผสมหลักแต่ไม่ได้ระบุไว้ว่ามีปริมาณเท่าไร ซึ่งจะได้ทำการศึกษาต่อไปเพื่อสนับสนุนผลการทดลอง ส่วนผลการทดลองที่ความลึกมากขึ้นแล้วค่าความแข็งลดลงนั้นเพราะเวลามีผลต่อการแพร่ของอะตอมของคาร์บอนโดยเวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คาร์บอนสามารถแพร่เข้าไปในผิวเหล็กได้มากขึ้นเป็นไปตามกฎของฟิกส์ [10] ที่ว่าการแพร่จะแปรผันตามความเข้มข้นของอะตอมและเวลาในการแพร่ ดังนั้นเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่ 2, 4 และ 6 ชั่วโมงจึงทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นไปตามลำดับ

4. สรุป

เปลือกไข่ไก่มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่ผิวของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแพ็กคาร์บูไรซิงที่สูงกว่าเปลือกหอยแครง โดยให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าถึงแม้อุณหภูมิอบเพิ่มคาร์บอนจะต่ำกว่า และเวลาในการอบเพิ่มคาร์บอนที่สูงขึ้น มีผลต่อความแข็งและความลึกของชั้นผิวแข็งเพิ่มขึ้น เปลือกไข่จึงเป็นทางเลือกที่ดีในการใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่ผิวเพราะสามารถได้ง่าย และการเตรียมสารที่ง่ายกว่าเปลือกหอยแครงเพราะเปลือกไข่นั้นมีความแข็งน้อยกว่าเปลือกหอยแครง



รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบที่ความลึกต่างๆ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุในความอนุเคราะห์การใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่สนับสนุนทุนวิจัยในงานนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Sinha A. K., Physical Metallurgy Handbook, McGraw-Hill Company Inc, 2003

[2] Lakhtin Y. M., Engineering Physical Metallurgy and Heat Treatment, Mir Publishers Moscow, 1990

[3] Rajan T. V., et al., Heat Treatment; Principles and Techniques, Prentice-Hall of India Private Limited, 1994

[4] ธีระเดช ธีรทรัพย์กุล และ ประวุธ ตันตยกร, รายงานการศึกษาทดลอง เรื่อง Pack carburizing compound, สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมสนับสนุน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

[5] ศิริพร ดาวพิเศษ และ วชิร ฉายสุวรรณ, เม็ดถ่านผสมสำหรับใช้ในการเติมคาร์บอนที่ผิวเหล็ก, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 8(5): 19-23, 2541

[6] เหรียญ พลต้าง, การทดลองเปรียบเทียบส่วนผสมของสารแพ็กคาร์บูไรซิงในกระบวนการชุบผิวแข็งโลหะ, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541

[7] วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์ และ คณะ, รายงานการวิจัยการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิทจากเปลือกไข่ไก่, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2554

[8] Mohamed M. et al., Decomposition Study of Calcium Carbonate in Cockle Shell, Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 7, No.1., 2012

[9] Khorram F. et al., Limestone Chemical Compositions Estimation Using Image Processing and Pattern Recognition Techniques, Journal of Mining & Environment, Vol.2 No.2, 2011

[10] Askeland D.R. and Phule P.P., The Science and Engineering of Materials, Thomson Brooks/Cole, 2003

อิทธิพลของแรงดันกดและความหยาบผิวสัมผัสที่มีต่อลักษณะการสึกหรอแบบขูดขีดของพอลิเอทิลีนชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง

Influence of Compression Load and Counterface Roughness onto Abrasive Wear Characteristic of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene

ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม [1,*], นพณัช พวงมาลี [2]
[1] ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี 25230
[2] สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เขตธนบุรี จ.กรุงเทพมหานคร 10600
E-mail: narongrits@kmutnb.ac.th*

Narongrit Sonjaitham [1,*], Noppanuch Puangmalee [2]
[1] Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus, Muang, Prachinburi, 25230
[2] Department of Industrial Management and Technology, Faculty of Science and Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Dhonburi, Bangkok, 10600
E-mail: narongrits@kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของแรงดันกดและความหยาบผิวสัมผัสที่มีต่อพอลิเอทิลีนชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูงภายใต้การทดสอบการสึกหรอแบบขูดขีด ตามมาตรฐาน GOST 426-77 ซึ่งพบว่า ขนาดความลึกและความกว้างของร่องรอยที่เกิดจากการทดสอบและอัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดเฉลี่ยอนุภาคผงขัดเพิ่มขึ้น ในส่วนพฤติกรรมการสึกหรอแบบขูดขีดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วงลักษณะ คือ ช่วงลักษณะที่ 1 การสึกหรอมีอัตราการสูญเสียเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลา 5-15 นาทีแรกของการทดสอบ, ช่วงลักษณะที่ 2 การสึกหรอมีอัตราการสูญเสียเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นคงที่หรือสม่ำเสมอ ซึ่งเกิดขึ้นหลังการทดสอบผ่านไปประมาณ 15 นาที นอกจากนี้แรงดันกดและขนาดเฉลี่ยอนุภาคผงขัดมีผลต่ออัตราการสึกหรออย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อแรงดันกดและ/หรือขนาดเฉลี่ยอนุภาคผงขัดเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการสึกหรอที่รุนแรงมากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้อัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับกลไกการสึกหรอแบบขูดขีดในงานวิศวกรรม

คำหลัก พอลิเอทิลีนชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง, การสึกหรอแบบขูดขีด, ขนาดอนุภาคผงขัด

Abstract

This paper is study to influence of work conditions: difference compression load and counterface roughness onto UHMWPE under abrasive wear test according to GOST 426-77. It is found that the formation of deep and wide furrows on worn surface and abrasive intensity are increase when the number of grit grade is decrease (average grit size is increase). The behavior of abrasive wear can

classify to ; the first characteristic: volume loss quickly increase in beginning running time about 5-15 minutes, which it be compared as “run-in” wearing stage, the second characteristic: volume loss regularly increase after running time about 15 minutes, which is approaching to “steady-state” wearing stage. In addition the abrasive wear intensity increase with increasing of compression load and/or decreasing of number of grit grade (average grit size increase). The results of this research can apply to abrasive applications in mechanical engineering.

Keywords: Ultra-high molecular weight polyethylene, Abrasive wear, Abrasive grit size.

1. บทนำ

พอลิเอทิลีนชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง (Ultra-high molecular weight polyethylene: UHMWPE) เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ต้านทานการสึกหรอสูง ทนต่อแรงกระแทกสูง มีสมบัติการลื่นไถลดี ความเสียดทานต่ำ และอื่น ๆ เป็นต้น UHMWPE เป็นพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในงานวิศวกรรมและงานทางการแพทย์ [1] สำหรับในงานวิศวกรรม UHMWPE ถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร เช่น แบริ่ง เกียร์ ฮอบเปอร์ และอื่น ๆ เป็นต้น สำหรับงานทางการแพทย์ UHMWPE ถูกมาใช้เป็นอวัยวะข้อต่อเทียม เช่น ชิ้นส่วนประกอบสะโพกเทียมและหัวเข่าเทียม เนื่องจาก UHMWPE เป็นพอลิเมอร์ที่มีเสถียรภาพทางเคมีสูง และไม่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อในร่างกายมนุษย์ [2] แต่อย่างไรก็ตาม การนำ UHMWPE ไปใช้งานต่างๆ ส่วนใหญ่นั้น วัสดุจำเป็นต้องมีความต้านทานการสึกหรอสูง ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องการของวัสดุ เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน [3]

การสึกหรอ [4] คือ การสูญเสียเนื้อวัสดุบริเวณผิวสัมผัสระหว่างการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสัมพัทธ์ของชิ้นงานคู่สัมผัส โดยผิวสัมผัสของวัสดุที่แข็งกว่าจะทำความเสียหายให้กับผิวสัมผัสของวัสดุที่อ่อนกว่า นอกจากนี้ สมบัติทางกลและเงื่อนไขสภาพการใช้งาน ยังเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อลักษณะของการสึกหรอ ซึ่งกลไกการสึกหรอที่สำคัญที่เกิดขึ้นกับพอลิเมอร์คือ การสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive wear) การสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive wear) และ การสึกหรอแบบการล้า (Fatigue wear) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสึกหรอแบบขูดขีด เป็นกลไกการสึกหรอที่สร้างความเสียหายมากที่สุดเมื่อเทียบกับกลไกการสึกหรออื่น ๆ ซึ่งคิดเป็นมูลค่าประมาณ 63% ของมูลค่าความเสียหายจากกลไกการสึกหรอทั้งหมด [5]

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกลไกการสึกหรอแบบขูดขีดของ UHMWPE รวมถึงการรายงานการศึกษาผลกระทบของเงื่อนไขสภาพการใช้งานที่มีต่อการสึกหรอแบบขูดขีดของชิ้นส่วนอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ทำมาจาก UHMWPE มีไม่มากนัก

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาอิทธิพลของเงื่อนไขสภาพการใช้งาน คือ แรงดันกดและความหยาบผิวสัมผัสที่มีต่อ UHMWPE ภายใต้การทดสอบการสึกหรอแบบขูดขีด เพื่อการประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับกลไกการสึกหรอแบบขูดขีดในงานวิศวกรรม

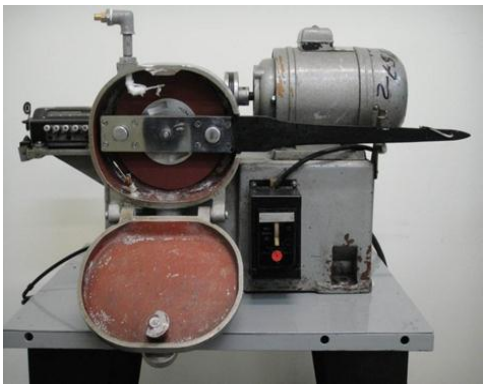
2. วิธีการดำเนินการวิจัย

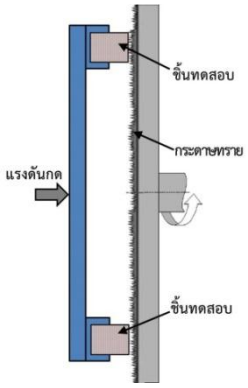
งานวิจัยนี้ใช้ UHMWPE เกรด GUR 2122 ของบริษัท Ticona ประเทศเยอรมัน ซึ่งมีขนาด 50-70 μm และน้ำหนักโมเลกุลที่ประมาณ 2.6×10^{6} g/mol โดยชิ้นทดสอบถูกผลิตขึ้นด้วยวิธีการกดอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (hot-compressing) ที่ความดัน 10 MPa อุณหภูมิ 190°C หลังจากนั้น เย็นตัวในแม่พิมพ์ที่อัตราการเย็นตัว 3-4 °C/min

ชิ้นทดสอบถูกทำการทดสอบแรงดึง โดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ “Instron-5582” ขนาดและรูปร่างชิ้นทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D638 และทดสอบความแข็งโดยวิธี shore D (ASTM D2240)

การทดสอบการสึกหรอถูกทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ “MI-2” ดังแสดงในรูปที่ 1 ก) ตามมาตรฐาน GOST 426-77 ชิ้นทดสอบมีขนาด $10\times10\times8$ mm^3 โดยทำการขัดถูกับกระดาษทรายเบอร์ P400, P320, P240 และ P180 ซึ่งมีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคผงขัดประมาณ 35.0, 46.2, 58.5 และ 82.0 μm ตามลำดับ โดยมีแรงดัน

กดกระทำกับชิ้นทดสอบประมาณ 0.05, 0.10 และ 0.15 MPa และที่ความเร็วผิวสัมผัส 17.0 m/s. ชิ้นทดสอบสองชิ้นจะถูกยึดในตำแหน่งที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 1.ข) การทดสอบจะใช้เวลา 40 นาที โดยการทดสอบทุก ๆ 5 นาที ชิ้นทดสอบจะถูกนำมาชั่งน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่งอิเลคทรอนิคส์ ที่มีความละเอียด 0.1 mg เพื่อคำนวณหาปริมาตรสูญเสียเนื้อวัสดุเของชิ้นทดสอบเนื่องจากการสึกหรอ ผิวสัมผัสของชิ้นทดสอบที่เกิดการสึกหรอจะถูกถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ “Carl Zeiss Stemi 2000–C” และภาพโครงสร้างจุลภาคจะถูกถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดแบบส่องกวาด “JEM_100CX”


ก)



ข)

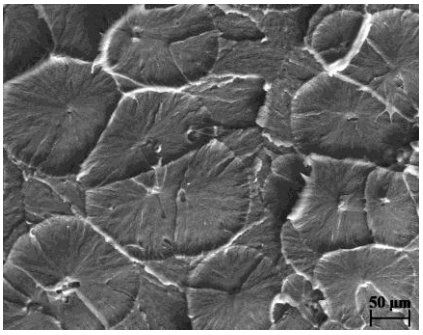
รูปที่ 1 ก) เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบขูดขีด และ ข) ลักษณะการจับยึดชิ้นทดสอบ

3. ผลการวิจัย

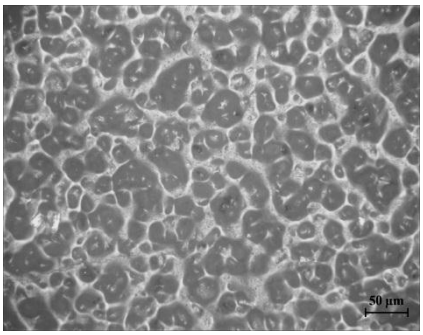
สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของ UHMWPE ดังแสดงในตารางที่ 1 [6] และโครงสร้างจุลภาคของ UHMWPE แสดงในรูปที่ 2 [7] โดยมีโครงสร้างจุลภาคเป็น sphereulitic structure ซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างจุลภาคทั่วไปส่วนใหญ่ของ UHMWPE ที่ถูกขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีกดอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน

ตารางที่ 1 สมบัติกายภาพและสมบัติทางกลของ UHMWPE [6]

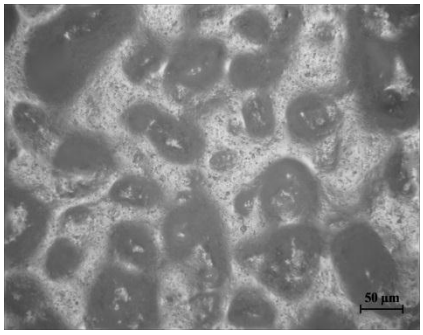
สมบัติกายภาพและทางกล	
Density (g/cm^3)	0.936
Hardness (shore D)	57.9
Ultimate tensile strength (MPa)	33.5
Elongation (%)	380.4



รูปที่ 2 โครงสร้างจุลภาคของ UHMWPE [7]



ก)

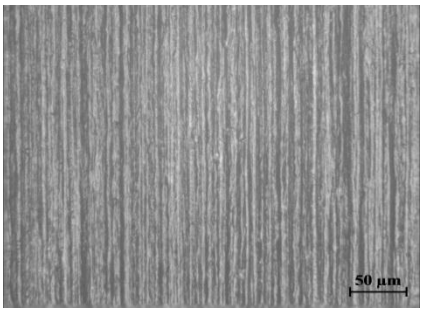


ข)

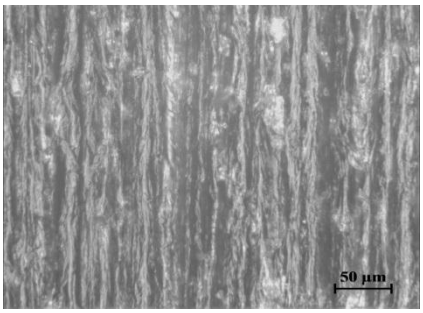
รูปที่ 3 ลักษณะผิวสัมผัสกระดาษทราย ก) P400 และ ข) P240

นอกจากนี้ รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างลักษณะผิวสัมผัสของกระดาษทรายเกรด P400 และ P240 ซึ่งมีลักษณะความหยาบผิวที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคผงขัดที่ติดอยู่บนผิวกระดาษทราย ความแตกต่างของอนุภาคผงขัดมีผลต่อความรุนแรงของการสึกหรอ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากลักษณะรอยขูดขีดที่เกิดขึ้นบริเวณ

ผิวสัมผัสของชิ้นทดสอบหลังการทดสอบการสึกหรอแบบขูดขีดด้วยกระดาษทรายเกรด P400 และ P240 ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งพบว่า ขนาดอนุภาคผงขัดที่มีขนาดใหญ่กว่าทำให้เกิดร่องรอยอันเนื่องจากการขูดขีดของอนุภาคผงขัดที่มีลักษณะร่องรอยที่ลึกและกว้างกว่าร่องรอยที่เกิดจากอนุภาคผงขัดที่มีขนาดเล็กกว่า



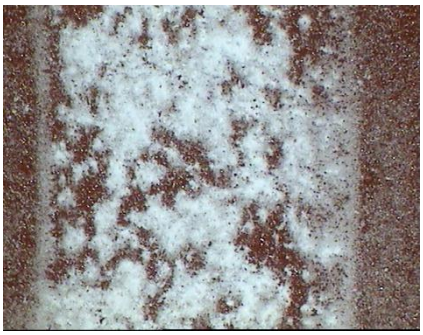
ก)



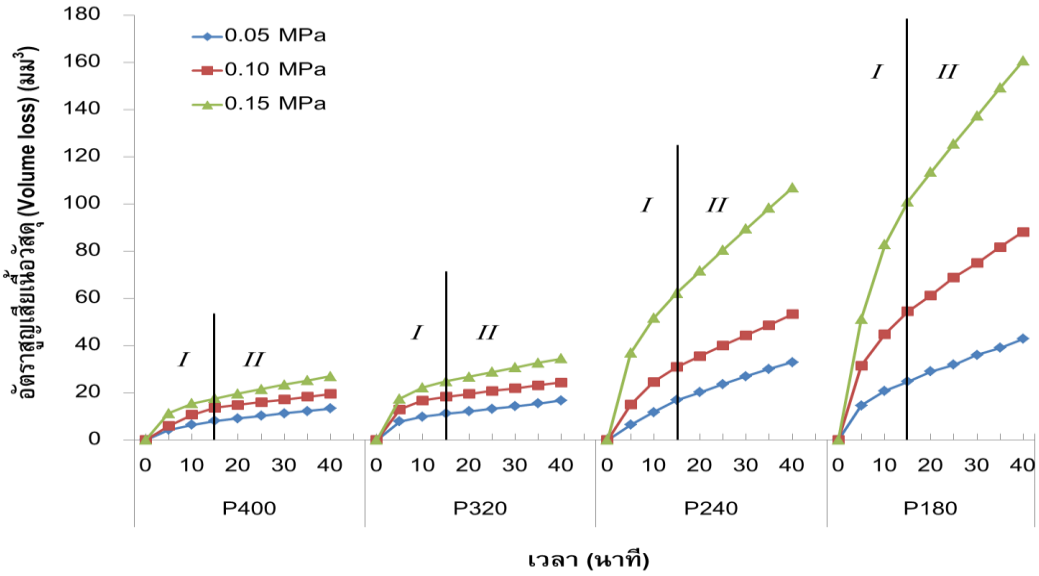
ข)

รูปที่ 4 ลักษณะผิวสัมผัสของชิ้นทดสอบหลังการทดสอบการสึกหรอแบบขูดขีดกับกระดาษทรายเกรด ก) P400 และ ข) P240

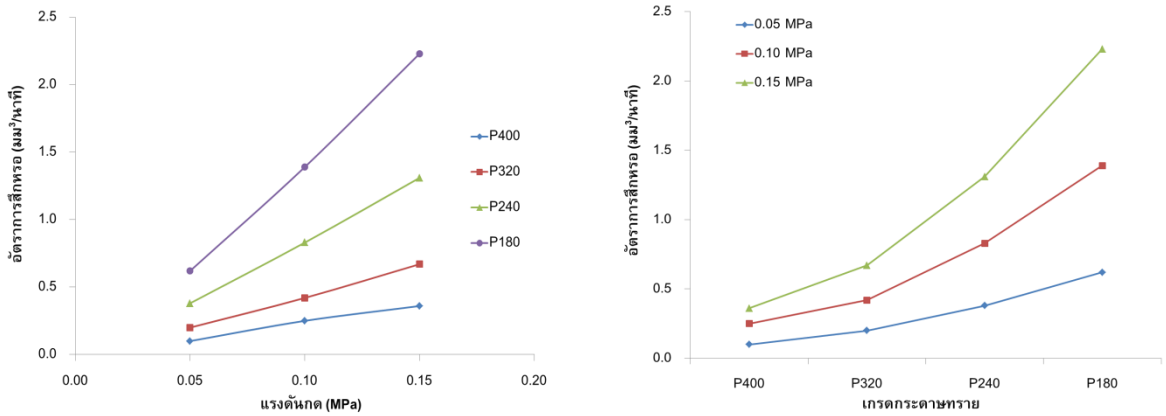
ผลการศึกษาการสึกหรอแบบขูดขีดของชิ้นทดสอบภายใต้แรงดันกด 0.05, 0.10 และ 0.15 MPa ทำการทดสอบกับกระดาษทรายเกรด P400, P320, P240 และ P180 ซึ่งมีขนาดอนุภาคผงขัด 35.0, 46.2, 58.5 และ 82.0 µm ตามลำดับ และความเร็วผิวสัมผัส 17.0 m/s ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่า ลักษณะการสึกหรอภายใต้เงื่อนไขการทดสอบทุกเงื่อนไข สามารถแบ่งลักษณะการสึกหรอเป็น 2 ช่วงลักษณะ คือ ช่วงลักษณะที่ 1 เป็นการสึกหรอที่มีอัตราการสูญเสียเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงเวลา 5-15 นาทีแรกของการทดสอบ, ช่วงลักษณะที่ 2 เป็นการสึกหรอที่มีอัตราการสูญเสียเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นคงที่หรือสม่ำเสมอ ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังการทดสอบผ่านไปประมาณ 15 นาที นอกจากนี้ยังพบว่า เศษวัสดุของชิ้นทดสอบที่เกิดขึ้นจากการสึกหรอ จะปรากฏติดอยู่บนผิวสัมผัสของกระดาษทรายดังแสดงในรูปที่ 6 โดยเศษวัสดุดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นของแข็ง ซึ่งส่งผลทำให้อัตราการสูญเสียเนื้อวัสดุของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้นคงที่อย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 6 ลักษณะผิวสัมผัสของกระดาษทรายภายหลังการทดสอบ



รูปที่ 5 อัตราสูญเสียเนื้อวัสดุของชิ้นทดสอบ



ก) ข)

รูปที่ 7 อัตราการสึกหรอของชิ้นทดสอบภายใต้เงื่อนไขการทดสอบต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาอัตราการสึกหรอภายใต้เงื่อนไงการทดสอบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยอัตราการสึกหรอจะถูกคำนวณภายใต้สภาวะอัตราการสูญเสียเนื้อวัสดุของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้นคงที่หรือสม่ำเสมอ ซึ่งพบว่า เมื่อความแรงดันกดที่กระดาษทรายเกรดเดียวกันเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 7 ก) ขณะเดียวกัน เมื่อเกรดกระดาษทรายที่แรงดันกดเดียวกันลดลง (ขนาดเฉลี่ยอนุภาคผงขัดเพิ่มขึ้น) ก็ส่งผลให้อัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 7 ข)

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของแรงดันกดและความหยาบผิวสัมผัสที่มีต่อลักษณะการสึกหรอแบบขูดขีดของ UHMWPE สามารถสรุปผลได้ดังนี้

เกรดกระดาษทราย (ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคผงขัด) มีผลต่อความลึกและความกว้างของร่องรอยการขูดขีดหลังการทดสอบและความรุนแรงของการสึกหรอแบบขูดขีด ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ความลึกและความกว้างของร่องรอยการขูดขีดและความรุนแรงของการสึกหรอแบบขูดขีดจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดเฉลี่ยของอนุภาคผงขัดเพิ่มขึ้น

พฤติกรรมของการสึกหรอแบบขูดขีดของวัสดุภายใต้เงื่อนไงสภาวะการทดสอบต่าง ๆ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงลักษณะ คือ ช่วงลักษณะที่ 1 การสึกหรอมีอัตราการสูญเสียเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลา 5-15 นาทีแรกของการทดสอบ, ช่วงลักษณะที่ 2 การสึกหรอมีอัตราการสูญเสียเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นคงที่หรือสม่ำเสมอ ซึ่งเกิดขึ้นหลังการทดสอบผ่านไปประมาณ 15 นาที

แรงดันกดและขนาดเฉลี่ยอนุภาคผงขัดมีผลต่ออัตราการสึกหรออย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อแรงดันกดและ/หรือขนาดเฉลี่ยอนุภาคผงขัดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Hsien-Chang Kuo, et al., The influence of injection molding on tribological characteristics of UHMWPE under dry sliding, Wear 268 (2010) 803-810.

[2] Jin Tong, Yunhai Ma, Man Jiang, Effects of the wollastonite fiber modification on the sliding wear behavior of the UHMWPE composites, Wear 255 (2003) 734-741.

[3] L.M. Brunner and T.A. Tervoort, Abrasive wear of Ultra-high molecular weight polyethylene, Encyclopedia of Materials: Science and Technology (2006) 1-8.

[4] Mulchings IM. Mechanisms of wear in powder technology. Powder Technol 1993; 76:3–13.

[5] Neale MJ, Gee M. Guide to wear problems and testing for industry. New York, USA: William Andrew Publishing; 2001.

[6] S. V. Panin, L. A. Kornienko, N. Sonjaitham, et al., Abrasive Wear of Micro- and Nanocomposites Based on Super-High-Molecular Polyethylene (SHMPE). Part 1. Composites Based on SHMPE Filled with Microparticles AlO(OH) and Al_2O_3, Journal of Friction and Wear, 2012, Vol. 33, No. 5, pp. 381–387.

[7] S.V. Panin, L.A. Kornienko, N. Sonjaitham, et al., Wear resistant ultra-high molecular weight polyethylene based nano- and microcomposites for implants, Journal of Nanotechnology, Vol. 2012.

การเปรียบเทียบวิธีการเทน้ำโลหะที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างระดับมหภาคของโลหะอลูมิเนียมผสมเกรด A356

The Comparison of pouring method effect to mechanical properties and Macro structure of Aluminum Alloy grade A356

กานต์ วิรุณพันธ์*[1] พิบูลย์ เครือคำอ้าย [2] กฤษฎา สุขจ่าง [3] อนุพงษ์ ธันยชนกกูล[4]
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
E-Mail : kant_wirunphan@hotmail.co.th [1]
Kant Wirunphan*[1] Phiboon Kruekumary [2] kitsada sukgang[3] Anuphong Thanyachanokkhul[4]
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak
E-Mail : kant_wirunphan@hotmail.co.th [1]

บทคัดย่อ

การดำเนินงานวิจัยนี้จะหลอมโลหะอลูมิเนียมผสมเกรด A356 ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสด้วยเตาไฟฟ้าและเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อถาวร 4 วิธีที่อุณหภูมิ 720 องศาเซลเซียส โดยทั้ง 4 วิธีประกอบด้วย (1)แบบหล่อตั้งฉากกับพื้นในสภาพปกติ (2)แบบหล่อตั้งฉากกับพื้นเทน้ำโลหะผ่านรางเทกว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร เอียงทำมุมกับพื้น 35 องศา (3)แบบหล่อวางเอียงทำมุมกับพื้น 30 องศาแล้วค่อยๆ เอียงตั้งฉากและ (4)แบบหล่อที่วางตั้งฉากบนเครื่องสั่นสะเทือนโดยมีอัตราการสั่นสะเทือน 20 ครั้งต่อวินาที จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการเทน้ำโลหะทั้ง 4 วิธีมาตรวจสอบโครงสร้างระดับมหภาคเพื่อหาขนาดของเกรนและทดสอบคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งตามมาตรฐาน DIN 50351 และความเค้นแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 ผลจากการดำเนินงานวิจัยพบว่าชิ้นงานที่ผ่านการเทน้ำโลหะเข้าในแบบหล่อที่เอียงทำมุมกับพื้น 30 องศา แล้วค่อยๆ เอียงตั้งฉากจะมีขนาดเฉลี่ยของเกรน ความแข็งและความเค้นแรงดึงดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเทน้ำโลหะอีก 3 วิธี ซึ่งค่าขนาดเฉลี่ยของเกรนคือ 2,744 ไมครอนต่อ100 ตารางมิลลิเมตร มีค่าความแข็งเฉลี่ย 83.99HB หรือมีความแข็งเพิ่มขึ้น19.99% และมีค่าความเค้นแรงดึงเฉลี่ยที่ 167.67 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรหรือมีความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น 11.49% ตามลำดับ

คำหลัก โลหะอลูมิเนียมผสมเกรด A356 วิธีการเทน้ำโลหะ แบบหล่อถาวร

Abstract

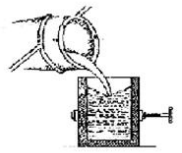
This operation of research is melting Al alloy grade A356 at 850°C by resistance furnace and pouring molten metal into at 720°C permanent mold 4 methods. First, the permanent mold perpendicular on the ground in the normal state. Second, permanent mold perpendicularly on the ground, pouring through the spillway width 40 mm length 400 mm slop 35 degrees on the ground. Third, the permanent mold tilting angle of 30 degrees to the ground, then slowly tilt perpendicular. Finally, the permanent mold placed perpendicular on vibration and vibration rate 20 times per sec. Next, examine the grain size of macro structure and test the mechanical properties such as hardness according to DIN 50351 and tensile stress according to ASTM E8 an specimen from pouring molten metal 4 methods. The results of the research, it was found that a specimen obtained by the permanent mold tilting angle of 30 degrees to the ground, then slowly tilt perpendicular, have fine grain, hardness and tensile stress more than when compared to other 3 metal pouring. The average of grain size is 2,744 μm /100 mm^2, 83.99 HB hardness or hardness increased 19.99% and the tensile stress is 167.67 N/mm^2 or tensile strength increased 11% respectively.

Keyword: Aluminum alloy grade A356, Pouring aluminum methods, Permanent Mold

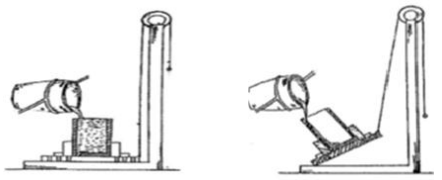
1. บทนำ

โลหะอลูมิเนียมผสมมีบทบาทสำคัญยิ่งต่ออุตสาหกรรม ถูกนำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรมเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นอยู่หลายประการ เช่นมีความสามารถในการหล่อหลอมที่ดี มีความต้านทานต่อการผุกร่อนในบรรยากาศและมีความแข็งแรงทนทานต่อน้ำหนักสูงจึงทำให้ถูกนำมาใช้ทดแทนโลหะจำพวกเหล็กเพิ่มขึ้น [1] ในกระบวนการหล่อโลหะอลูมิเนียมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีมีความคงทนต่อการใช้งานนั้นได้มีผู้ทำการทดลองหล่อหลอมและเทน้ำโลหะเข้าในแบบหล่อด้วยวิธีการต่างๆ เช่นการเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อในสภาวะปกติทั่วไป การเทน้ำโลหะผ่านรางเทน้ำโลหะและการเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อที่ถูกเขย่าในแนวระนาบ แต่ก็ยังพบปัญหาที่เกิดจากกระบวนการหล่อขึ้นคือในเรื่องของการจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดเกรนในโครงสร้างของชิ้นงานหล่อซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลกระทบโดยตรงเช่นคุณสมบัติทางกลของวัสดุ ด้านความแข็งและความแข็งแรงและส่งผลกระทบทางอ้อมคืออายุในการใช้งานของชิ้นงาน จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าสมเกียรติและธรรม์ธิกร [2] ได้ทำการศึกษาเทคนิคการเทน้ำโลหะเพื่อปรับปรุงโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานจากโลหะอลูมิเนียมผสมเกรด A356 โดยทดลองเทน้ำโลหะในสภาวะต่างๆ กัน โดยหลอมวัสดุด้วยเตาไฟฟ้าแบบขดลวดความต้านทานที่อุณหภูมิ 800°C กำจัดก๊าซไฮโดรเจนในน้ำโลหะด้วยก๊าซอาร์กอนที่อุณหภูมิ 760°C และเทน้ำโลหะที่อุณหภูมิ 720°C เข้าในแบบหล่อ 4 แบบ คือ(1)แบบหล่อตั้งอยู่ในแนวดิ่งบนโต๊ะงาน (2)แบบหล่อตั้งอยู่ในแนวดิ่งบนโต๊ะงานและทำการสั่นแบบต่อเนื่องด้วยอัตรา 10,20และ 30 ครั้งต่อวินาที (3)แบบหล่อเอียงทำมุมกับโต๊ะงาน 45องศาและค่อยๆ ปรับให้แบบทดลองตั้งตรงบนโต๊ะงานด้วยอัตราความเร็ว 20เมตรต่อนาทีและ (4)แบบหล่อที่เอียงทำมุมกับโต๊ะงาน 45 องศาพร้อมกับทำการสั่นแบบต่อเนื่องด้วยอัตรา 10,20 และ 30 ครั้งต่อวินาทีและค่อยๆ ปรับให้แบบหล่อตั้งตรงบนโต๊ะงานด้วยอัตราความเร็ว 20 เมตรต่อนาที จากนั้นนำชิ้นงานหล่อที่ได้ไปตัดแยกออกเป็นสองส่วน ซึ่งส่วนที่หนึ่งจะนำไปขัดผิวหน้าให้เรียบและกัดด้วยกรดเพื่อศึกษาโครงสร้างระดับมหภาค ความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์รูพรุน ส่วนที่สองนำไปทำชิ้นงานทดสอบศึกษาคุณสมบัติทางกลโดยการทดสอบความแข็งและความเค้นแรงดึง ผลการทดลองจะพบว่าชิ้นงานที่ได้จากการเทน้ำโลหะเข้าในแบบหล่อที่เอียงทำมุมกับโต๊ะงาน 45องศาพร้อมทำการสั่นแบบต่อเนื่องที่อัตรา 20 ครั้งต่อวินาทีและค่อยๆ ปรับให้ตั้งตรงบนโต๊ะงานที่อัตราความเร็ว 20 เมตรต่อนาที จะมีขนาดเกรนที่เล็กละเอียดมีความแข็งและมีค่าความเค้นแรงดึงสูงกว่าการเทแบบขั้นตอนอื่นๆ แต่จากผลการทดลองจะพบว่าถ้าใช้อัตราการสั่นตั้งแต่ 30 ครั้งต่อวินาที ชิ้นงานหล่อที่ได้จะมีรอยแตกร้าวและคุณสมบัติทางกลลดลง กฤษณ์และคณะ[3] ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของความยาวและมุมเอียงของรางเทน้ำโลหะที่มีผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของโลหะอลูมิเนียมผสมเกรด A356 ในการทดลองจะหลอมโลหะด้วยเตาไฟฟ้าแบบขดลวดความต้านทานและเทน้ำโลหะที่อุณหภูมิ 720°C เข้าแบบหล่อและให้น้ำโลหะไหลผ่านรางเทที่มีความกว้าง 40 มม.ยาว 350, 400 และ 450 มม.และมุมเอียง 35,40 และ 45 องศา กับแนวระนาบตามลำดับ นำชิ้นทดสอบไปศึกษาโครงสร้างมหภาค โดยวัดขนาดเกรนโดยวิธี Intercept length ตามมาตรฐาน ASTM E112-96 และทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 ผลการทดลองพบว่าการเทน้ำโลหะเข้าสู่แบบทดลองโดยเทผ่านรางเทที่มีความกว้าง 40 มม. และยาว 400 มม. และมุมเอียง 35องศา จะได้เกรนเล็กที่สุดและเมื่อเทียบกับการเทนำโลหะเข้าแบบทดลองโดยไม่ผ่านรางเทจะมีขนาดเกรนเล็กลง 22% มีความเค้นแรงดึงและอัตราการยืดตัวเพิ่มขึ้น18% และ 34% ตามลำดับ อนุรัตน์และคณะ [4] ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของการสั่นสะเทือนในการหล่อโลหะอลูมิเนียมที่มีผลต่อขนาดเกรนและคุณสมบัติทางกลโดยโลหะอลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลองจะแบ่งเป็น 2 เกรดคือเกรดบริสุทธิ์และเกรด A356 โดยในการทดลองจะทำการเทที่อุณหภูมิ 720°C และ 800°C ที่ความถี่ในการสั่น 0, 8, 9, 10, 11, 15, 20, 25 และ 30 Hz โดยหลอมอะลูมิเนียมในเตาไฟฟ้าแล้วทำการเทน้ำโลหะเข้าในแบบหล่อ ผลของการศึกษาชิ้นงานหล่อพบว่าการเปลี่ยนแปลงความถี่และแอมพลิจูดในการสั่นสะเทือนมีผลต่อขนาดเกรนของอะลูมิเนียมเกรด A356 โดยในช่วงความถี่ในการสั่นที่ 15-20 Hz จะทำให้เกรนมีขนาดเล็กลงเมื่อทำการเปรียบเทียบกับชิ้นงานหล่อที่ไม่มีการสั่นสะเทือนและคุณสมบัติทางด้านความแข็งของ

ชิ้นงานก็สูงขึ้น แต่ถ้าความถี่ในการสั่นเกินช่วงนี้ไปก็จะทำให้เกรนที่ได้มีขนาดโต แต่ในโลหะอลูมิเนียมบริสุทธิ์พบว่าการสั่นสะเทือนไม่มีอิทธิพลต่อขนาดของเกรนแต่อย่างใด จากผลการศึกษาพบว่าความถี่และแอมพลิจูดในการสั่นที่เปลี่ยนแปลงมีความเหมาะสมในการปรับขนาดของเกรนในอะลูมิเนียมเกรด A356 ให้มีขนาดเล็กได้และคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานทดสอบก็ตามไปด้วยสูงขึ้น แต่ความถี่และแอมพลิจูดในการสั่นที่เปลี่ยนไปแต่ละค่าไม่มีผลต่อโลหะอลูมิเนียมบริสุทธิ์ Kumar และ Pai [5] ได้ศึกษาและเสนอแนะถึงเทคนิคที่ง่ายและราคาถูกมากสำหรับการทำให้ความหนาแน่นและคุณสมบัติทางกลของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนสูงขึ้นในการทดลองนี้จะใช้โลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 มาหลอมในเบ้าหลอมที่อุณหภูมิ 750°C เมื่อวัสดุหลอมเหลวหมดแล้วกำจัดก๊าซและสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำโลหะซึ่งจะทำ 2 ลักษณะคือลักษณะแรกจะเติมฟลักซ์และไล่ก๊าซด้วยอาร์กอน ส่วนลักษณะที่สองจะเติมฟลักซ์อย่างเดียวโดยไม่ไล่ก๊าซ จากนั้นเทน้ำโลหะที่อุณหภูมิ 720°C ลงในแบบหล่อรูปทรงกระบอกโดยที่แบบหล่อมีอุณหภูมิ 150°C ลักษณะการวางแบบหล่อที่จะรองรับน้ำโลหะมี 2 ลักษณะคือ ลักษณะแรกจะเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อที่วางตั้งกับพื้นในแนวดิ่งดังรูปที่ 1 และลักษณะที่สองจะเทน้ำโลหะลงในแบบหล่อที่วางเอียงเป็นมุมกับพื้นแล้วค่อยๆ ปล่อยให้แบบหล่อตั้งกับพื้นในแนวดิ่งดังรูปที่ 2 ซึ่งความเร็วของล้อหมุนในการทำให้แบบหล่อวางตั้งกับพื้นในแนวดิ่งมีสองระดับคือ100 ครั้ง/นาทีและ 200 ครั้ง/นาที ผลการทดสอบด้านความหนาแน่น รูพรุนและสมบัติทางกลของชิ้นหล่อ พบว่าชิ้นงานหล่อที่ได้จากการเติมฟลักซ์และไล่ก๊าซโดยการเทลงในแบบหล่อที่เอียงแล้วค่อยๆ ปล่อยให้ตั้งกับพื้นในแนวดิ่งที่ความเร็ว 200 ครั้ง/นาที จะมีความหนาแน่น มีความแข็ง มีความแข็งแรงและมีอัตราการยืดตัวดีที่สุดและมีรูพรุนเกิดขึ้นน้อยมาก ดังนั้นคณะผู้ดำเนินงานวิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงเทคนิคการเทน้ำโลหะอลูมิเนียมผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพและคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อโลหะอลูมิเนียมผสมให้ดีขึ้น ทางคณะผู้ดำเนินงานวิจัยคาดว่าชิ้นงานหล่อโลหะอลูมิเนียมผสมที่ได้จากเทคนิคการเทน้ำโลหะนี้จะสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทางวิศวกรรมที่ตอบสนองต่อความต้องการในการใช้งานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวางและเกิดประโยชน์สูงสุด



รูปที่ 1 การเทน้ำโลหะลงแบบหล่อแบบธรรมดา



(1) (2)

รูปที่ 2 การเทโลหะหลอมเหลวและแบบหล่อเอียงเท
(1) การทำให้แบบหล่อค่อยๆ ตั้งในแนวดิ่งกับพื้น
(2) การเอียงแบบหล่อเพื่อเทโลหะหลอมเหลว

2. วัสดุเครื่องมืออุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 โลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356

โลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ตามมาตรฐานของ ANSI (American National Standard Institute) และจากสมาคมผู้ประกอบการหล่อโลหะนอกกลุ่มเหล็ก หรือ NFFS (Non Ferrous Founder Society) จัดให้อยู่ในกลุ่มโลหะผสม 3xx เกรด A356 ความแข็งแรงต่างๆ ก็จะดีขึ้นด้วยสามารถหล่อได้ทั้งแบบหล่อทรายและแบบหล่อโลหะได้ผลดีมากอีกด้วย การเปรียบเทียบมาตรฐานของโลหะอลูมิเนียมผสมเกรด A356 ดังตารางที่ 1 [6] คุณสมบัติด้านการใช้งานเหมาะที่สุดกับงานประเภทที่ต้องการความทนทานต่อการผุกร่อนและความแข็งแรงสูง ใช้งานอย่างกว้างขวางกับอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ชิ้นส่วนยานยนต์ต่างๆ เช่นเสื้อสูบ ฝาสูบ ท่อไอดี ไอเสีย กระทะล้อรถต่างๆ ชิ้นส่วนเครื่องจักร คุณสมบัติทางเคมีและทางกลสามารถเพิ่มความแข็งแรงในทางกลได้ถ้าได้ผ่านการอบชุบด้วยกรรมวิธีที่ถูกต้อง โลหะอลูมิเนียมผสมเกรด A356 จะมีส่วนผสมทางเคมีธาตุผสมหลักคือซิลิคอน 6.5-7.5% คุณสมบัติทางกลของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 มีความถ่วงจำเพาะ 2.68 g/cm^3 ช่วงระยะการแข็งตัว 550°C ถึง 615°C คุณสมบัติทางด้านการหล่อหลอมการไหลตัวดีมากโดยเฉพาะกับงานหล่อที่มีขนาดหน้าตัดที่บางเนื้องานเหนียวแน่นดีมาก ทนทานต่อการฉีกขาดในสภาพร้อนได้ดี คุณสมบัติในการ

ตบแต่งด้วยเครื่องจักรที่ผ่านการอบชุบมาแล้วค่อนข้างจะทำได้ยากกว่าต้องใช้น้ำมันหล่อเย็นและน้ำมันช่วยขณะทำการกลึง กัด ไสหรือเจาะด้วยเครื่องจักร

ตารางที่ 1 มาตรฐานที่ตรงกันโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A 356

ประเทศ	มาตรฐาน	ตัวมาตรฐาน
UK	BS1490	LM25
USA	AA/ASTM	A 356, ASE232
CANADA	Al can	135
FRANCE	A57-703/3	A-S7G
GERMANY	DIN1725/2	G-AlSi 7Mg
ISO		AlSi 7Mg
ITALY	UNI	3599
JAPAN	JISH	AC4C
AUSTRALIA	AA601 CC601	AC601 DA601

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองในการวิจัยนี้ประกอบด้วยเตาไฟฟ้าแบบขดลวดต้านทานดังรูปที่ 3 เบ้าหลอมซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาดความจุ 1 กก. สำหรับบรรจุและหลอมเหลววัสดุที่ใช้ในการทดลอง เมื่อวัสดุหลอมเหลวจะใช้ฟลั๊กซ์และก๊าซอาร์กอนในการกำจัดสิ่งสกปรกและก๊าซในน้ำโลหะ จากนั้นเทน้ำโลหะเข้าในแบบทดลองและเทผ่านรางเทที่สามารถปรับมุมเอียงเทน้ำโลหะได้ นำชิ้นงานมาศึกษาโครงสร้างเกรนระดับมหภาคโดยการขัดเตรียมผิวหน้าชิ้นงานด้วยเครื่องขัด การศึกษาคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานที่ได้จะทำการทดสอบความแข็งและเค้นแรงดึงของชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบอเนกประสงค์และเครื่องทดสอบคุณสมบัติของวัสดุแบบอเนกประสงค์

รูปที่ 3 เตาไฟฟ้าแบบขดขวดความต้านทาน

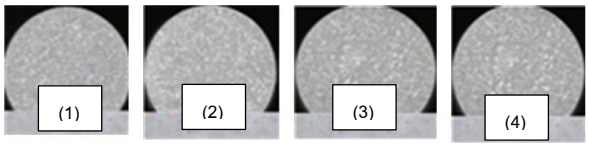
2.3 วิธีการทดลอง

เปิดสวิทช์ชุดควบคุมการทำงานของเตาหลอม อุ่นภายในเตา เบ้าหลอมและวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่อุณหภูมิ 400°C เป็นระยะเวลาประมาณ 15 นาที จากนั้นปรับอุณหภูมิไปที่ 600°C เมื่อเบ้าหลอมร้อนแดงทั่วเติมวัสดุลงในเบ้าหลอมและนำเข้าเตาหลอม ปรับอุณหภูมิไปที่อุณหภูมิ 850°C เป็นระยะเวลาประมาร 35 นาที เมื่อโลหะอลูมิเนียมผสมหลอมเหลวหมด นำเบ้าหลอมออกจากเตาจากนั้นกำจัดก๊าซและสารมลทินที่ปนเปื้อนในน้ำโลหะโดยการใช้ฟลั๊กซ์ในปริมาณ 0.5–1% ต่อน้ำหนักของโลหะอลูมิเนียมและใช้ก๊าซอาร์กอนเป่าเข้าไปในน้ำโลหะในอัตราการไหลของก๊าซ 2 ลบ.ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 นาทีเมื่อทำการกำจัดก๊าซและสารมลทินที่ปะปนในน้ำโลหะเรียบร้อยแล้วทำการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคับเปิล เทน้ำโลหะที่ 720°C เข้าในแบบหล่อที่เตรียมไว้ทั้ง 4 วิธี ดังรูปที่ 4

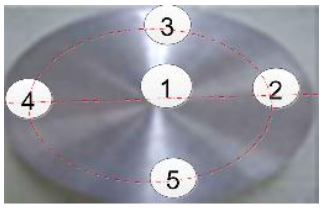
รูปที่ 4 การเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อทั้ง 4 วิธี(1) แบบหล่อตั้งฉากกับพื้นในสภาพปกติ (2) แบบหล่อตั้งฉากกับพื้นเทน้ำโลหะผ่านรางเทกว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตรมีมุมเอียง 35 องศา (3) แบบหล่อวางเอียงมุม 30 องศากับพื้นแล้วค่อยๆ เอียงตั้งฉากและ (4) แบบหล่อที่วางตั้งฉากบนเครื่องสั่นสะเทือนโดยมีอัตราการสั่นสะเทือน 20 ครั้งต่อวินาที

นำชิ้นงานที่ได้จากการหลอมไปตัดทำการขัดผิวหน้าให้เรียบด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์150,240,320,400, 500,600,800 และ 1000 ตามลำดับ นำชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมผิวหน้ามาทำการกัดกรด (HF5ml, HNO_3 25ml, HCl 75ml, H_2O 25ml) จากนั้นนำไปถ่ายภาพ ดังรูปที่ 5 เพื่อศึกษาโครงสร้างเกรนระดับมหภาค โดยวิธี Linear Intercept นำชิ้นงานมาทำการกลึงปาดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบให้เรียบและขนานกันทดสอบความแข็งแบบอเนกประสงค์โดยเลือกวิธีการทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ ตามมาตรฐาน DIN 50351และใช้หัวกดเป็นลูกบอลเหล็กกล้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ภายใต้แรงกด 300 กิโลกรัมแรงเป็นเวลา 15 นาทีต่อจุด โดยวางชิ้นงานทดสอบบนโต๊ะรองงานจากนั้นกำหนดค่า

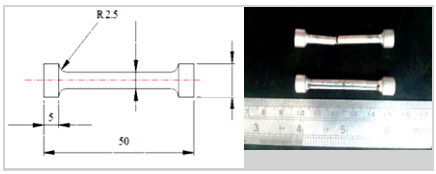
ตัวแปรต่างๆ ของเครื่องทดสอบ ดังรูปที่ 6 และตรียมชิ้นงานทดสอบความเค้นแรงดึงดังรูปที่ 7 ต่อไปตามลำดับ



รูปที่ 5 ลักษณะโครงสร้างเกรนระดับมหภาคชิ้นงานทั้ง 4 วิธี(1) แบบหล่อตั้งฉากกับพื้นในสภาพปกติ (2) แบบหล่อตั้งฉากกับพื้นเทน้ำโลหะผ่านรางเทกว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตรมีมุมเอียง 35 องศา (3) แบบหล่อวางเอียงมุม 30 องศากับพื้นแล้วค่อยๆ เอียงตั้งฉากและ (4) แบบหล่อที่วางตั้งฉากบนเครื่องสั่นสะเทือนโดยมีอัตราการสั่นสะเทือน 20 ครั้งต่อวินาที



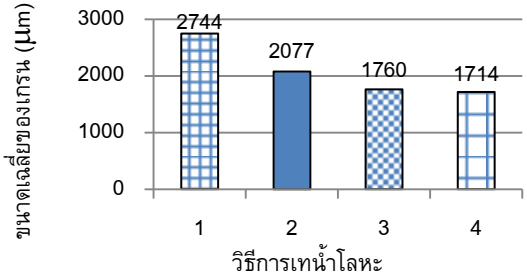
รูปที่ 6 การทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน DIN 50351



รูปที่ 7 ชิ้นงานทดสอบความเค้นแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8

3. ผลการทดลอง

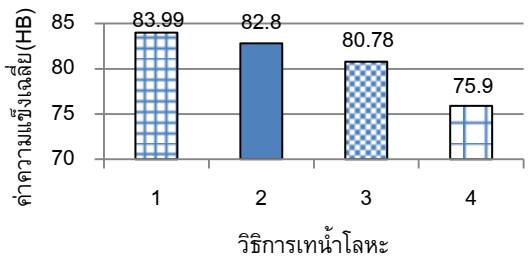
ขนาดเกรนเฉลี่ยของโครงสร้างเกรนระดับมหภาคโดยวิธี Linear Intercept จากวิธีการเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อทั้ง 4 วิธีการดังรูปที่ 8



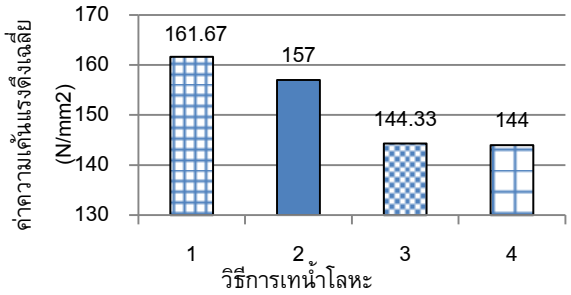
รูปที่ 8 เปรียบเทียบขนาดเกรนของวิธีการเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อทั้ง 4 วิธีการ

จากการทดลองจะพบว่าขนาดเกรนเฉลี่ยของโครงสร้างระดับมหภาคของชิ้นงานที่ได้จากวิธีการเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อที่เอียงทำมุมเท 30 องศา มีขนาดเกรนเฉลี่ยที่ 2,774 μm/100mm^2 เป็นผลเนื่องจากการเอียงเทน้ำโลหะสัมผัสกับผนังของแบบหล่อตั้งแต่เริ่มทำการเทจะทำให้ลดการตกกระทบของน้ำโลหะซึ่งลดการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flows) ซึ่งเป็นการไหลวนแบบไม่สม่ำเสมอและอาจมีการจับเอาอากาศเข้าไปในน้ำโลหะและไหลเข้าสู่แบบหล่อและจะทำให้มีผลต่อโครงสร้างชิ้นงานที่เกิดขึ้นได้และในขณะที่น้ำโลหะสัมผัสกับผนังของแบบทดลองทำให้มีการถ่ายเทความร้อนเป็นไปอย่างรวดเร็วทำให้การจัดเรียงตัวของเม็ดเกรนมีความหนาแน่นและเป็นระเบียบว่าชิ้นงานจึงมีลักษณะของเกรนที่ละเอียดกว่าการเทแบบธรรมดา

ผลจากการทดสอบด้านความแข็งดังรูปที่ 9 พบว่าวิธีการเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อที่เอียงมุมเท 30องศามีค่าความแข็งที่ 83.99HB มีความแข็งมากที่สุดเนื่องจากการเอียงเททำให้ลดการตกกระทบของน้ำโลหะกับแบบทดลองทำให้การจัดเรียงตัวของเม็ดเกรนเรียงตัวกันย่างหนาแน่นเป็นระเบียบทำให้ชิ้นงานมีลักษณะของเกรนที่ละเอียดจึงทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นกว่าการเทแบบธรรมดาและลักษณะของชิ้นงานทดสอบที่มีเกรนละเอียดนั้นจะมีความแข็งมากกว่าชิ้นงานทดสอบที่มีเกรนที่หยาบ เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 อินกอต ที่ค่าความแข็งอยู่ในช่วง 40-70HB วิธีการเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อที่เอียงมุมเท 30องศา มีคุณสมบัติทางกลทางด้านความแข็งดีขึ้น 19.99 % ผลจากการทดสอบด้านความเค้นแรงดึงดังรูปที่ 10 พบว่าวิธีการเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อที่เอียงมุมเท 30องศา มีความเค้นแรงดึงที่ 167.67N/mm^2 ซึ่งโครงสร้างที่มีจัดเรียงตัวของเม็ดเกรนเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นเป็นระเบียบทำให้ชิ้นงานมีลักษณะของเกรนที่ละเอียดจึงทำให้คุณสมบัติทางกลดีขึ้นด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 อินกอต ที่ค่าความเค้นแรงดึง 145N/mm^2 วิธีการเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อที่เอียงทำมุมเท 30องศา มีคุณสมบัติทางกลทางด้านความแข็งดีขึ้น 11.49%



รูปที่ 9 เปรียบเทียบค่าความแข็งของวิธีเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อทั้ง 4 วิธีการ



รูปที่ 10 เปรียบเทียบค่าความเค้นแรงดึงของวิธีการเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อทั้ง 4 วิธีการ

หมายเหตุ 1 วิธีการเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อแบบเอียงเทที่มุม 30 องศา

2 วิธีการเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อแบบสั่นสะเทือน 20 ครั้ง/วินาที

3 วิธีการเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อแบบผ่านรางเทกว้าง 40 มม. ยาว 400มม. และมุมเอียง 35 องศา

4 วิธีการเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อแบบปกติ

4. สรุป

วิธีการเทน้ำโลหะเข้าในแบบหล่อที่เอียงทำมุม 30องศากับพื้นแล้วค่อยๆ เอียงตั้งฉากจะมีขนาดเฉลี่ยของเกรนความแข็งและความเค้นแรงดึงดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเทน้ำโลหะอีก 3 วิธี ซึ่งค่าขนาดเฉลี่ยของเกรนคือ 2,744 μm /100mm^2 มีค่าความแข็ง 83.99HB หรือมีความแข็งเพิ่มขึ้น19.99% และมีค่าความเค้นแรงดึงที่ 167.67 N/mm^2 หรือมีความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น 11.49% เมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ได้จากการเทน้ำโลหะในสภาพปกติ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณปี 2557 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และได้รับการสนับสนุนวัสดุที่ในการทดลองจากบริษัทไดซิน จำกัด นิคมอุตสาหกรรมสุระนารี จ.นครราชสีมา ขอบคุณพรชัย อ้นเก้ และคุณอิทธิพล โมฆรัตน์ ที่ช่วยสืบค้นข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] Donna L. Zalensas.1993, Aluminum Casting Technology, Second Edition, The American Foundrymen's Society.

[2] สมเกรียติ จันทาพูนและธรรมธิกร หาญทอ, 2548, การศึกษาเทคนิคการเทน้ำโลหะเพื่อปรับปรุงโครงสร้างและสมบัติทางกลของชิ้นงานหล่อโลหะผสมอะลูมิเนียม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก.

[3] กฤษณ์ คุรุวิทย์และคณะ, 2552. การศึกษาถึงอิทธิพลของความยาวและมุมเอียงของรางเทโลหะหลอมเหลวที่มีผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของโลหะอลูมิเนียมผสม A356, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก.

[4] อนุรัตน์และคณะ, 2545. อิทธิพลของการสั่นสะเทือนในการหล่อโลหะอลูมิเนียม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร.

[5] R.M.Pillai, K.S. Biju Kumar, and B.C. Pai, 2004. A Simple Inexpensive Technique for Enhancing Density and Mechanical Properties of Al-Si Alloys, Journal of Materials Technology.

[6] David J.R., 1993. Aluminum and Aluminum Alloys, In ASM specialty Handbook,

การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอและอายุการใช้งานของเกลียวอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ผ่านสารชุบแข็งต่างกัน

The comparison of wear rate and lifetime of the spiral fuel briquette extrusion From different quenching media of hardening

กานต์ วิรุณพันธ์*[1] พิบูลย์ เครือคำอ้าย [2] อนุวัฒน์ พลธีระ [3]
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
E-Mail : kant_wirunphan@hotmail.co.th [1]
Kant Wirunphan*[1] Phiboon Kruekumary [2] Anuwat Pholtheera [3]
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak
E-Mail : kant_wirunphan@hotmail.co.th [1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการการเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอและอายุการใช้งานของเกลียวอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ผ่านสารชุบแข็งต่างกัน การดำเนินงานวิจัยใช้เกลียวอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.20%C มาทำแพ็คคาร์บูไรซิ่งที่อุณหภูมิ 930°C เป็นเวลา 210 นาที ให้ได้คาร์บอนในปริมาณ 0.35%C ขึ้นไป จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการชุบแข็งด้วยเปลวความร้อนที่อุณหภูมิ 860°C เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จุ่มชุบให้เย็นตัวด้วยสารชุบคือน้ำ น้ำมันและอากาศ ตามลำดับ นำชิ้นงานไปทดสอบความแข็งและทดสอบความต้านทานการสึกหรอด้วยล้อขัดกระดาษทรายและทำการทดสอบในสภาพการทำงานจริงโดยการอัดผงถ่านจากซังข้าวโพดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง ผลจากการดำเนินงานวิจัยพบว่าเกลียวอัดที่ผ่านการทำแพ็คคาร์บูไรซิ่ง ผ่านการชุบแข็งด้วยเปลวความร้อนและจุ่มชุบด้วยน้ำมันจะมีคุณภาพและมีคุณสมบัติทางกลสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารชุบอื่น ซึ่งจะมีความแข็งที่ 56 HRC ค่าความต้านทานการสึกหรอด้วยล้อขัดกระดาษทรายที่ 0.08%โดยน้ำหนัก และค่าความต้านทานต่อการสึกหรอจากสภาพการทำงานจริงที่ช่วงทดสอบการอัดขึ้นรูปผงถ่านซังข้าวโพด 200 กก. ที่ 0.3%โดยน้ำหนัก

คำหลัก เกลียวอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง การทำแพ็คคาร์บูไรซิ่ง ชุบแข็งเฉพาะผิวด้วยเปลวความร้อน

Abstract

This research is the comparison of wear rate and lifetime of the spiral fuel briquette extrusion from different quenching media of hardening. The operation of project, use the charcoal fuel screw compress from carbon steel as 0.20%C by weight to pack carburizing process at 930°C holding on time at 210 minutes for the carbon increasing more than 0.35%C by weight. Next, take to flame surface hardening at 860°C on time 60 minutes and quenching in water, oil and air respectively. Next, take the charcoal fuel screw compress to testing on hardness, wear resistance on grinding wheel, and working charcoal fuel screw compress. The result of project, it was found that the charcoal fuel screw compress from pack carburizing and flame surface hardening, quenching in oil have quality and mechanical properties highly than other quenching medias. And it has hardness at 56 HRC, wear resistance and highly at 0.08% by weight. And the resistance to wear from the actual working conditions at the test range compressed charcoal corn cob of 200 kg at 0.3% by weight.

Keywords: charcoal fuel screw compress, pack carburizing process, flame surface hardening

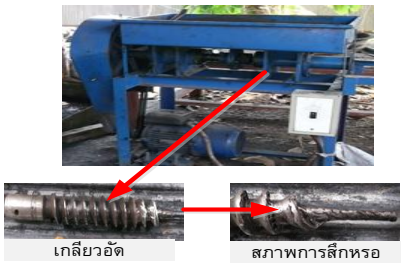
1. บทนำ

เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเป็นถ่านที่ทำจากวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติหรือที่เหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมเช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ขี้เลื่อยแกลบ ซังข้าวโพด สามารถนำมาทดแทนถ่านไม้ธรรมชาติได้ เป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม เหมาะสำหรับอาหารปิ้ง ย่าง ช่วยให้อาหารมีรสชาติอร่อยน่ารับประทาน คุณสมบัติเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจะให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอติดไฟทนนานกว่าถ่านธรรมดาทั่วไป ในการขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงจะใช้กระบวนการอัด 2 รูปแบบ คือการอัดร้อนและการอัดเย็น ในกระบวนการอัดร้อนนั้นวัสดุที่สามารถผลิตโดยวิธีการอัดร้อนขณะนี้มี 2 ชนิดหลักคือแกลบและขี้เลื่อยเพราะวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้เมื่อโดนอัดด้วยความร้อนจะมีสารในเนื้อของวัสดุยึดตัวมันเองจึงทำให้สามารถยึดเกาะเป็นแท่งได้โดยที่ไม่ต้องใช้ตัวประสาน โดยที่เครื่องอัดต้องเป็นเครื่องอัดชนิดอัดร้อนซึ่งราคาค่อนข้างสูง จากนั้นนำไปลดความชื้นด้วยการอบหรือการผึ่งแดดเพื่อให้อยู่ในรูปแบบของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งใช้สะดวก ไม่มีควันเผาไหม้ได้นานและราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ส่วนกระบวนการอัดเย็นเป็นการอัดวัสดุที่ผ่านการเผาเป็นถ่านและบดเป็นผงละเอียดมาแล้ว นำมาผสมกับแป้งมันหรือวัสดุประสานอื่น โดยทั่วไปจะเป็นแป้งมันในอัตราส่วนตามที่ต้องการ [1] ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2

รูปที่ 1 เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากการอัดเย็น

รูปที่ 2 การอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

จากข้อมูลการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งในเขตจังหวัดตาก ของกลุ่มผู้ผลิตถ่านอัดแท่งหุงต้มหมู่ที่ 7 ชุมชนบูรพา เทศบาลตำบลแม่กุ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นกลุ่มผู้ผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดเป็นสินค้า OTOP จะทำการอัดขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดเย็นและใช้เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยระบบเกลียวอัด จากการสำรวจและศึกษาสภาพเครื่องอัดขึ้นรูปพบว่าการผลิตจะอัดแท่งถ่านได้ 150-200 กก. ต้องหยุดการผลิตเพื่อทำการถอดชุดเกลียวอัดออกมาซ่อม จากปัญหาที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบตามมาเช่นอายุการใช้งานของเกลียวอัดสั้นลง ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงขึ้น เสียเวลาในการผลิต อัตราการผลิตน้อย และคุณภาพของถ่านอัดแท่งลดลง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สภาพการสึกหรอของเกลียวอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

จากปัญหาข้างต้นที่เกิดขึ้นพบว่าเกลียวอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ติดมากับเครื่องอัดนั้นผลิตมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำตามมาตรฐานเยอรมัน(DIN) คือ St37โดยมีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.20% ซิลิกอน0.18% และแมงกานีส 0.30% ซึ่งสามารถรับแรงดึงสูงสุดได้ 370N/mm^2 เมื่อเสียดสีกับผงถ่านคาร์บอนจึงเกิดการสึกหรอเสียหายได้ง่าย [2] จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า วรรธฐกรและสายพิณ [3] ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบอุณหภูมิและสารชุบที่มีผลต่อความแข็งและความต้านทานต่อการสึกหรอจากกระบวนการอบชุบทางความร้อนโดยใช้จอบดายหญ้าที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมาทำการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้ได้ 0.35% โดยการทำแพ็คคาร์บูไรซิ่ง แล้วนำชิ้นงานไปทำการชุบผิวแข็งด้วยเปลวไฟที่อุณหภูมิ 850, 890 และ 930°C ชุบให้เย็นตัวด้วยน้ำมันและอากาศแล้วนำไปทดสอบความแข็งและความต้านทานต่อการสึกหรอ ผลจากการทดลองพบว่าชิ้นงานที่ผ่านการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวโดยการอบที่อุณหภูมิ 930°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นตัวด้วยสารชุบคืออากาศ จะมีความแข็งและความต้านทานการสึกหรอดีที่สุด คมสรรค์ [4] ได้ทำการศึกษากระบวนการชุบแข็งในกระบวนการผลิตจอบโดยทำการศึกษาตัวแปรชนิดต่างๆ ในการชุบชุบแข็งคือสาร

ตัวกลางในการชุบแข็งคืออากาศและน้ำมัน โดยกำหนดอุณหภูมิที่ 1,100 1,125 1,150 และ 1,175°C ปริมาณของสารตัวกลางในการชุบแข็งน้ำมัน 13 ลิตร จำนวนชิ้นตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองอย่างละ 5 ชิ้น ผลจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการอบและสารตัวกลางในการชุบแข็งนับว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งดีที่สุดโดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบคือ 1,100 °C ใช้สารตัวกลางในการชุบแข็งด้วยน้ำมัน คณะผู้ดำเนินงานวิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นจึงได้ทำการเปรียบเทียบสารชุบแข็งที่มีผลต่อความต้านทานการสึกหรอของเกลียวอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ผ่านการเพิ่มปริมาณคาร์บอนด้วยกระบวนการทำแพ็คคาร์บูไรซิ่งแล้วจึงอบชุบด้วยวิธีการชุบแข็งเฉพาะผิวด้วยเปลวความร้อนจากก๊าซอะเซทิลีนผสมก๊าซออกซิเจน เพื่อให้เกลียวอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งมีความแข็งที่ผิวดีขึ้นและคงทนต่อการสึกหรอโดยกำหนดสารอบชุบเป็นตัวแปรในการอบชุบคือน้ำ น้ำมันและอากาศ ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงสารชุบแข็งที่มีผลต่อความต้านทานการสึกหรอของเกลียวอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ช่วยยืดอายุการใช้งานของเกลียวอัด ลดการหยุดชะงักของกระบวนการผลิตและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงชุดเกลียวอัดและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเกลียวอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งต่อไป

2. วัสดุเครื่องมืออุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 เหล็กกล้าคาร์บอนทำเกลียวอัด

เหล็กกล้าคาร์บอน(Carbon steels) ถูกจำแนกออกตามปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ได้ 3 กลุ่มคือเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ(Low carbon steel) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง(Medium carbon steel)และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High carbon steel) ในการผลิตเกลียวอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งในท้องตลาดนั้นผู้ผลิตจะจะนิยมเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำในการผลิตเพราะมีราคาถูก การขึ้นรูปทำได้ง่าย เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำจะมีปริมาณธาตุคาร์บอนผสมอยู่ในเนื้อเหล็กอยู่ประมาณ 0.10– 0.30% โดยน้ำหนัก ถูกกำหนดตามมาตรฐานอเมริกันคือ AISI 1010–1030 กำหนดมาตรฐานเยอรมันคือ St37หรือC20 เนื่องจากมีปริมาณธาตุคาร์บอนผสมอยู่น้อยจึงทำให้มีคุณสมบัติทางกลเช่นความแข็ง ความแข็งแรงต่ำ ความต้านทานต่อการสึกหรอที่ผิวจะต่ำ การปรับปรุงคุณสมบัติทางกลแลการเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอที่ผิวโดยกระบวนอบชุบทางความร้อนจึงไม่สามารถนำมาทำได้โดยตรง [5]

2.2 การเพิ่มปริมาณคาร์บอน

วิธีแพ็คคาร์บูไรซิ่ง มีจุดประสงค์เพื่อต้องการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้กับผิวชิ้นงานที่ต้องการชุบแข็งที่ผิว สารเพิ่มคาร์บอนที่ใช้ ได้แก่ผงถ่านไม้ กราไฟต์ประมาณ 70–80% โดยน้ำหนัก ผสมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ผงแบเรียมคาร์บอเนตหรือโซเดียมคาร์บอเนตและแคลเซียมคาร์บอเนตรวมกันอีกประมาณ 20–30% น้ำมันหรือน้ำหรือน้ำตาล 4.5–55% นำชิ้นงานที่จะชุบผิวแข็งมาบรรจุในหีบเหล็กหรือภาชนะเคลือบที่ทนความร้อนโดยอัดผงสารเพิ่มคาร์บอนให้รอบแท่งเหล็กและอัดให้แน่นถ้ามีแท่งเหล็กหลายๆ ชิ้นบรรจุในหีบใบเดียวกันจะต้องวางให้ห่างกันประมาณ 20–25 มม. หรือจะมากกว่านี้ก็ไม่มีผลเสีย เมื่อบรรจุและอัดผงสารเพิ่มคาร์บอนจนแน่นดีแล้วจะต้องมีฝาปิดอย่างมิดชิด โดยใช้ดินทนไฟปิดตามรอยให้สนิทเพื่อป้องกันมิให้อากาศแทรกเข้าไปทำการเผาไหม้กับคาร์บอนได้ จากนั้นนำเอาหีบเหล็กไปเผาในเตาช้าๆ จนถึงอุณหภูมิระหว่าง 900-950°C เวลาที่ใช้ในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของเหล็กที่จะชุบแข็งผิวและที่สำคัญก็คือความหนาของผิวแข็งที่ต้องการ ตามปกติถือหลักปฏิบัติง่ายๆ คือจะเผานาน 1 ชั่วโมงต่อความหนาของผิวแข็ง 0.1มม.แต่ปริมาณคาร์บอนที่ผิวและใต้ผิวจนถึงใจกลางจะลดลงโดยลำดับ[6]

2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองในการวิจัยนี้ประกอบด้วย เตาไฟฟ้าแบบขดลวดต้านทาน ดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 เตาไฟฟ้าแบบขดขวดความต้านทาน

กล่องบรรจุและผงกราไฟต์สำหรับทำแพ็คคาร์บูไรซิ่ง เมื่อทำแพ็คคาร์บูไรซิ่งเสร็จแล้วนำชิ้นงานไปตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่อง Spectrometer ดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี
ด้วยเครื่อง Spectrometer

เมื่อชิ้นงานผ่านการทำการเพิ่มปริมาณคาร์บอนและได้ตามปริมาณที่ต้องการแล้ว นำชิ้นงานมาให้ความร้อนด้วยเปลวไฟจากก๊าซอะเซทิลีนกับออกซิเจน (C_2H_2+O_2) จากชุดอบชุบทางความร้อนเฉพาะผิวหน้า ดังรูปที่ 6 จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการทำแพ็คคาร์บูไรซิ่งและการอบชุบเฉพาะผิวหน้าด้วยเปลวไฟไปจุ่มชุบให้เย็นตัวด้วยสารตัวกลางที่เตรียมไว้คือน้ำ น้ำมันและอากาศ นำชิ้นงานที่ผ่านการจุ่มชุบให้เย็นตัวในสารตัวกลางที่กำหนดไว้มาทำการทดสอบความแข็ง ทดสอบการสึกหรอและทดสอบการศึกหรอในสภาพการทำงานจริงต่อไป

รูปที่ 6 ชุดอบชุบทางความร้อนด้วยเปลวไฟ

2.4 วิธีการทดลอง

นำสารที่เตรียมไว้สำหรับแพ็คคาร์บูไรซิ่งมาผสมให้เข้ากัน เติมสารที่เตรียมแพ็คคาร์บูไรซิ่งที่ผสมไว้ใส่ลงในกล่องบรรจุเกลียวอัดเพื่อรองพื้นประมาณ 2 มม.วางเกลียวอัดบนสารแพ็คคาร์บูไรซิ่ง ที่บรรจุลงในกล่องเติมสารแพ็คคาร์บูไรซิ่งที่เตรียมไว้ลงในกล่องบรรจุจนเต็ม การคำนวณหาระยะเวลาและปริมาณคาร์บอนที่ได้รับจากการทำแพ็คคาร์บูไรซิ่ง สามารถคำนวณได้จากสมการที่1

$$(C - C_0) = (C_1 - C_0)[1 - \mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)] \quad (1)$$

โดยที่ C = 0.35% คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ที่ต้อง

C_0 = 0.20% คือ ค่าเปอร์เซ็นต์เริ่มต้น

C_1 = 1.30% คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 930°C จากแผนภาพสมดุล

D = ค่าการแผ่ของคาร์บอนแบบเฟอร์ไรท์

t = เวลาในการทำแพ็คคาร์บูไรซิ่ง

x = ความลึกหรือระยะทางของการแพร่คาร์บอน

ในการทำแพ็คคาร์บูไรซิ่งต้องปิดฝากล่องเหล็กที่เตรียมไว้และใช้ดินทนไฟเคลือบขอบฝาให้แน่นสนิทเพื่อไม่ให้อากาศภายนอกเข้าทำปฏิกิริยาได้ นำกล่องที่บรรจุเกลียวอัดเข้าเตาอบและเปิดสวิทช์ควบคุมตั้งอุณหภูมิที่ 930°C รอจนอุณหภูมิเตาถึง 930°C จึงเริ่มจับเวลาอบตามเงื่อนไข เมื่ออบแช่เกลียวอัดตามเวลาที่กำหนดแล้วนำกล่องที่บรรจุเกลียวอัดออกจากเตา และนำเกลียวอัดออกจากอุปกรณ์ที่บรรจุเพื่อให้เย็นตัวในอากาศดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 การนำกล่องแพ็คเกลียวอัดออกจากเตาอบ

นำเกลียวอัดที่ผ่านการทำแพ็คคาร์บูไรซิ่งมาวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่องวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีเพื่อตรวจสอบปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น นำเกลียวอัดที่ผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิ่ง เข้าเตาชุบแข็งด้วยเปลวความร้อนจากก๊าซอะเซทิลีนผสมก๊าซออกซิเจนที่อุณหภูมิ 860°C ทำการให้ความร้อนด้วยเปลวความร้อนและควบคุมการให้ความร้อนด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิด้วยอินฟราเรด เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิที่ 860°C ตามเงื่อนไขเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อความร้อนที่ได้ตามที่กำหนดจึงทำการชุบแข็งด้วยสารชุบที่เตรียมไว้แล้วปล่อยให้เย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้อง นำชิ้นงานไปทดสอบหาค่าความแข็งด้วยเครื่องกดทดสอบความแข็งแบบเอนกประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแข็งของเกลียวอัดแท่งเชื้อเพลิง เริ่มทำการทดลองการสึกหรอด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150 โดยถ่วงตุ้มน้ำหนักไว้ 3 กก.เป็นระยะเวลา 30 นาที ดังรูปที่ 8

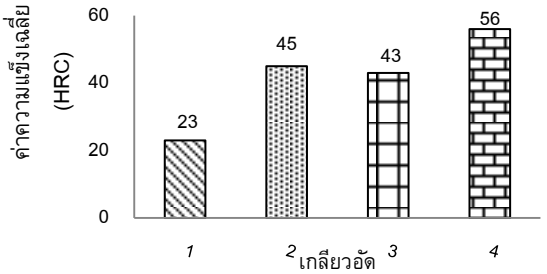
รูปที่ 8 การทดสอบการสึกหรอด้วยด้วยจานขัดกระดาษทรายเบอร์ 150

จัดเตรียมเครื่องอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง เพื่อใช้ในการทดสอบอัตราการสึกหรอในสภาพการใช้งานจริงโดยเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองที่มีส่วนผสมคือซังข้าวโพดที่ผ่านการเผาและบดละเอียด แป้งมันและน้ำด้วยอัตราส่วน 100 :6 :3 กก. เมื่อผสมวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเข้ากันทุกส่วนแล้ว นำมาทำการอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งด้วยเกลียวอัดที่ผ่านการจุ่มชุบมาแล้วและบันทึกผลที่ 200 กก. การวิเคราะห์ข้อมูลผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการวิเคราะห์การทดสอบความแข็ง อัตราการศึกหรอของเกลียวอัดจากล้อขัดกระดาษทราย อัตราการสึกหรอในสภาพการทำงานจริงของเกลียวอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

3. ผลการทดลอง

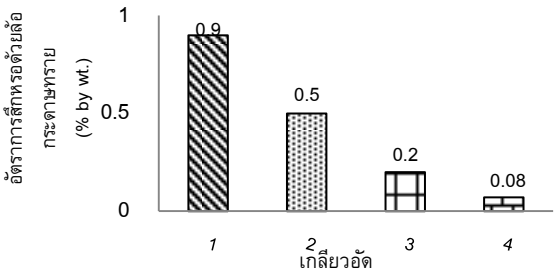
สำหรับผลการทดลองการเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอและอายุการใช้งานของเกลียวอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ผ่านสารชุบแข็งต่างกัน ได้ผลการทดลองดังนี้

ผลการทดลองค่าความแข็งของเกลียวอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งพบว่าเกลียวอัดชิ้นที่ 1 ที่ไม่ผ่านกระบวนการทำแพ็คคาร์บูไรซิ่งและไม่ผ่านการชุบแข็งด้วยเปลวความร้อนนั้นมีค่าเฉลี่ยความแข็งต่ำที่สุดคือ 24 HRC ส่วนเกลียวอัดชิ้นที่ผ่านแพ็คคาร์บูไรซิ่งและผ่านการชุบแข็งเฉพาะผิวนั้นมีค่าเฉลี่ยความแข็งสูงขึ้น และเกลียวอัดชิ้นที่ 4 ที่ผ่านการจุ่มชุบด้วยน้ำมันจะมีค่าเฉลี่ยความแข็งสูงสุดที่ 56 HRC เนื่องจากน้ำมันมีคุณสมบัติที่สามารถถ่ายเทความร้อนออกจากชิ้นงานได้อย่างสม่ำเสมอ และในน้ำมันยังมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อาจเกิดการแพร่เข้าไปในผิวของเหล็กได้อีกทางหนึ่ง จึงทำให้ค่าความแข็งเฉลี่ยของเกลียวอัดสูงขึ้น ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ค่าความแข็งเฉลี่ยของเกลียวอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

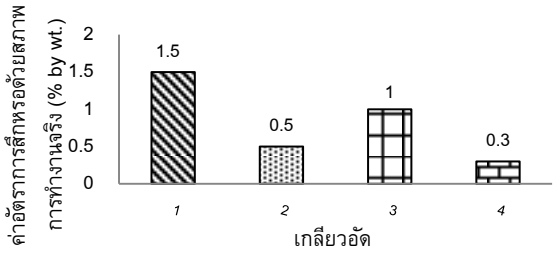
ผลการทดลองค่าอัตราการสึกหรอด้วยล้อกระดาษทรายของเกลียวอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง พบว่าเกลียวอัดชิ้นที่ 1 ที่ไม่ผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิ่งและไม่ผ่านการชุบแข็งด้วยเปลวความร้อนนั้นมีค่าอัตราการสึกหรอด้วยล้อกระดาษทรายมากที่สุดคือ 0.9%โดยน้ำหนัก ส่วนเกลียวอัดชิ้นที่ผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิ่งและผ่านการชุบแข็งเฉพาะผิวนั้น มีค่าอัตราการสึกหรอด้วยล้อกระดาษทรายน้อยที่สุดคือเกลียวอัดชิ้นที่ 4 ซึ่งมีค่าอัตราการสึกหรอด้วยล้อกระดาษทรายที่ 0.08%โดยน้ำหนัก เนื่องจากเกลียวอัดชิ้นที่ 4 ได้ผ่านการชุบแข็งเฉพาะผิวจากเปลวความร้อนด้วยสารชุบแข็งคือน้ำมัน ซึ่งน้ำมันมีคุณสมบัติที่สามารถถ่ายเทความร้อนออกจากชิ้นงานได้อย่างสม่ำเสมอและในน้ำมันยังมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อาจเกิดการแพร่เข้าไปในผิวของเหล็กได้อีกทางหนึ่ง ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 อัตราการสึกหรอด้วยล้อกระดาษทรายของเกลียวอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

ผลการทดลองหาอัตราการสึกหรอด้วยสภาพการทำงานจริงในการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ 200 กก. พบว่าเกลียวอัดชิ้นที่ 1 ซึ่งไม่ผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิ่งและไม่ผ่านการชุบแข็งด้วยเปลวความร้อนนั้น มีค่าอัตราการสึกหรอด้วยสภาพการทำงานจริงมากที่สุดคือ 1.5%โดยน้ำหนัก ส่วนเกลียวอัดชิ้นที่ผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิ่ง และผ่านการชุบแข็งเฉพาะผิวนั้น มีค่า

อัตราการสึกหรอด้วยสภาพการทำงานจริงน้อยที่สุดคือเกลียวอัดชิ้นที่ 4 ซึ่งมีค่าอัตราการสึกหรอที่ 0.3% โดยน้ำหนัก เนื่องจากเกลียวอัดชิ้นที่ 4 ได้ผ่านการชุบแข็งเฉพาะผิวจากเปลวความร้อนด้วยสารชุบแข็งคือ น้ำมัน ซึ่งน้ำมันมีคุณสมบัติที่สามารถถ่ายเทความร้อนออกจากชิ้นงานได้อย่างสม่ำเสมอและในน้ำมันยังมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อาจเกิดการแพร่เข้าไปในผิวของเหล็กได้อีกทางหนึ่งดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 อัตราการสึกหรอด้วยสภาพการทำด้วยสภาพการใช้งานจริงของเกลียวอัดเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง

หมายเหตุ เกลียวอัดชิ้นที่ 1ไม่ผ่านกระบวนการใด
เกลียวอัดชิ้นที่ 2 ผ่านกระบวนการเพิ่มคาร์บอน และผ่านการชุบแข็งเฉพาะผิวด้วยสารชุบคือน้ำ
เกลียวอัดชิ้นที่ 3 ผ่านกระบวนการเพิ่มคาร์บอน และผ่านการชุบแข็งเฉพาะผิวด้วยสารชุบคืออากาศ
เกลียวอัดชิ้นที่ 4 ผ่านกระบวนการเพิ่มคาร์บอนและผ่านการชุบแข็งเฉพาะผิวด้วยสารชุบคือน้ำมัน

ผลการการทดลองและเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของเกลียวอัดทั้ง 4 ชิ้นในการขัดด้วยกระดาษทรายและสภาพการทำงานจริงจะมีอัตราการสึกหรอที่แตกต่างกัน เนื่องจากในการขัดด้วยกระดาษทรายจะขัดเฉพาะจุดเดียวและใช้เวลาในการขัดน้อยกว่า สภาพการทำงานจริงอัดผงถ่านที่ 200 ก.ก.จะใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมงและผิวของเกลียวอัดจะสัมผัสกับผงถ่านที่เป็นคาร์บอนทุกสัดส่วนจึงทำให้ผลการสึกหรอที่ได้แตกต่างกัน

4. สรุป

ข้อสรุปของการทดลองการเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอและอายุการใช้งานของเกลียวอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งที่ผ่านสารชุบแข็งต่างกัน อาจสรุปได้ว่าเกลียวที่ผ่านการทำแพ็คคาร์บูไรซิ่งผ่านการชุบแข็งด้วยเปลวความร้อนและจุ่มชุบด้วยน้ำมันจะมีความแข็ง ค่าความต้านทานการสึกหรอด้วยล้อขัดกระดาษทรายและค่าความต้านทานต่อการสึกหรอจากสภาพการทำงานจริงดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากเครือข่ายวิจัยภาคเหนือตอนล่าง งบประมาณปี 2555 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา งบประมาณปี 2557 ขอบคุณณัฐพล น้อยรุ่งและสมเกียรติ สงขัย ที่ช่วยสืบค้นข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] ธเนศ ไชยชนะ, 2546. เทคโนโลยีพลังงานทดแทนถ่านอัดแท่ง, วิทยาลัยการอาชีพแม่สอด.

[2] อนันต์ มีนาค,2549. การสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และการติดตามสภาพ.

[3] วรรธฐกร รักษ์ชนและสายพิณ ลังกาวงษ์,2554. การศึกษาการเปรียบเทียบอุณหภูมิและสารชุบที่มีผลต่อความแข็งและความต้านทานต่อการสึกหรอจากกระบวนการอบชุบทางความร้อน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

[4] คมสรรค์ ชมแผน, 2546. การศึกษากระบวนการชุบแข็งในกระบวนการผลิตจอบ โดยทำการศึกษาตัวแปรชนิดต่างๆในการชุบชุบแข็ง คือสารตัวกลางในการชุบแข็ง สารตัวกลางในการชุบแข็งคืออากาศและน้ำมัน. เถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[5] วิสุทธิ์ พืชมงคล, 2532. การอบชุบเหล็กกล้าด้วยความร้อน, สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ.

[6] มนัส สภิรจินดา, 2535..วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การศึกษาถึงผลกระทบต่อส่วนผสมหลัก คุณสมบัติทางกล และโครงสร้างของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ที่ผ่านการหลอมซ้ำ

A study to effect the principle composition, mechanical properties and structure as repeated melting to Al-Si alloy A356

กานต์ วิรุณพันธ์ *[1] ธนารักษ์ สายเปลี่ยน [2] นิภาภัทร แสนคำหล้า [3]
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
E-Mail: kant_wirunphan@hotmail.co.th [1]

Kant Wirunphan*[1] Thanarak Saiplean [2] Niphaphat Sankumla [3]
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak
E-Mail: kant_wirunphan@hotmail.co.th [1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบต่อส่วนผสมหลัก คุณสมบัติทางกลและโครงสร้างของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ที่ผ่านการหลอมซ้ำ ในการดำเนินงานวิจัยจะใช้โลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงหรือเติมสารใดมาให้ความร้อนโดยการหลอมซ้ำๆ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อธาตุผสมหลักคือซิลิคอน ที่ผสมในโลหะอลูมิเนียมเกรด A356 ศึกษาคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างระดับมหภาคของชิ้นงานหล่อที่ได้แต่ละครั้งเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานASTM ผลจากการดำเนินงานวิจัยพบว่าโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 จะมีความสามารถในการนำมาหลอมซ้ำๆ ได้จำนวน 10 รอบของการใช้งานจึงจะทำให้ธาตุหลักที่ผสมอยู่คือซิลิคอนลดลง 13.624% จากผลการทดลองยังพบว่าขนาดเกรนในโครงสร้างระดับมหภาคของชิ้นงานหล่อที่ได้มีขนาดโตกว่า 62.671% คุณสมบัติทางกลด้านความแข็งลดลง 12.092% ด้านความเค้นแรงดึงลดลง 37.643% เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ตามมาตรฐาน ASTM

คำหลัก โลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 การหลอมซ้ำ

Abstract

This research is a study to effect the principle composition, mechanical properties and structure as repeated melting to Al-Si alloy A356. It that, use Al-Si alloy A356 in the melting each time does not refinement and modification a composition repeated melting. A study to effect the principle composition as silicon in grade A356. This besides of a study inspection mechanical properties and macrostructure of compared Al-Si alloy A356 ASTM standard. The result of experimental, it was that the Al-Si alloy A356 had around 10 cycles to be castable. And the principle composition was reduced by 13.624% for Silicon. The result about the macrostructure a grain size of casting alloy had a roughness and grain value of 62.671% when compared with the Al-Si alloy A356 standard. A casting alloy from 10 cycles time melting had mechanical properties reduced, i.e. hardness by 12.092% tensile stress by 37.643% when compared with the Al-Si alloy A356 ASTM standard.

Key Word : Al-Si Alloy A356, Repeated Melting

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการหล่อโลหะพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว อุตสาหกรรมการหล่อโลหะมีทั้งขนาดกลางและขนาดเล็ก ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเหล็กหล่อ ต่อมาผู้ประกอบการได้เล็งเห็นความสำคัญของโลหะอลูมิเนียมผสมจึงได้มุ่งเน้นพัฒนากระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์จากโลหะอลูมิเนียมผสมเพิ่มมากขึ้น[1] เนื่องจากโลหะอลูมิเนียมมีคุณสมบัติที่ได้เปรียบกว่าวัสดุอื่นหลายประการ มีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง มีน้ำหนักเบามีความคงทนต่อการกัดกร่อนในบรรยากาศสามารถนำมาหลอมใหม่ได้ดี สามารถทำการขึ้นรูปได้ง่ายและยังใช้ต้นทุนในการขึ้นรูปต่ำกว่าเหล็ก กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากโลหะอลูมิเนียมผสมนั้นจะสามารถทำได้หลายวิธีซึ่งวิธีที่นิยมคือการหล่อขึ้นรูป (Casting) จึงทำให้ถูกนำมาใช้ทดแทนโลหะจำพวกเหล็กเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อไปในอนาคต [2] จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อการปรับปรุงคุณภาพและคุณสมบัติของโลหะอลูมิเนียมผสมพบว่า เชาวลิตและคณะ [3] ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพและกลไกการเสื่อมสภาพของการใช้โลหะแม่ชนิดอลูมิเนียมไทเทเนียมโบรอน(Al-Ti-B) ในโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ในการปรับสภาพเกรนละเอียด ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในกระบวนการหล่อโลหะอลูมิเนียมบริสุทธิ์และอลูมิเนียมผสม เพราะทำให้งานหล่อมีคุณสมบัติทางกลดีขึ้นและลดการเกิดข้อบกพร่องในชิ้นงานหล่อ การปรับสภาพเกรนละเอียดโดยใช้โลหะแม่ที่มีส่วนผสมหลักของ Al-Ti-B โดยพิจารณาถึงปริมาณการเติมโลหะแม่และการค้างน้ำโลหะหลังจากเติมโลหะแม่ ผลการทดลองพบว่าปริมาณการเติมโลหะแม่ที่มากขึ้นช่วยในการปรับสภาพเกรนให้ละเอียดขึ้นได้ ส่วนระยะเวลาหลังจากการเติมโลหะแม่มีความเหมาะสมในการปรับสภาพเกรนละเอียดหลังการเติมโลหะแม่อยู่ในช่วงตั้งแต่ 20 นาทีแต่ไม่เกิน 60 นาที เพราะพบว่าหากเวลาน้อยเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพในการลดขนาดเกรนยังไม่ถึงจุดสูงสุดแต่หากเวลาในการค้างน้ำโลหะนานกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพของโลหะแม่ต่อการปรับสภาพเกรนละเอียดลดลง มีผลทำให้เกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถอธิบายกลไกการเสื่อมประสิทธิภาพของโลหะแม่โดยทดลองค้างน้ำโลหะไว้ในเบ้าเหล็กเป็นเวลานานต่างกันแล้วปล่อยให้แข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งพบว่าการตกตะกอนของอนุภาค $TiAl_3$ และTiB_2 เป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมประสิทธิภาพของโลหะแม่ อย่างไรก็ตามการกวนเพื่อให้อนุภาคที่เกิดการตกตะกอนกลับมากระจายตัวอยู่ในชิ้นงานช่วยให้การปรับสภาพเกรนละเอียดกลับดีขึ้นในระดับหนึ่งเท่านั้น วิทยาและคณะ [4] ได้ศึกษาอิทธิพลของเหล็กต่อการปรับสภาพเกรนให้ละเอียดของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ร่วมกับโลหะแม่ (Al-Ti-B) เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลและลดโอกาสการเกิดจุดเสียในโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ซึ่งมีการกำจัดปริมาณเหล็กผสมอยู่ที่ไม่เกิน 0.6% โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมงานหล่อแบบฉีด(Die Casting) และงานหล่อโดยใช้แบบหล่อถาวร มักนิยมเติมเหล็กลงไปเพิ่มเติมในปริมาณหนึ่งเพื่อให้การถอดชิ้นงานออกจากแบบได้ง่าย โดยในการเติมนั้นมีการควบคุมให้ปริมาณของเหล็กโดยรวมไม่ให้เกินมาตรฐาน การเติมโลหะแม่ในปริมาณ 1% โดยน้ำหนักเพียงอย่างเดียวเป็นผลให้ขนาดเกรนของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอน มีขนาดเกรนที่ละเอียดลงในทุกเวลาค้างน้ำโลหะแต่จะเกิดการเสื่อมสภาพไปบางส่วน เมื่อเวลาค้างน้ำโลหะเกิน 40 นาทีและการเสื่อมสภาพจะเพิ่มมากขึ้นตามเวลาที่ค้างน้ำโลหะไว้ ผลจากการทดลองเติมโลหะแม่ร่วมกับการเติมเหล็กที่ระดับ 0.1, 0.2 และ 0.3% โดยน้ำหนัก พบว่ามีผลทำให้ขนาดเกรนของชิ้นงานหล่อหยาบขึ้นตามปริมาณเหล็กที่ผสมมากขึ้น วิทยาและคณะ [5] ได้ศึกษาการปรับปรุงแบบหล่อถาวรเพื่อใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพในการปรับสภาพเกรนให้ละเอียดในการหล่อโลหะอลูมิเนียมโดยใช้เหล็กกล้าเป็นวัสดุทำแบบหล่อถาวร โดยออกแบบให้มีลักษณะเป็นท่อซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรและความหนาของผนังแบบหล่ออยู่ระหว่าง 2, 5, 10, 15, 20 และ 25 มิลลิเมตร ก่อนนำมาวางบนอิฐทนไฟซึ่งเคลือบด้วยทรายเซอร์คอนและใช้อุณหภูมิเทที่ 720 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าลักษณะของเกรน Columnar เต็มทั้งชิ้นงาน เมื่อความหนาของผนังแบบหล่อมีขนาดเท่ากับรัศมีของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อเหล็กและลักษณะของเกรน Columnar จะมีพฤติกรรมการโตเริ่มจากผนัง แบบหล่อเข้าสู่ใจกลางของท่อเหล็กและปลายของเกรน Columnar จะชนกันที่จุดศูนย์กลางของท่อเหล็ก เมื่อนำไปทดสอบ

ความสามารถในการแยกแยะประสิทธิภาพในการปรับสภาพเกรนละเอียดด้วยโลหะผสมชนิด Al–Ti–B พบว่าการใช้แบบหล่อถาวรที่มีความหนาของผนังแบบที่ 30 มิลลิเมตร สามารถบอกความแตกต่างในการปรับสภาพเกรนละเอียดได้ดีที่สุด จากการสำรวจอุตสาหกรรมการหล่อจากโลหะอลูมิเนียมผสม เมื่อทำการกำจัดสิ่งสกปรกและเทน้ำโลหะเข้าแบบหล่อให้ได้ชิ้นงานหล่อตามที่ต้องการจะมีเศษที่เป็นรูล้นรูเทเป็นจำนวนมากเมื่อผู้ประกอบการทำการผลิตชิ้นงานหล่ออีกครั้งจะนำเอาเศษเหล่านี้กลับมาทำการหล่อหลอมใหม่โดยการเติมเข้าไปร่วมกับอินกอต(Ingots) เพื่อลดปริมาณการใช้อินกอต ทำให้เกิดการประหยัดด้านต้นทุนและวัสดุ ในการผลิตชิ้นงานหล่อมีส่วนผสมของโลหะอลูมิเนียมที่ได้ผ่านกระบวนการทางความร้อนจะส่งผลต่อส่วนผสมหลักทางเคมีหรือการสูญเพลิง(Heat Loss) คุณสมบัติทางกลและลักษณะโครงสร้างของชิ้นงานหล่อจะเปลี่ยนไปจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ตรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ดังนั้นคณะงานวิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญและคุณค่าของเศษวัสดุที่เหลือจากขบวนการหล่อโลหะนั้นกลับมาทำการหล่อหลอมใหม่เพื่อเป็นการลดการใช้วัตถุดิบและยังเป็นการช่วยลดต้นทุนถ้าสามารถนำกลับมาหลอมใหม่ได้โดยทำการปรับปรุงคุณสมบัติเพียงเล็กน้อยจึงได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบต่อส่วนผสมหลัก คุณสมบัติทางกลและโครงสร้างของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ที่ผ่านการหล่อหลอมซ้ำ คณะผู้ดำเนินงานวิจัยคาดหวังว่าผลการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้จะมีประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมการหล่อโลหะอลูมิเนียมผสมต่อไป

2. วัสดุเครื่องมืออุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 โลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356

โลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ดังรูปที่ 1 ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอน ตามมาตรฐานของ ANSI (American National Standard Institute) และจากสมาคมผู้ประกอบการหล่อโลหะนอกกลุ่มเหล็ก หรือ NFFS (Non Ferrous Founder Society) จัดให้อยู่ในกลุ่มโลหะผสม 3xx เกรด A356 การเปรียบเทียบมาตรฐานของอะลูมิเนียม A356 ดังตารางที่ 1

รูปที่ 1 อินกอตโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356

ตารางที่ 1 มาตรฐานที่ตรงกันโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A 356

ประเทศ	มาตรฐาน	ตัวมาตรฐาน
UK	BS1490	LM25
USA	AA/ASTM	A 356, ASE232
CANADA	Al can	135
FRANCE	A57-703/3	A-S7G
GERMANY	DIN1725/2	G-AlSi 7Mg
ISO		AlSi 7Mg
ITALY	UNI	3599
JAPAN	JISH	AC4C
AUSTRALIA	AA601 CC601	AC601, DA601

การหลอมโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอน (1) อุ่นเบ้าหลอมจนร้อนแดง (2) บรรจุแท่งโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอน (3) เมื่อโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเริ่มอ่อนตัวลงให้โปรยฟลั๊กซ์ในปริมาณที่มากพอจะคลุมผิวก้อนโลหะ (4) เพิ่มระดับอุณหภูมิอย่างรวดเร็วเพื่อเร่งการหลอมก้อนโลหะในระหว่างนี้ควรดูให้แน่ใจว่าฟลั๊กซ์คลุมผิวหน้าของโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนทั่วเพียงพอ (5) ควบคุมอุณหภูมิน้ำโลหะในเบ้าหลอมไม่ให้สูงกว่า 760 องศาเซลเซียส จากนั้นหยุดความร้อนเพื่อยกเบ้าหลอมออกจากเตาในระหว่างนั้นให้ทำการกำจัดก๊าซที่ละลายปนในน้ำโลหะออกด้วยก๊าซเฉื่อยที่อยู่ในรูปแบบก้อนหรือเป่าเข้าไปในน้ำโลหะ (6) ถ้าใช้ฟลั๊กซ์ในรูปแบบก้อนให้กดลงไปที่ก้นเบ้าแล้วเคลื่อน ขึ้น-ลงอย่างช้าๆ แต่กรณีที่เป็นการเป่าก๊าซเฉื่อยเข้าไปให้กวนน้ำโลหะด้วย (7) เมื่อน้ำโลหะมีระดับอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 720-740 องศาเซลเซียส ให้ทำการปรับปรุง (Modification) โดยใช้กรวยกดไม่ให้น้ำโลหะกระเพื่อมอย่างรุนแรง (8) โปรยฟลั๊กซ์ปกคลุมผิวหน้าคลุมผิวหน้าน้ำโลหะอีกครั้งและเอาเข้าเตาหลอมทำการค้างน้ำโลหะอยู่นิ่งๆ เป็นระยะเวลา 5-10 นาที โดยระยะเวลาการค้างน้ำโลหะจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหนักของ

โลหะ ถ้าน้ำหนักของโลหะน้อยกว่า 50 กิโลกรัม ควรค้างน้ำโลหะไว้ไม่เกิน 5 นาที (9) ปล่อยให้ฟลั๊กซ์ปกคลุมผิวหน้าน้ำโลหะกลายเป็นฝุ่นผงขี้โลหะ (Dross) จนกระทั่งฟลั๊กซ์เปลี่ยนเป็นสีแดงแสดงว่าขี้โลหะในน้ำโลหะถูกกำจัดหมดแล้วตักขี้โลหะออกจนสะอาด (10) เทน้ำโลหะลงแบบหล่อทันทีเมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการ

ตารางที่ 2 การสูญเพลิงของโลหะอะลูมิเนียมผสม

ชนิดของโลหะอลูมิเนียมผสม	ช่วงที่สูญเพลิง(%)	ช่วงที่สูญเพลิงมากที่พบ (%)
-โลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอน	0.2 - 9.7	1-3
-โลหะอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม	0.4-10.7	1-2 และ 6-10
-โลหะอลูมิเนียมผสมทองแดงซิลิคอน	0.3-8.5	1-2
-โลหะอลูมิเนียมผสมสังกะสี	0.3-4.0	<1
-โลหะอลูมิเนียมผสมทองแดงแมกนีเซียม	1.7-3.5	2-3
-โลหะอะลูมิเนียมผสมทุกชนิด	0.2-10.7	~2

การสูญเพลิงและการสูญเสียส่วนผสมทางเคมี (1) การสูญเพลิงในบรรดาโลหะอลูมิเนียมผสมทั้งหมดนั้นโลหะอลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม นับว่าสูญเพลิงมากที่สุดและพวกที่สูญเพลิงน้อยที่ได้แก่โลหะอลูมิเนียมผสมสังกะสี ส่วนกลุ่มอื่นๆ สูญเพลิงปานกลาง ข้อมูลจากการสำรวจของCombell J.S.และ RAO. NJ. ในสหรัฐอเมริกาเขาสำรวจจากโรงหล่อโลหะอลูมิเนียม 2000 กว่าโรง การสูญเพลิงนี้เป็นการสูญเพลิงรวมของอะลูมิเนียมผสมที่ได้จากการหลอมโลหะอลูมิเนียมผสมที่เป็นแท่งอินกอตไม่ใช่หลอมเศษโลหะอลูมิเนียมด้วยเตาหลอมแบบต่างๆ กันรวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ยออกมาดังตารางที่ 2 (2) การสูญเสียส่วนผสมทางเคมีของน้ำโลหะโดยการเกิดขี้โลหะในทางปฏิบัติการหลอมโลหะจะปฏิบัติการในสภาวะที่น้ำโลหะจำเป็นจะต้องสัมผัสกับอากาศ ทำให้ธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบเคมีของน้ำโลหะทำปฏิกิริยากับอากาศจนทำให้เกิดเป็นขี้โลหะขึ้นในระหว่างการหลอมโดยเฉพาะอย่างยิ่งไอร้อนหรือไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงมักจะมีไอน้ำที่เป็นองค์ประกอบรวมอยู่ด้วย ไอน้ำดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับน้ำโลหะกลายเป็นขี้โลหะ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเทน้ำโลหะ (1) ชิ้นงานบางที่มีความหนาน้อยกว่า 13 มิลลิเมตร ควรเทด้วยอุณหภูมิ 730 องศาเซลเซียส (2) ชิ้นงานบางที่มีความหนา 13-38 มิลิเมตร ควรเทด้วยอุณหภูมิ 710 องศาเซลเซียส และ (3) ชิ้นงานบางที่มีความหนามากกว่า 38 มิลลิเมตร ควรเทด้วยอุณหภูมิ 690 องศาเซลเซียส [8]

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองในการวิจัยนี้ประกอบด้วยเตาไฟฟ้าแบบขดลวดความต้านทาน ดังรูปที่ 2 เบ้าหลอมซิลิคอนคาร์ไบด์สำหรับบรรจุและหลอมเหลววัสดุที่ใช้ในการทดลอง เมื่อวัสดุหลอมเหลวจะใช้ฟลั๊กซ์และก๊าซอาร์กอนในการกำจัดสิ่งสกปรกและก๊าซในน้ำโลหะ จากนั้นเทน้ำโลหะเข้าในแบบหล่อถาวรตามมาตรฐาน ASTM E8

รูปที่ 2 เตาไฟฟ้าแบบขดขวดความต้านทาน

นำชิ้นงานที่ผ่านการหล่อที่ได้จากการหลอมแต่ละครั้งไปตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่องช่วยวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี และนำไปทำการขัดด้วยกระดาษทรายและขัดผิวหน้ามันด้วยเครื่องขัด กัดกรดเพื่อศึกษาโครงสร้างระดับมหภาคและนำชินงานที่ได้ไปศึกษาคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานที่ได้จะทำการทดสอบความแข็งและเค้นแรงดึงของชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบอเนกประสงค์และเครื่องทดสอบคุณสมบัติของวัสดุแบบอเนกประสงค์

2.3 วิธีการทดลอง

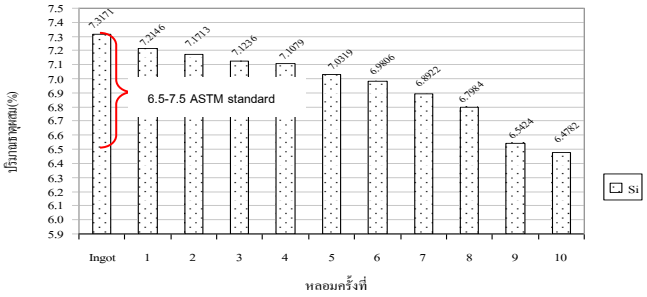
เปิดสวิทช์ชุดควบคุมการทำงานของเตาหลอมโดยค่อยๆ ปรับอุณหภูมิขึ้นเพื่ออุ่นภายในเตา เบ้าหลอมและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง เมื่อเบ้าหลอมร้อนแดงทั่วอุณหภูมิ

ประมาณ 600 องศาเซลเซียส เติมวัสดุลงในเบ้าหลอมและนำเข้าเตาหลอม เมื่อโลหะอลูมิเนียมผสมหลอมเหลวหมดที่อุณหภูมิประมาณ 850องศาเซลเซียส กำจัดก๊าซและสารมลทินที่ปนเปื้อนในน้ำโลหะโดยการใช้ฟลั๊กซ์ในปริมาณ 0.5–1% ต่อน้ำหนักของอลูมิเนียม ใช้ก๊าซอาร์กอนเป่าเข้าไปในน้ำโลหะในอัตราการไหลของก๊าซ 2 ลบ.ลิตร/นาที เป็นเวลา 2นาที เทน้ำโลหะที่ 720 องศาเซลเซียส เข้าในชุดแบบหล่อถาวรตามมาตรฐาน ASTM E8 ที่เตรียมไว้ นำชิ้นงานที่ได้ไปขัดดูโครงสร้างในระดับมหภาค ทดสอบคุณสมบัติทางกลและตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานและนำชิ้นงานนั้นกลับมาหลอมซ้ำๆใหม่

รูปที่ 3 ขนาดชิ้นงานทดสอบความเค้นแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 (หน่วยมิลลิเมตร)

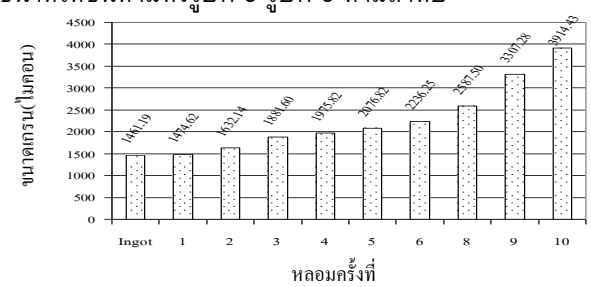
3. ผลการทดลอง

ผลการทดลองการศึกษาถึงผลกระทบต่อส่วนผสมหลักคุณสมบัติทางกล ละโครงสร้างของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ที่ผ่านการหลอมซ้ำในตัวแปรที่กำหนดคือส่วนผสมหลักทางเคมีของชิ้นงานที่ผ่านการหล่อหลอมซ้ำๆ จากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ที่ผ่านการหล่อหลอมซ้ำโดยไม่มีการปรับปรุงส่วนผสมในการหลอมเปรียบเทียบกับค่าส่วนผสมตามมาตรฐาน ASTM พบว่าส่วนผสมหลักคือซิลิคอนมีแนวโน้มลดลงจากการหล่อหลอมแต่ละครั้งดังรูปที่ 4 เพราะว่าส่วนผสมหลักมีการสูญเสียส่วนผสมทางเคมีสาเหตุคือเกิดเศษขี้โลหะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการหล่อหลอมแต่ละครั้งมาและการระเหยกลายเป็นไอของส่วนผสมที่มีจุดเดือดต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมและพบว่าแมกนีเซียมจะมีการสูญเสียส่วนผสมก่อนส่วนผสมอื่น จากการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์ส่วนผสมจากการหล่อหลอมในแต่ละครั้งพบว่าที่ส่วนผสมหลักมีค่าลดลงทำให้มีผลกระทบต่อชิ้นงานหล่อหลายประการเช่นการไหลตัวของน้ำโลหะเมื่อเทลงในแบบหล่อทำให้น้ำโลหะไม่เต็มในแบบหล่อเกิดรอยแตกร้าวและผิวของชิ้นงานหล่อเกิดฝ้าไม่มีความมันวาวและเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานแล้วพบว่าควรจะมีการปรับปรุงส่วนผสมโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน เกรด A356 ที่ผ่านการหล่อหลอมมาแล้ว 10 ครั้ง



รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยซิลิคอนของชิ้นงานหล่อที่ได้จากชิ้นงานที่ผ่านการหล่อหลอมซ้ำ

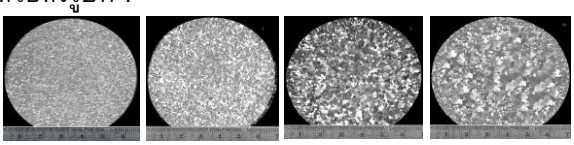
ในตัวแปรที่กำหนดคือขนาดเกรนของชิ้นงานหล่อที่ได้จากชิ้นงานที่ผ่านการหล่อหลอมซ้ำๆโดยวิธีการนับจุดตัดเชิงเส้น(Linear Intercept) จากผลการทดลองพบว่าชิ้นงานที่ได้จากการหล่อหลอมแต่ละครั้งมีขนาดเกรนที่ต่างกันโดยการหล่อหลอมครั้งแรกมีขนาดเกรนเล็กสุดและขนาดเกรนมีแนวโน้มจะโตขึ้นเมื่อผ่านการหล่อหลอมซ้ำๆ เนื่องจากส่วนผสมหลักมีค่าที่ลดลงทำให้เกรนจัดเรียงโครงสร้างที่หยาบเพราะการไหลของน้ำโลหะ การเย็นตัวช้าและเมื่อหล่อหลอมจนค่าของส่วนผสมหลักต่ำกว่าค่ามาตรฐานทำให้ชิ้นงานหล่อเกิดการหดตัว เกิดรอยแตกร้าวสูงดังนั้นจึงทำให้ขนาดเกรนของชิ้นงานหล่อมีขนาดโตขึ้นตามดังรูปที่ 5 รูปที่ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยขนาดเกรนของชิ้นงานหล่อที่ได้จากการชิ้นงานที่ผ่านการหล่อหลอมซ้ำ

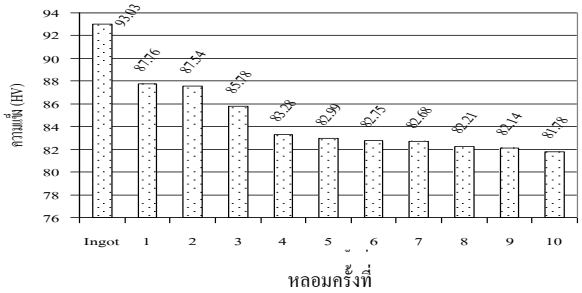
ในตัวแปรที่กำหนดคือคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งของชิ้นงานหล่อที่ได้จากการหล่อหลอมซ้ำๆ จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลด้านความแข็งของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 โดยวิธี Vickers Hardness Test จะพบว่าโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ที่ผ่านการหล่อหลอมแต่ละครั้งจะมีความแข็งลดลงเนื่องจากส่วนผสมหลักทางเคมีลดลงทุกครั้งในการ

หล่อหลอมจึงส่งผลกระทบกับความแข็งของชิ้นงานหล่อด้วยดังรูปที่ 7



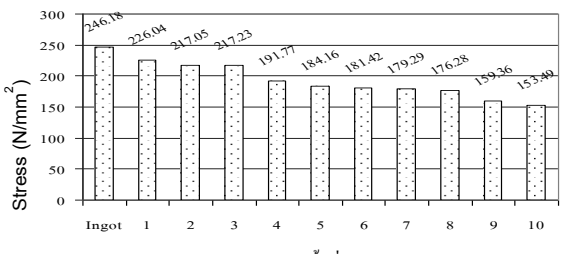
(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 6 โครงสร้างระดับมหภาคของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 (ก) A356มาตรฐาน (ข) ผ่านการหลอมครั้งที่1 (ค) ผ่านการหลอมครั้งที่5 และ (ง) ผ่านการหลอมครั้งที่10



รูปที่ 7 ค่าความแข็งเฉลี่ยของชินงานหล่อที่ได้จากการชิ้นงานที่ผ่านการหล่อหลอมซ้ำ

ในตัวแปรที่กำหนดคือคุณสมบัติทางกลด้านความเค้นแรงดึงของชิ้นงานหล่อที่ได้จากการหล่อหลอมซ้ำๆ ผลจากการทดสอบพบว่าชิ้นงานหล่อที่ได้จะมีความเค้นแรงดึงลดลงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก็ลดลงสาเหตุคือส่วนผสมหลักทางเคมีลดลงทุกครั้งจากการหล่อหลอมจึงส่งผลกระทบให้ชิ้นงานหล่อที่ได้จากการหล่อหลอมแต่ละครั้งขาดความทนทาน ขาดความเหนียว มีความเปราะเพิ่มขึ้นทำให้ความเค้นแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลงด้วยเช่นกัน ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ค่าความเค้นแ[illegible]งชิ้นงานหล่อที่ได้จากการชิ้นงานที่ผ่านการหล่อหลอมซ้ำ

4. สรุป

ข้อสรุปของการทดลองการศึกษาถึงผลกระทบต่อส่วนผสมหลัก คุณสมบัติทางกลและโครงสร้างของโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ที่ผ่านการหลอมซ้ำอาจสรุปได้ว่าโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A56 จะมีความสามารถในการนำมาหลอมซ้ำๆ ได้จำนวน 10 รอบของการใช้งานจึงจะทำให้ธาตุหลักที่ผสมอยู่คือซิลิคอนลดลง13.624% จากผลการทดลองยังพบว่าขนาดเกรนในโครงสร้างระดับมหภาคของชิ้นงานหล่อที่ได้มีขนาดโตกว่า 62.671% คุณสมบัติทางกลด้านความแข็งลดลง 12.092% ด้านความเค้นแรงดึงลดลง 37.043% เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะอลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356 ตามมาตรฐาน ASTM

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณปี 2557 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และได้รับการสนับสนุนวัสดุที่ในการทดลองจากบริษัทไดซิน จำกัด นิคมอุตสาหกรรมสุระนารี จ.นครราชสีมา ขอขอบคุณคมสันต์ กลัดนิล วีรชายดวงตั้งและอนุลักษณ์ ปะละตุ่น ที่ช่วยสืบค้นข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] กานต์ วิรุณพันธ์,การศึกษาถึงปัจจัยของสภาวะการหลอมที่มีผลต่อการควบคุมคุณภาพของงานหล่ออะลูมิเนียมผสม,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.

[2] Donna L. Zalensas.1993, Aluminum Casting Technology, Second Edition, The American Foundrymen's Society.

[3] เชาวลิต ลิ้มมณีวิจตรและคณะ,ประสิทธิภาพและกลไกการเสื่อมสภาพของการใช้โลหะแม่ชนิด Al-Ti-B ในอะลูมิเนียม-ซิลิคอนผสมหล่อ เกรด A356 ในการปรับสภาพเกรนละเอียด,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

[4] วิทยา เอียดเหตุและคณะ, การปรับสภาพเกรนให้ละเอียด,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

[5] วิทยา เอียดเหตุและคณะ,อิทธิพลของเหล็กต่อการปรับสภาพเกรนให้ละเอียดของโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนเกรด A356, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

การทำนายค่าการดีดตัวกลับในการพับรูปตัววีเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับ

Prediction of Spring-back Values in V-bending of High Strength Steel with Back Propagation Neural Network

ณัฐชานันท์ อังศุเศรณี[1*], ภาสพิรุฬห์ ศรีสำเริง[2], อาคม สงเคราะห์[3]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
[3]สาขาวิชาระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
E-mail: n.angsuseranee@gmail.com*

Natchanun Angsuseranee[1*], Bhadpiroon Sresomroeng[2], Arkhom Songkroh[3]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Pathumthani University
[2]Department of Tool and Die Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
[3]Department of Information System and Business Computer, Faculty of Business Administration and Information Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
E-mail: n.angsuseranee@gmail.com*

บทคัดย่อ

เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการให้มีน้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรงสูง เช่นชิ้นส่วนรับแรงกระแทก และแชสซีของรถยนต์เป็นต้น ทั้งนี้ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความแข็งของเหล็กเพิ่มขึ้น ทำให้ขึ้นรูปได้ยาก และที่สำคัญคือปัญหาการดีดตัวกลับของชิ้นงานหลังการขึ้นรูป ส่งผลทำให้ชิ้นงานไม่ได้รูปทรงตามต้องการ บทความนี้นำเสนอโมเดลในการทำนายค่าการดีดตัวกลับของชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงรีดเย็นเกรด SPFC590, SPFC980Y และเหล็กกล้ารีดเย็นเกรด SPCC ที่ผ่านกระบวนการพับขึ้นรูปตัววีซึ่งเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโลหะ ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นแบบย้อนกลับ มีปัจจัยนำเข้าในการทำนายค่าดังกล่าวประกอบด้วย รัศมีมุมดัด และความหนาชิ้นงาน โดยทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับด้วยผลการทดลองพับขึ้นรูปตัววีจำนวน 44, 47 และ 69 ครั้ง สำหรับเหล็กเกรด SPCC, SPFC590 และ SPFC980Y ตามลำดับ ผลจากการทำนายให้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในการทำนายเท่ากับ 0.134, 0.108 และ 0.146

คำหลัก การดีดตัวกลับ โครงข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

Abstract

High strength steel (HSS) has been used as raw material in a production that require lightweight parts and high strength parts such as reinforcement parts, chassis and etc. However, a strength and hardness of a steel are relatively high, leading to a low formability and large spring-back occurring after forming operation. As a result, the workpiece is unexpected shape. This work proposes the model to predict a

spring-back values in V-bending of cold roll HSS grade SPFC590, SPFC980Y and cold roll steel grade SPCC with back propagation neural network. The input data for predicting consists as the bend radius and material thickness. The back propagation neural network model was trained from the V-bending experimental data of 44, 47 and 69 times for SPCC SPFC590 and SPFC980Y respectively. The results from the prediction shows the root mean square error (RMSE) are 0.134, 0.108 and 0.146.

Keywords: Spring-Back, Back Propagation Neural Network, High Strength Steel

1. บทนำ

เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (High Strength Steel; HSS) ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่นชิ้นส่วนรับแรงกระแทก แชสซีของรถยนต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดน้ำหนักให้กับตัวรถ โดยเริ่มมีการนำเหล็กกลุ่มนี้เข้ามาเป็นวัตถุดิบในการผลิตตั้งแต่ปี 2543 ปัญหาที่ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์พบ คือเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเป็นวัตถุดิบที่มีความแข็ง ขึ้นรูปยาก มีคุณสมบัติเฉพาะตัวมาก เกิดการยึดติดกับผิวแม่พิมพ์ (adhesion) ได้ง่าย และที่สำคัญคือมีการดีดตัวกลับ (spring-back) ของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปสูง การดีดตัวกลับของชิ้นงานโลหะหลังการขึ้นรูปเกิดหลังจากนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ แล้วชิ้นงานไม่ได้ขนาดตามที่ได้ออกแบบไว้ สาเหตุเนื่องจากในเนื้อวัสดุชิ้นงานยังมีบางส่วนมีคุณสมบัติอยู่ในช่วงยืดหยุ่น (elasticity) ทำให้ชิ้นงานไม่ได้คุณภาพตามต้องการ การแก้ปัญหาการดีดตัวกลับอาจทำโดยการลองผิดลองถูก (trial and error) ในขั้นตอนการออกแบบเครื่องมือ หากทดลองขึ้นรูปแล้วได้ชิ้นงานมีขนาดไม่เป็นไปตามที่ต้องการก็ทำการแก้ไขหรือปรับแต่งแม่พิมพ์ใหม่ ซึ่งวิธีการนี้ต้องใช้ช่างที่ชำนาญ และมีประสบการณ์ด้านกระบวนการขึ้นรูปโลหะเป็นอย่างดี ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการพัฒนาซอฟท์แวร์ช่วยในการวิเคราะห์กระบวนการขึ้นรูปโลหะโดยการจำลองการทำงาน (simulation) ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method; FEM) ซึ่งวิธีการนี้ช่วยลดระยะเวลา และประหยัดค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการลองผิดลองถูก แต่อย่างไรก็ดีซอฟต์แวร์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ก็มีราคาสูง อีกทั้งในการจำลองการทำงานจำเป็นต้องมีข้อมูลสมบัติของวัสดุที่ถูกต้องเพื่อความแม่นยำในการคำนวณ และต้องใช้ระยะเวลาในการประมวลผลในแต่ละเงื่อนไขนาน ซึ่งในกระบวนการขึ้นรูปโลหะ มีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดการดีดกลับเป็นจำนวนมากเช่น รัศมีมุมดัดหรือพับ ค่าเคลียแรนซ์ของดาย และความหนาของวัสดุเป็นต้น [1]

H. Livatyali [2] และคณะได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการดีดตัวกลับโดยเลือกการพับปีกแบบตรงมาใช้ในการทดลอง โดยทำการทดลองเพื่อสืบค้นตัวแปรที่มีอิทธิพล เช่น รัศมีมุมดาย รัศมีพั้นช์ เคลียแรนซ์ แรงแผ่นกดชิ้นงานและวัสดุ และใช้ผลการทดลองบางส่วนมาวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากการทำการศึกษาพบว่ารัศมีดาย เคลียแรนซ์ที่เพิ่มขึ้นทำให้การดีดตัวกลับเพิ่มขึ้น การลดแรงแผ่นกดชิ้นงานมีผลต่อปริมาณการดีดตัวกลับที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนเคลียแรนซ์กับความหนาที่เพิ่มขึ้น 10% ส่งผลให้ปริมาณการดีดตัวกลับเพิ่มขึ้น 10% เช่นกัน หลังจากที่ H. Livatyaliทำการศึกษาและสรุปผลการทดลองจบ ในปีเดียวก็ได้ศึกษาต่อในช่วงที่สอง [3] ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการลดการดีดตัวกลับโดยออกแบบแม่พิมพ์แบบ coining และทำการทดลองเปรียบเทียบผลกับการทำนายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และยังประยุกต์กระบวนการ coining เพื่อไปปรับปรุงคุณภาพของการพับแบบ hemming เพื่อที่จะลดการเคลื่อนตัวของโลหะระหว่างการพับ จากการศึกษาพบว่าการทำนายผลด้วยซอฟต์แวร์ DEFORM และ ABAQUS ให้ผลสอดคล้องกับการทดลอง โดยวิธี coining สามารถลดปัญหาการดีดตัวกลับของชิ้นงาน แต่การประยุกต์ใช้กระบวนการ coining ก่อนการพับแบบ hemming ไม่สามารถช่วยควบคุมระยะดัดได้ตามที่ต้องการ นอกจากรายงานวิจัยที่กล่าวมาแล้ว ยังมีคณะวิจัยกลุ่มอื่น [4-12] ศึกษาถึงการแก้ปัญหาการดีดตัวกลับของชิ้นงานวัสดุชิ้นทดสอบต่างชนิดกันและที่ต่างกระบวนการกัน อย่างไรก็ดีจากรายงานวิจัยที่ผ่านมา ยังมีการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการศึกษาพฤติกรรมการดีดตัวกลับของชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงจำนวนน้อยชิ้น โดย Zemin Fu [12] และคณะ ศึกษาการใช้โครงข่ายประสาทเทียม (neuron network) ในการพยากรค่ารัศมีของ พันช์ในการขึ้นรูปด้วยวิธีการดัดขึ้นรูปในอากาศ (air-bending) เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการขึ้นรูปที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งในการพยากรณ์ได้มีการสอน (train) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูป และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของโครงข่ายประสามเทียมด้วย genetic algorithm จนได้ค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลอง และ ทำการเปรียบเทียบกับการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element) ซึ่งผลที่ได้จากทั้ง 3 วิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น มีผลที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่เกิดขึ้น +0.61 / -0.62 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ในกระบวนการผลิต ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการดัดขึ้นรูป

โลหะ เพื่อช่วยทำนายการดีดตัวกลับของชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงในกระบวนการดัดรูปตัวยู (U-bending)

งานวิจัยนี้นำเสนอโมเดลในการเปรียบเทียบการทำนายค่าการดีดตัวกลับของชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด SPFC590 (JIS), SPFC980Y (JIS) และ SPCC (JIS) ที่ผ่านกระบวนการพับขึ้นรูปตัววีซึ่งเป็นกระบวนการที่มีใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโลหะในอุตสาหกรรมยานยนต์ และอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นแบบย้อนกลับ (neuron network with back propagation) มีปัจจัยนำเข้าในการทำนายค่าดังกล่าวประกอบด้วย ความหนาของวัสดุ (*t*) และรัศมีการพับ (*R*) ทั้งนี้ผลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการทำนายค่าดีดตัวกลับของชิ้นงานเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงซึ่งกำลังได้รับความนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในปัจจุบัน

2. การจำลองและการทดลองพับขึ้นรูปตัววี

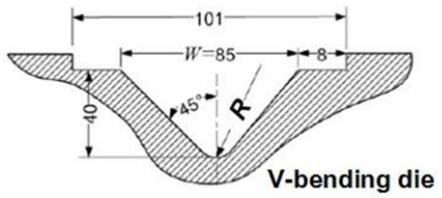
เพื่อให้ได้ข้อมูลในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมและประหยัดวัสดุ รวมถึงเวลาที่ใช้ในการทดลอง การจำลอง (simulation) การพับขึ้นรูปตัววีด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยซอฟแวร์ DEFORM 2D ถูกนำมาใช้หาค่าการดีดตัวกลับหลังการพับขึ้นรูปตัววีของชิ้นงานเหล็กเกรด SPCC, SPFC590 และ SPFC980Y ชิ้นงานเริ่มต้นในการพับขึ้นรูปตัววีมีขนาดกว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร ความหนาของวัสดุ (*t*) เท่ากับ 0.8, 1.0 และ 1.4 มิลลิเมตร รัศมีการพับ (bend radius; *R*) ที่ศึกษาเท่ากับ 2.0, 5.0 และ 8.0 มิลลิเมตร สมบัติของวัสดุทั้งสามเกรดได้จากการทดสอบแรงดึง (tensile testing) ตามมาตรฐาน ASTM E8 จำนวน 5 ชิ้นทดสอบ และการทดสอบความแข็ง (hardness testing) รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

เนื่องจากชิ้นงานที่พับรูปตัววี มีความสมมาตร จึงกำหนดโมเดล (model) ที่ใช้ในการจำลองเพียงครึ่งหนึ่งเพื่อประหยัดเวลาและการเก็บข้อมูลในการจำลองการทำงาน ชิ้นงานโลหะแผ่นถูกกำหนดให้มีสมบัติอยู่ในช่วงยืดหยุ่นและเปลี่ยนรูปถาวร หรืออีลาสโต-พลาสติก (elasto-plastic) กำหนดเมซ (mesh) เท่ากับ 2,500 เอลิเมนต์ โดยกำหนดให้ที่บริเวณมุมพับซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนรูป มีความละเอียดของเมซมากกว่าบริเวณอื่นเพื่อความเที่ยงตรงในการพิจารณา พันช์และดายถูกกำหนดให้มีสมบัติเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (rigid bodies) โดยมีกำหนดความเร็วของพันช์เท่ากับ 10 มิลลิเมตร/วินาที

ความแม่นยำของโมเดลในการจำลองการพับขึ้นรูปถูกเปรียบเทียบกับการทดลองพับขึ้นรูปจริงโดยการทดลองพับขึ้นรูปใช้รัศมีการพับเท่ากับ 5.0 มิลลิเมตร กับวัสดุ SPCC ที่ความหนา 1.0 มิลลิเมตร วัสดุ SPFC590 ที่ความหนา 0.8 มิลลิเมตร และวัสดุ SPFC980Y ที่ความหนา 1.4 มิลลิเมตรรายละเอียดแม่พิมพ์พับขึ้นรูปตัววีแสดงดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

Material properties	SPCC	SPFC590	SPFC980Y
Tensile strength[N/mm^2]	321	605	1002
Yield strength [N/mm^2]	216	476	712
Elongation [%]	45	25	16
Hardness [HV]	126.7	213.7	332.0



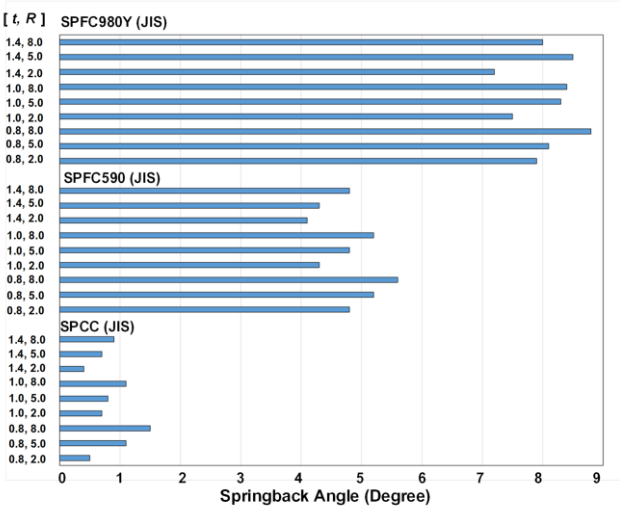
รูปที่ 1 รายละเอียดแม่พิมพ์พับขึ้นรูปตัววี

2.1ผลการจำลองและผลการทดลองพับขึ้นรูปตัววี

การยืนยันผลการจำลองการพับขึ้นรูปตัววีกับวัสดุทั้ง 3 ชนิดด้วยซอฟแวร์ DEFORM 2D ทำโดยเปรียบเทียบค่าการดีดตัวกลับ กับการทดลองพับขึ้นรูปจริง ที่รัศมีการพับเท่ากับ 5.0 มิลลิเมตรที่ความหนาแตกต่างกัน ผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าการดีดตัวกลับที่ได้จากการจำลองการพับขึ้นรูปตัววี และการทดลองพับขึ้นรูปตัววี

Material [*t*, *R*]	Springback Angle (Degree)		
	Simulation	Experiment	Different
SPCC [1.0, 5]	0.82	0.69	0.13
SPFC590 [0.8,5.0]	5.21	5.33	0.12
SPFC980Y [1.4, 5.0]	8.53	8.97	0.44



รูปที่ 2 ผลการจำลองการพับขึ้นรูปตัววี

จากการจำลองการพับขึ้นรูปตัววี และการทดลองพับขึ้นรูปตัววี ในตารางเปรียบเทียบค่าการดีดตัวกลับดังตารางที่ 2 ผลการดีดตัวกลับจากการจำลองการขึ้นรูปมีความคลาดเคลื่อนจากการเกิดการดีดตัวกลับจริงอยู่ในเกณฑ์รับได้คือไม่เกิน 1 องศา ซึ่งเป็นเกณฑ์ทั่วไปจากภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงเชื่อได้ว่าสมบัติทางกลและค่าที่กำหนดให้กับซอฟต์แวร์ DEFORM 2D เป็นค่าที่เหมาะสมจึงสามารถนำโมเดลดังกล่าวไปใช้ทำนายกับเงื่อนไขทดลองอื่นต่อไปซึ่งผลจากการจำลองการพับขึ้นรูปตัววีในเงื่อนไขที่ศึกษาแสดงในรูปที่ 2

2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้ากับค่าการดีดตัวกลับ

ข้อมูลที่ได้จากการจำลองการทำงานและการพับขึ้นรูปตัววีจริงแสดงให้เห็นว่า ค่าความแข็งแรงของวัสดุ ความหนา และมุมในการพับขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าการดีดตัวกลับของชิ้นงานรูปตัววีหลังการพับขึ้นรูป เพื่อยืนยันความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษาดังกล่าวกับค่าการดีดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปตัววี การทดสอบความสัมพันธ์ด้วยวิธี Pearson แบบ One-tailed จึงถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือ ผลการทดสอบแสดงแยกตากเกรดของวัสดุดังรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 5

Correlations

		thickness	Bend_radius	Springback_ Angle
thickness	Pearson Correlation	1	.000	-.320**
	Sig. (1-tailed)		.500	.000
	N	270	270	270
Bend_radius	Pearson Correlation	.000	1	.765**
	Sig. (1-tailed)	.500		.000
	N	270	270	270
Springback_Angle	Pearson Correlation	-.320**	.765**	1
	Sig. (1-tailed)	.000	.000	
	N	270	270	270

**. Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

รูปที่ 3 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่าการดีดตัวกลับของชิ้นงานพับขึ้นรูปตัววี เกรด SPCC

Correlations

		thickness	Bend_radius	Springback_ Angle
thickness	Pearson Correlation	1	.000	-.376**
	Sig. (1-tailed)		.500	.000
	N	270	270	270
Bend_radius	Pearson Correlation	.000	1	.692**
	Sig. (1-tailed)	.500		.000
	N	270	270	270
Springback_Angle	Pearson Correlation	-.376**	.692**	1
	Sig. (1-tailed)	.000	.000	
	N	270	270	270

**. Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

รูปที่ 4 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่าการดีดตัวกลับของชิ้นงานพับขึ้นรูปตัววี เกรด SPFC590

Correlations

		thickness	Bend_radius	Springback_ Angle
thickness	Pearson Correlation	1	.000	-.180**
	Sig. (1-tailed)		.500	.008
	N	180	180	180
Bend_radius	Pearson Correlation	.000	1	.729**
	Sig. (1-tailed)	.500		.000
	N	180	180	180
Springback_Angle	Pearson Correlation	-.180**	.729**	1
	Sig. (1-tailed)	.008	.000	
	N	180	180	180

**. Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed).

รูปที่ 5 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่าการดีดตัวกลับของชิ้นงานพับขึ้นรูปตัววี เกรด SPFC980Y

จากข้อมูลในรูปที่ 2 และการหาความสัมพันธ์ด้วยวิธี Pearson แบบ One-tailed ในรูปที่ 4-5 วัสดุที่มีค่าความแข็งแรงสูงจะเกิดการดีดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปตัววีสูงกว่าวัสดุที่มีค่าความแข็งแรงต่ำ วัสดุเกรดเดียวกันจะเกิดการดีดตัวกลับลดลงถ้าเพิ่มความหนาชิ้นงานที่ต้องการพับขึ้นรูปตัววี ในขณะที่การเพิ่มรัศมีการพับ ส่งผลให้เกิดการดีดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูปตัววีมากขึ้น

3. การทำนายผลการดีดตัวกลับด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมและองค์ประกอบการสอนและเรียนรู้ในงานนี้ ข้อมูลนำคือความหนาวัสดุชิ้นงาน (*t*) และรัศมีการพับขึ้นรูป (*R*) และข้อมูลเป้าหมายคือ ค่าการดีดตัวกลับ (SB) จะต้องถูกลดทอนให้เหมาะสมกับโครงข่ายคืออยู่ในย่าน (0-1) โดยใช้การแปลงค่าดังสมการที่ 1

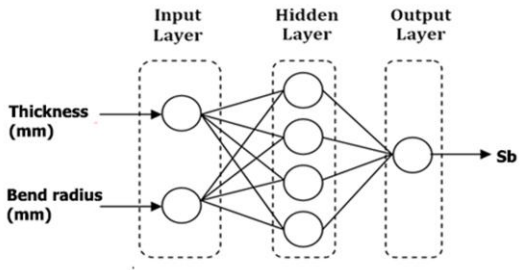
$$X_n = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

โดยที่ X_n คือ ค่าข้อมูลที่ผ่านการลดทอน x คือ ค่าข้อมูลนำเข้าที่ต้องการลดทอนขนาด $x_{\min}$ คื อ ค่าข้อมูลนำเข้าที่น้อยที่สุด และ $x_{\max}$ คือ ค่าข้อมูลนำเข้าที่มากที่สุด

การคัดเลือกข้อมูลในการฝึกสอนและทดสอบระบบใช้วิธีการตรวจสอบแบบไขว้ (cross validation) ด้วยเทคนิค K-fold cross-validation เพื่อตรวจสอบค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ของโมเดล โดยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชุดเท่าๆ กัน ซึ่งประกอบด้วยชุดข้อมูลของเหล็กแต่ละเกรด ใน 9 เงื่อนไนการทดสอบ เงื่อนไขละ 30 ข้อมูล รวมทั้งสิ้น 270 ข้อมูล ทั้งนี้กำหนดให้ข้อมูล 2 ชุดสำหรับใช้ในการฝึกสอนจำนวน 180 ข้อมูล ส่วนข้อมูลอีก 1 ชุดใช้ในการทดสอบจำนวน 90 ข้อมูล โดยการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธีการดังกล่าว ทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้ง ได้ค่าผิดพลาดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบโมเดลด้วยวิธี k-fold cross-validation

k-fold Cross	Root Mean Square Error (RMSE)		
	SPCC	SPFC590	SPFC980Y
1	0.020	0.015	0.021
2	0.017	0.017	0.019
3	0.021	0.019	0.021
Average	0.019	0.017	0.020



รูปที่ 6 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่ศึกษา

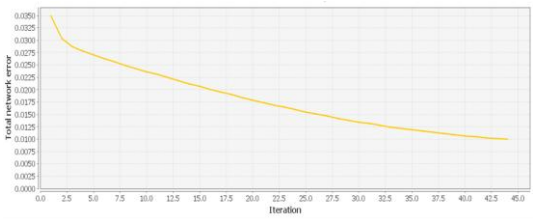
จากผลการทดสอบในตารางที่ 3 พบว่าชุดข้อมูลที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในแต่ละวัสดุซึ่งวัดด้วยเทคนิคค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error; RMSE) ได้แก่กลุ่มข้อมูลชุดที่ 2, 1 และ 2 สำหรับเหล็กเกรด SPCC, SPFC590 และ SPFC980Y ตามลำดับดังนั้นจึงเลือกข้อมูลชุดดังกล่าวมาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบระบบ

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้สำหรับทำการศึกษา (รูปที่ 6) ทำโดยการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นไม่มีการกำหนดรูปแบบ และค่าพารามิเตอร์ในการศึกษาแบบตายตัว ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการพยากรณ์ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลอง โดยแบ่งตามชั้นการทำงานประกอบด้วย

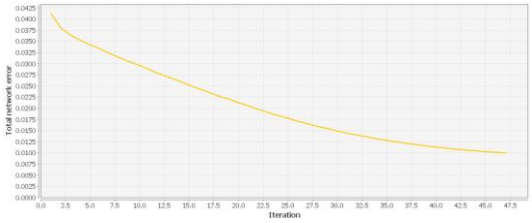
ชั้นที่1ได้แก่ชั้นนำเข้าข้อมูล(input layer) ประกอบด้วยตัวแปรนำเข้าได้แก่ ค่าความหนาวัสดุ (t) และ ค่ารัศมีการพับ (R)

ชั้นที่2 ได้แก่ชั้นซ่อน (hidden layer) กำหนดให้มีหนึ่งชั้นซ่อน จำนวน 4 นิวรอน โดยใช้ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนแบบ ซิกมอยด์

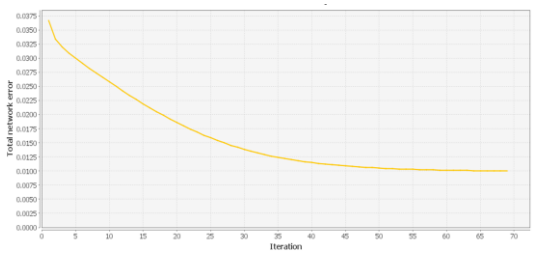
ชั้นที่ 3 ได้แก่ชั้นผลลัพธ์ (output layer) กำหนดให้มีเพียง 1 นิวรอน คือ ค่าการดีดตัวกลับ โดยใช้ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนแบบเส้นตรง



รูปที่ 7 ผลการเรียนรู้จากโครงข่ายประสาทเทียม เกรด SPCC



รูปที่ 8 ผลการเรียนรู้จากโครงข่ายประสาทเทียม เกรด SPFC590



รูปที่ 9 ผลการเรียนรู้จากโครงข่ายประสาทเทียมเกรด SPFC980Y

โครงข่ายประสาทเทียมกำหนดให้มีกระบวนการสอนและเรียนรู้แบบย้อนกลับ โดยกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ (learning rate) เท่ากับ 0.20 และกำหนดให้มีอัตราความผิดพลาด (error rate) เท่ากับ 0.01 ซึ่งผลที่ได้จากการเรียนรู้และย้อนกลับเพื่อปรับค่าน้ำหนักในชั้นซ่อนจนค่าผลลัพธ์ที่ได้ มีค่าอัตราความผิดพลาดเข้าสู่ค่าเป้าหมายที่กำหนด ใช้การเรียนรู้ทั้งสิ้น 44, 47 และ 69 รอบ สำหรับเหล็กเกรด SPCC, SPFC590 และ SPFC980Y ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7-9

4. ผลการศึกษา

จากผลการคัดเลือกข้อมูลในการฝึกสอนและทดสอบด้วยเทคนิค K-fold cross-validation พบว่าชุดข้อมูลที่ 2, 1 และ 2 สำหรับเหล็กเกรด SPCC, SPFC590 และ SPFC980Y ตามลำดับ มีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้พยากรณ์ค่าการดีดตัวกลับด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับ เนื่องจากให้ผลค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด ด้วยเทคนิค RMSE ซึ่งผลจากการคัดเลือกข้อมูลข้างต้น นำผลที่ได้จากการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับมาทำนายค่าการดีดตัวกลับจากข้อมูลทดสอบจำนวน 90 ข้อมูล ซึ่งในข้อมูลทดสอบดังกล่าวประกอบด้วย 9 เงื่อนไขการทดลอง เงื่อนไขการทดลองละ 10 ข้อมูล โดยนำค่าแต่ละเงื่อนไขการทดลองมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำเสนอผลจากการทำนายค่าการดีดตัวกลับของเหล็กทั้ง 3 เกรด ดังแสดงในตารางที่ 4- 6

ตารางที่ 4 ผลเฉลี่ยจากการทำนายด้วยเครือข่ายประสาทเทียมเหล็กเกรด SPCC

Condition No	*t, R*	Target Values	Predicted Values
1	0.8, 2	0.50	0.58
2	0.8, 5	1.15	1.09
3	0.8, 8	1.55	1.53
4	1, 2	0.70	0.77
5	1, 5	0.70	0.77
6	1, 8	0.91	0.94
7	1.2, 2	0.44	0.45
8	1.2, 5	0.78	0.88
9	1.2, 8	1.09	1.15

ตารางที่ 5 ผลเฉลี่ยจากการทำนายด้วยเครือข่ายประสาทเทียมเหล็กเกรด SPFC590

Condition No	*t, R*	Target Values	Predicted Values
1	0.8, 2	5.16	5.05
2	0.8, 5	5.54	5.46
3	0.8, 8	4.21	4.21
4	1, 2	4.24	4.23
5	1, 5	4.78	4.68
6	1, 8	4.33	4.31
7	1.2, 2	4.74	4.72
8	1.2, 5	5.15	5.10
9	1.2, 8	5.29	5.14

ตารางที่ 6 ผลเฉลี่ยจากการทำนายด้วยเครือข่ายประสาทเทียมเหล็กเกรด SPFC980Y

Condition No	*t, R*	Target Values	Predicted Values
1	0.8, 2	7.83	8.02
2	0.8, 5	8.16	8.23
3	0.8, 8	8.80	8.91
4	1, 2	7.19	7.27
5	1, 5	8.54	8.50
6	1, 8	7.98	8.07
7	1.2, 2	7.47	7.56
8	1.2, 5	8.33	8.36
9	1.2, 8	8.44	8.35

ตารางที่ 7 ค่าความคลาดเคลื่อนด้วยเทคนิค RMSE

No.	Material Grade	RMSE
1	SPCC	0.134
2	SPFC590	0.108
3	SPFC980Y	0.146

จากการวิเคราะห์ผลจากการทำนายค่าการดีดตัวกลับด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับ ของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงของเหล็กเกรด SPCC, SPFC590 และ SPFC980Y ด้วยเทคนิค RMSE ดังตารางที่ 7 พบว่า ผลของการทำนายเหล็กเกรด SPFC590 มีประสิทธิภาพในการทำนายสูงสุด รองลงมาคือ เกรด SPCC และ SPFC980Y ตามลำดับ

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการทำนายค่าการดีดตัวกลับของชิ้นงานเหล็กSPCC (JIS) และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด SPFC590 (JIS) และ SPFC 980Y (JIS) ที่ผ่านกระบวนการพับขึ้นรูปตัววีซึ่งเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโลหะ ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นแบบย้อนกลับ มีค่าความหนาของวัสดุและรัศมีมุมพับเป็นปัจจัยนำเข้าในการทำนายค่าการดีดตัวกลับของชิ้นงานหลังการพับขึ้นรูป

การทำนายค่าการดีดตัวกลับด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ใช้วิธีการคัดเลือกข้อมูลแบบ k-fold cross-validation เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนายให้กับระบบเครือข่าย โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชุดทดสอบ ในแต่ละข้อมูลชุดทดสอบประกอบด้วยข้อมูลฝึกสอนจำนวน 20 ข้อมูล และข้อมูลในการทดสอบจำนวน 10 ข้อมูล ซึ่งจากผลทดสอบการทำนายค่าการดีดตัวกลับด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยทำการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายด้วยวิธีหาค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย พบว่าการทำนายค่าการดีดตัวกลับด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับ ให้ค่าความแม่นยำเป็นที่น่าพอใจ โดยที่เหล็กเกรด SPFC590 มีประสิทธิภาพในการทำนายสูงสุด รองลงมาคือ เกรด SPCC และ SPFC 980Y ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.108 , 0.134 และ 0.146 ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าผลการทำนายด้วยเครือข่ายประสาทเทียมจะมีค่าความแม่นยำที่น่าเชื่อถือขึ้นอยู่กับ 1) การคัดเลือกตัวแปรในการศึกษา 2) การคัดเลือกข้อมูลที่ดี ในการฝึกสอนให้กับเครือข่าย 3) การเลือกรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยปทุมธานี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิในการสนับสนุนงบประมาณ รวมถึงภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้อเฟื้อซอฟต์แวร์ DEFORM 2D เพื่อการจำลองการพับขึ้นรูป

เอกสารอ้างอิง

[1] ภาสพิรุฬห์ ศรีสำเริง คมกริช ละวรรณวงษ์ วารุณี เปรมานนท์1 พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ และ อนรรฆ ขันธะชวนะ. อิทธิพลของเคลียแรนซ์ที่มีผลต่อการดีดตัวกลับในการดัดงอรูปยูเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง. รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 17-19 ตุลาคม 2550 จังหวัดชลบุรี.

[2] Donald F. Eary and Edward A. Reed.1974.Technique of press working sheet metal, 2nd Edition, Prentice-Hall, Inc.

[3] Livatyali , H , Altan , T. 2001. Prediction and elimination of springback in straight flanging using computer aided design methods Part 1 Experimental investigations. Journal of Materials Processing Technology. vol. 117: 262-268.

[4] Livatyali , H , Altan , T , Wu.,H.C. 2001. Prediction and elimination of springback in straight flanging using computer aided design methods Part 2 FEM predictions and tool design. Journal of Materials Processing Technology. vol. 120:348-354.

[5] S.H. Chang , J. M. Shin , Y. M. Heoand D. G. Seo. 2002. Springback characteristics of the tailor - welded strips in U- Bending.Journal of Materials Processing Technology. vol.130-131:14-19.

[6] M.V. Inamdar , P.P. Date , S.V. Sabnis . 2002. On the effects of geometric parameters on springback in sheets of five materials subjected to air vee bending. Journal of Materials Processing Technology. vol. 123:459-463

[7]Cho, J.R., Moon, S.J., Moon, Y.H. and Kang, S.S.2003. Finite element investigation on spring-back characteristics in sheet metal Ubending process. Journal of Materials Processing Technology. vol.141:109–116.

[8] Mori, K., Akita, K. and Abe, Y. 2007. Springback

Behavior in Bending of Ultra-High-Strength Sheets Using CNC Servo Press. International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol.47:321-325.

[9] B. Sresomroeng, V. Premanond, P. Kaewtatip, A. Khantachawana, N. Koga. Investigation of the Influences of Bending Die Clearance on Springback Values of High Strength Steel Using FEM. the proceeding of International Conference on Materials Processing Technology 2010 January 5-6, 2010, Bangkok, Thailand.

[10] R. Ruffini, J. Cao, 1998. Using Neural Network for Springback Minimization in a Channel Forming Process. Journal of Materials & Manufacturing, Vol.107:65-73.

[11] Recep Kazan, Mehmet Fırat, Aysun Egrisogut Tiryaki. 2009. Prediction of springback in wipe-bending process of sheet metal using neural network. Materials and Design Vol.30:418–423.

[12] Zemin Fu, Jianhua Mo, Lin Chen, Wei Chen. 2010. Using genetic algorithm-back propagation neural network prediction and finite-element model simulation to optimize the process of multiple-step incremental air-bending forming of sheet metal. Materials and Design Vol.31:267–277.

ผลกระทบของกรรมวิธีทางความร้อนต่อคุณสมบัติทางกลของรอยต่ออลูมิเนียมด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of Aluminum Alloy Butt Joint by Friction Stir Welding Process

เฉลิมพล คล้ายนิล[1*] พงศกร หลีตระกูล[2]
[1,2]สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
E-mail: chalermpol1@hotmail.com[*]

Chalermpol Klaynil[1*] Pongsakorn Leetrakul[2]
[1,2]Department of Production Engineering Technology, Faculty of Industry and Technology
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Huahin, Prachuapkhirikhan, 77110
E-mail: chalermpol1@hotmail.com[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการอบอ่อน (To) ต่อคุณสมบัติทางกลของรอยต่ออลูมิเนียมผสม AA6061 กับ AA6063 เครื่องมือหมุนกวนทำด้วยเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น JIS SKD11 สลักแกนหมุนเป็นผิวเกลียว ใช้เหล็กกล้าความเร็วรอบสูง ทำการเชื่อมกวนแบบต่อชนและนำไปผ่านการอบอ่อน (To) ที่อุณหภูมิ 150 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C และ 350 °C โดยใช้เวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าความเร็วในการเดินเชื่อม 74 mm/min อุณหภูมิในการอบ 200 °C เวลาอบ 2 ชั่วโมง ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 164 MPa และความเร็วในการเดินเชื่อม 74 mm/min อุณหภูมิในการอบ 150 °C เวลาอบ 4 ชั่วโมง ค่าความแข็งสูงสุด 78.1 Hv และความเร็วในการเดินเชื่อม 74 mm/min อุณหภูมิในการอบ 300 °C เวลาอบ 4 ชั่วโมง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุดที่ 27.6%

คำสำคัญ การเชื่อมเสียดทานแบบกวน / อลูมิเนียมผสม / การอบอ่อน / คุณสมบัติทางกล

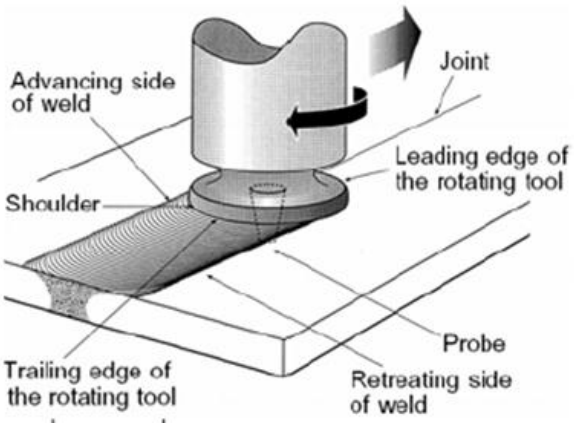
Abstract

The objective of this research is to study the effect of annealing process on mechanical properties of butt joint of aluminum alloy AA6061 and AA6063 by friction stir welding. Tools made from JIS SKD11 steel by welding friction stir butt joint and annealing to the temper designated “O” at 150 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C and 350°C for 2 and 4 hours. The result of the experiment shows that the welding speed 74 mm/min with annealing temperature is 200 °C for 2 hours makes 164 MPa which is the ultimate tensile strength. The welding speed 74 mm/min with annealing temperature is 150°C for 4 hours makes 78.1 Hv which is the maximum hardness and the welding speed 74 mm/min with annealing temperature is 300°C for 4 hours makes 27.6% of elongation which is the highest.

Keywords: Friction stirs welding / Aluminum alloy / Annealing / Mechanical properties

1. บทนำ

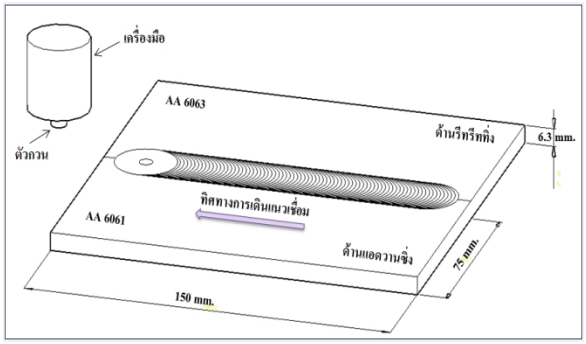
ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีให้มีความทันสมัย เที่ยงตรง เพื่อให้สินค้ามีคุณภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจำเป็นต้องมีกรรมวิธีการผลิตในรูปแบบต่างๆ เช่นการเชื่อมเพื่อการประกอบชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ เป็นการให้ความร้อนและทำให้สภาพของชิ้นงานเกิดการหลอมละลายประสานติดกัน โดยอุตสาหกรรมการผลิตที่ใช้ชิ้นส่วนจากอลูมิเนียมผสม เช่นชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องบินและชิ้นส่วนเครื่องจักรกล จะเกิดรูพรุน เกิดการแตกร้าวของรอยเชื่อม และเสียขนาดรูปร่างได้ง่าย ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการเชื่อมในรูปแบบใหม่ เรียกว่าการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding: FSW) ดังรูปที่ 1 ถูกพัฒนาโดยสถาบันการเชื่อม (The Welding Institute: TWI) ประเทศอังกฤษ [1] ซึ่งเป็นกระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็งแบบไม่หลอมละลาย ความร้อนที่ได้จะเกิดจากการเสียดทานสัมผัสกันระหว่างผิวหน้าของแกนหมุนกวนที่หมุนรอบแกนและบ่าของเครื่องมือกับผิวหน้าของแผ่นอลูมิเนียม ทำให้เนื้อวัสดุอยู่ในสภาพพลาสติก ส่งผลให้เกิดรอยต่อและการรวมตัวกัน โดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นต่ำกว่าจุดหลอมละลาย กระบวนการเชื่อมดังกล่าวมีข้อดี คือไม่มีการแพร่ของรังสี ไม่เกิดควันพิษ ชิ้นงานรับแรงทางกลได้สูง เกิดรูพรุนน้อย ไม่เกิดการแตกร้าวรอยเชื่อม และลดต้นทุนในการผลิต เพราะไม่เกิดการสิ้นเปลืองในการใช้ลวดเชื่อมเติม สามารถประยุกต์ใช้ได้กับเครื่องจักรกลพื้นฐานและเครื่องจักรกลอัตโนมัติ โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน [2]-[7] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน (FSW) กับวัสดุอลูมิเนียม 2 เกรด คือ อลูมิเนียมผสม AA6061 กับอลูมิเนียมผสม AA6063 ด้วยแกนหมุนทรงกระบอกผิวเกลียว กำหนดให้ความเร็วรอบที่ (Rotation Speed) 985 รอบต่อนาที และความเร็วเดินแนวเชื่อม (Welding Speed) มีค่าแตกต่างกัน และนำชิ้นงานที่เชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนด้วยการอบอ่อน (To) (temper designated “O”) ที่อุณหภูมิ และเวลาในการอบที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของรอยต่อชนอลูมิเนียมผสม



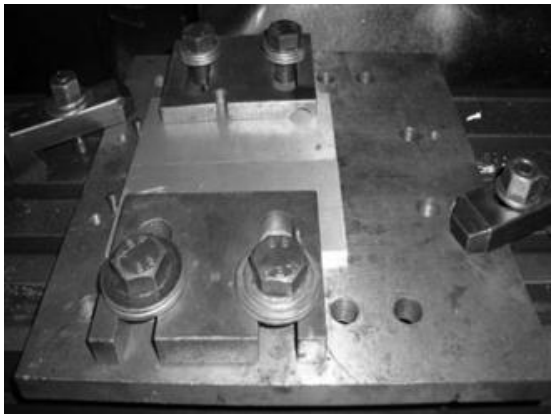
รูปที่ 1 การเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน [8]

2. วิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คืออลูมิเนียมผสม AA6061 เชื่อมต่อกับอลูมิเนียมผสม AA6063 มีขนาดความหนา 6.3 มิลลิเมตร ความกว้าง 75 มิลลิเมตร และความยาว 150 มิลลิเมตร ทำการเชื่อมแบบต่อชน (Butt Joint) ดังรูปที่ 2 โดยกำหนดให้แผ่นอลูมิเนียมผสม AA6061 อยู่ด้านแอดวานซิ่ง และแผ่นอลูมิเนียมผสม AA6063 อยู่ด้านรีทรีทติ่ง เครื่องมือเชื่อมทำด้วยเหล็กกล้าเครื่องมือ JIS SKD11 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ตัวกวนหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร แบบทรงกระบอกผิวเกลียว M 6x1 มิลลิเมตร มีความยาว 6 มิลลิเมตร และรูปที่ 3 คือลักษณะการจับยึดชิ้นงานและการจัดวางการเชื่อมต่อชน

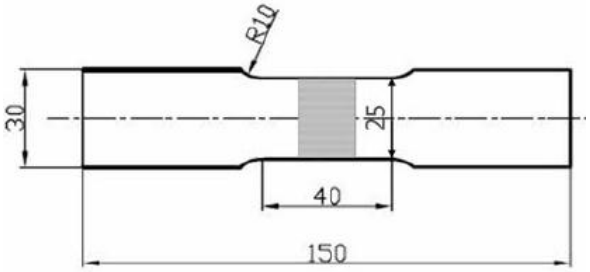


รูปที่ 2 การเชื่อมเสียดทานแบบกวนอลูมิเนียมผสม AA6061 กับอลูมิเนียมผสม AA6063



รูปที่ 3 ลักษณะการจับยึดชิ้นงานและการจัดวางการเชื่อมต่อชน

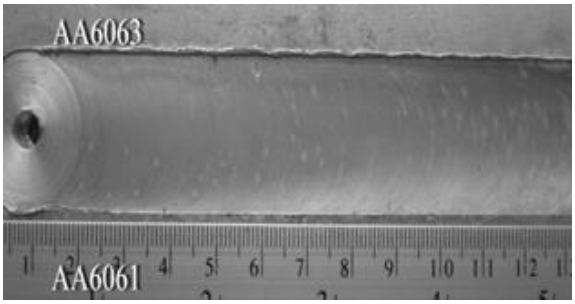
ตัวแปรในการเชื่อมประกอบด้วยความเร็วรอบ (Rotation Speed) 985 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม (Welding Speed) 74 mm/min และ 89 mm/min ในการทดลองนี้จะสอดตัวกวนเข้าไปในรอยต่อโดยการกดตัวกวนลงตามแนวแกน Z ของเครื่องกัดแนวดิ่ง ลงไปที่แผ่นอลูมิเนียม จนกระทั่งได้ความลึกที่ต้องการคือ 6.0 มิลลิเมตร จากนั้นจึงเลื่อนตัวกวนเข้าสู่แนวต่อชน ความยาวประมาณ 150 มิลลิเมตร หลังจากผ่านการเชื่อมเสร็จตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ ทำการทดลองอบอ่อน (To) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของอลูมิเนียมผสมที่เชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวน ที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน คืออุณหภูมิ 150 °C 200 °C 250 °C 300 °C และ 350 °C ใช้เวลาอบ 2 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองเชื่อมเสียดทานแบบกวนและผ่านการอบอ่อน ทำการทดสอบความแข็งด้วยเครื่องทดสอบไมโครวิกเกอร์ และทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน AWS D1.2 ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง Zwick รุ่น Z020 โดยรูปร่างของชิ้นทดสอบ ดังรูปที่ 4



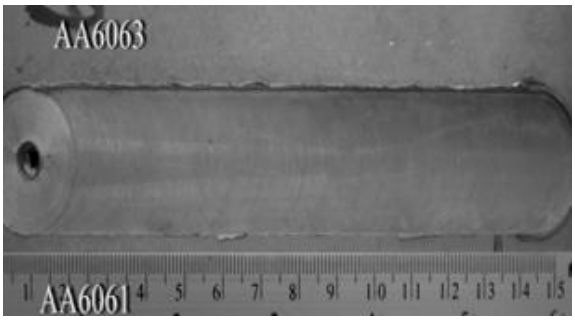
รูปที่ 4 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์

ผลจากการเชื่อมความเสียดทานแบบกวน ดังรูปที่ 5 และ 6 แสดงลักษณะผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบของตัวกวน 985 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 mm/min และ 89 mm/min พบว่าผิวหน้าด้านบนของรอยเชื่อมค่อนข้างเรียบ แต่มีครีบด้านรีทรีททิ่งตลอดแนวเชื่อม อย่างไรก็ตามความเร็วในการเดินเชื่อมที่ต่ำผิวหน้าแนวเชื่อมมีพบจุดบกพร่องเพียงเล็กน้อย แต่เกิดครีบที่มีขนาดใหญ่ เกิดขึ้นที่ด้านของอลูมิเนียมผสม AA6063 (ด้านรีทรีททิ่ง) ดังรูปที่ 5 แต่เมื่อความเร็วในการเดินเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น จะพบจุดบกพร่องขนาดเล็กมากกว่า ส่วนปริมาณและขนาดของครีบลดลง และการปรับความเร็วรอบของตัวกวน และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม ทำให้ความร้อนจากการเสียดทานที่บริเวณแนวเชื่อมเพียงพอต่อการไหลตัวของเนื้อวัสดุ ซึ่งมีผลต่อความสมบูรณ์ของเนื้อโลหะ และในการจับยึดชิ้นงานจะต้องแน่ใจว่าชิ้นงานมีระดับเท่ากันตลอดความยาวแนวเชื่อม ก็สามารถลดปัญหาการเกิดจุดบกพร่องลงได้ ทำให้เนื้อเชื่อมมีความสมบูรณ์ตลอดความยาว

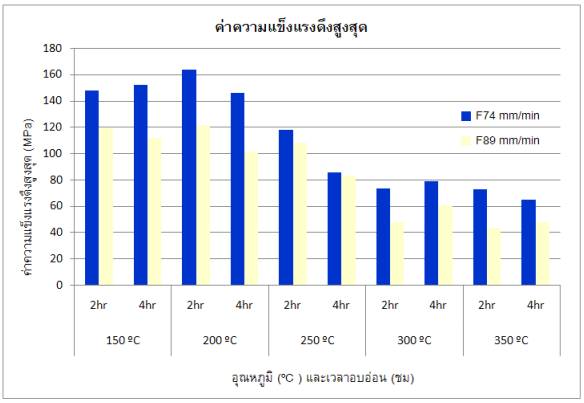


รูปที่ 5 ลักษณะผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบ 985 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 74 mm/min



รูปที่ 6 ลักษณะผิวหน้าแนวเชื่อมที่ความเร็วรอบ 985 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม 89 mm/min

3.1 อิทธิพลของการอบอ่อนต่อคุณสมบัติทางกล

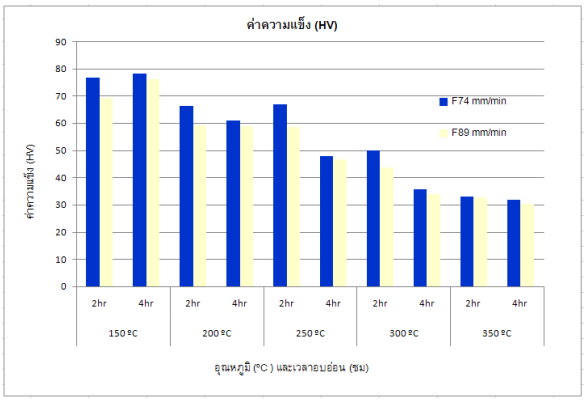


รูปที่ 7 สัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อน

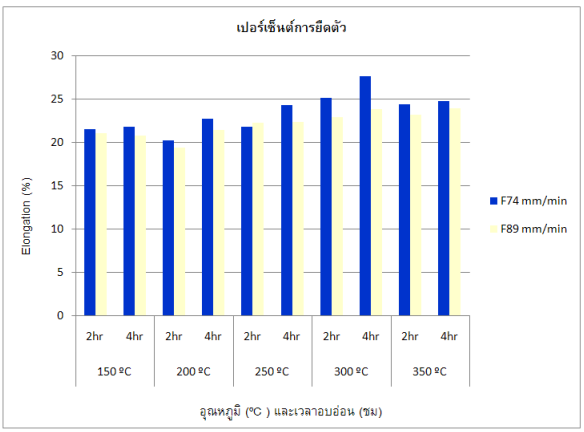
รอยต่ออลูมิเนียมผสม AA6061 กับอลูมิเนียมผสม AA6063 จะถูกกวนด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ความเร็วรอบ (Rotation Speed) 985 rpm ความเร็วเดินแนวเชื่อม (Welding Speed) 74 mm/min และ 89 mm/min และนำไปผ่านการอบอ่อน (To) ที่อุณหภูมิ 150 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C และ 350 °C โดยใช้เวลาอบ 2 และ 4 ชั่วโมง ดังรูปที่ 7 เป็นผลการทดสอบแรงดึงเพื่อหาสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดกับอุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อน พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของชิ้นทดสอบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบอ่อนอยู่ในช่วง 150 °C ถึง 200 °C และค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดต่ำลง เมื่ออุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มขึ้นจาก 250 °C ถึง 350 °C

ที่อุณหภูมิอบอ่อน 200 °C เวลาอบ 2 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 985 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 mm/min พบว่าค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดมีค่า 164 MPa ส่วนที่อุณหภูมิอบอ่อน 350 °C เวลาอบ 2 ชั่วโมง ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 mm/min พบว่าค่าความแข็งแรงดึงต่ำสุดมีค่า 44 MPa ผลการทดลองที่ได้ยังพบว่าความแข็งแรงดึงมีความสัมพันธ์กับลักษณะความสมบูรณ์ของผิวหน้าแนวเชื่อม จุดบกพร่องขนาดเล็กที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากความเร็วในการเดินเชื่อมสูงขึ้นคือจาก 74 mm/min เป็น 89 mm/min ส่งผลทำให้ความสามารถในการรับแรงดึงมีค่าลดลง

รูปที่ 8 เป็นผลจากการทดสอบความแข็งที่บริเวณพื้นผิวรอยเชื่อมด้วยเครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ส เพื่อหาสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิ และเวลาในการอบอ่อน ที่อุณหภูมิในการอบอ่อน 150°C เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 985 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 mm/min พบว่าค่าความแข็งมีค่าสูงสุด 78.1 Hv และค่าความแข็งของชิ้นงานมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิอบอ่อนเพิ่มขึ้นจาก 200 °C ถึง 350 °C มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 30 Hv ถึง 60 Hv ผลการทดลองยังพบว่าอุณหภูมิในการอบอ่อนที่เพิ่มสูงขึ้นค่าความแข็งลดลง ทำให้แนวเชื่อมมีค่าความแข็งแรงดึงลดต่ำลงด้วย แต่เปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มสูงขึ้น



รูปที่ 8 สัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับอุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อน



รูปที่ 9 สัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับอุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อน

รูปที่ 9 เป็นผลการทดสอบแรงดึงเพื่อหาสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด (% elongation) กับอุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อน พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการอบอ่อนสูงขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิในการอบอ่อนอยู่ที่ 350 °C ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดลดลงเล็กน้อย ที่อุณหภูมิในการอบอ่อน 300 °C เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 985 rpm ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 74 mm/min พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดสูงสุดมีค่า 27.6% ส่วนที่อุณหภูมิในการอบอ่อน 200 °C เวลาในการอบ 2 ชั่วโมง ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 89 mm/min ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดต่ำสุดมีค่า 19.4%

4. สรุปผลการทดลอง

1. คุณสมบัติทางกลด้านการรับแรงดึง ความเร็วในการเดินเชื่อม 74 mm/min อุณหภูมิในการอบ 200 °C เวลาในการอบ 2 ชั่วโมง ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 164 MPa

2. คุณสมบัติทางกลด้านความแข็งของบริเวณแนวเชื่อม ความเร็วในการเดินเชื่อม 74 mm/min อุณหภูมิในการอบ 150 °C เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ค่าความแข็งสูงสุด 78.1 Hv

3. คุณสมบัติทางกลด้านการยืดตัว ความเร็วในการเดินเชื่อม 74 mm/min อุณหภูมิในการอบ 300 °C เวลาในการอบ 4 ชั่วโมง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงสุดที่ 27.6%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ สัญญาเลขที่ A29/2556

เอกสารอ้างอิง

[1] M.F. Zah and D.Eireiner, Welding and Cutting 3, 2004, PP. 223

[2] Dongxiao L. and Xinqi Y., Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of AA6061-T6 butt welded joints by stationary shoulder friction stir welding, Materials and Design, 64: 251–260. 2014

[3] Hamed J.A., Influences of pin profile on the mechanical and microstructural behaviors in dissimilar friction stir welded AA6082–AA7075 butt Joint, Materials and Design, 67: 413–421. 2015

[4] Jawdat A. Sallameh S. Talal A .M., Welding equality and mechanical properties of aluminum alloys joints prepared by friction stir welding. Materials and Design, 56: 929–936. 2014

[5] Kimapong K. and Wanatabe T., Effect of elding Process Parameters on Mechanical Property of FSW Lap Joint between Aluminum Alloy and Steel, Materials Trans, 46: 2211-2217. 2005

[6] H.J. Liu, H. Fujii, M. Maedaa, and K. Nogi., Tensile Properties and Fracture Locations of Friction-Stir - Welded Joints of 2017-T351 Aluminum Alloy, Journal of Materials Processing Technology, 142: 692–696. 2003

[7] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, อิทธิพลรูปร่างตัวกวนการเชื่อมด้วยการเสียดทานแบบกวนต่อความต้านทานแรงดึงของรอยต่ออลูมิเนียม 6063-T1 และเหล็กกล้า AISI1015, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ครั้งที่ 6 8-9 พฤษภาคม 2551

[8] Thomas, W.M. and Nicholas, E.D., “Friction Stir Welding for the Transportation Industries, Mat.&Des., 18: 269-273. 1997

กลุ่มที่ 7

Automation Engineering

การพัฒนาเครื่องวัดพิกัดชนิดโครงสร้างรอยต่อหมุน 5 แนวแกน

The Development of 5-axis Articulated Arm-Coordinate Measuring Machine

สมฤกษ์ ปุจฉาการ[1]* ปรัชญ์ ปะวีณเพิ่มสุข[2] กัญญ์กุลณัช จันทนุพงศ์[3] สุธรรม ธัมกิตติคุณ[4]
[1,2,3,4]สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
กรุงเทพมหานคร 10800
E-mail: srpkarn@yahoo.com*

Somrerk Poodchakarn[1]* Prutch Paweenpermsuk[2] Kankullanach Juntanupong[3] Sutham Thammakittikun[4]
[1,2,3,4]Department of Production Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800
E-mail: srpkarn@yahoo.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดพิกัด (CMM) โครงสร้างเป็นแบบแขนหมุน 5 แนวแกน พร้อมระบบหัววัดทรงกลมแบบสัมผัส และโปรแกรมประมวลผลเพื่อคำนวณหาจุดสัมผัสชิ้นงานในระบบพิกัดฉาก โดยระเบียบวิธีนี้จะเป็นการแก้ปัญหาความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของหัววัดที่ไม่มีตัวตรวจรู้บอกทิศทางการสัมผัสที่พื้นผิวชิ้นงาน ระบบหัววัดที่พัฒนาขึ้นมานี้จะเป็นการเพิ่มสมรรถนะ และความแม่นยำของการระบุตำแหน่งของจุดสัมผัส โดยการติดตั้งตัวตรวจรู้ระบบสวิทช์สัมผัสขนาดเล็ก 4 ตัว จัดวางแบบ 4 ทิศทางบนระนาบเดียวกันและตั้งฉากกัน หลักการทำงานของเครื่องวัดพิกัด จะรับสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาลอก (Analog) 0-5 V. ซึ่งสัมพันธ์กับมุมบิดของแขนหมุนจากโพเทนทิโอมิเตอร์ (Potentiometer) จำนวน 5 ตัวและสถานะสัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิตอล (Digital) 0, 1 ของตัวตรวจรู้ระบบสวิทช์สัมผัส จะสามารถตรวจจับทิศทางการสัมผัสได้ 8 ทิศทางบนระนาบ และนำสัญญาณทั้งหมดมาประมวลผลร่วมกันด้วยระเบียบวิธีการคำนวณของเดนาวิท-ฮาร์เทนเบอร์ก (Danavit-Hartenberg) โดยทำการตรวจสอบความถูกต้องของชุดสมการต่างๆ ด้วยโปรแกรม Mathematica พร้อมทั้งการทดสอบการตรวจวัดแบบเสมือนจริงด้วยโปรแกรม MSC.Adams หลังจากนั้นจึงนำชุดสมการที่ถูกต้องมาทำการพัฒนาระเบียบวิธีการคำนวณ (Algorithm) ด้วยโปรแกรม LabVIEW เพื่อประมวลผลสัญญาณจากอุปกรณ์การวัดต่างๆ ของเครื่องวัดพิกัด จากผลการทดสอบและปรับเทียบเครื่องวัดพิกัดกับชิ้นงานแท่งเหล็ก 4 เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 mm พบว่ามีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยของจุดที่วัดกับค่าพิกัดจริงในระบบพิกัดฉากประมาณ 5% ในทุกๆ แนวแกน

คำหลัก เครื่องวัดพิกัด, โพเทนทิโอมิเตอร์, เดนาวิท-ฮาร์เทนเบอร์ก, Methematica, MSC.Adams, LabVIEW

Abstract

This research presents the design and development of the Coordinate Measuring Machine (CMM) which consists of the 5 revolute joints and a spherical contact probe system. Including a signal processing-programming for computing the contact points onto a work piece in the Cartesian coordinate system.

This approach used for solving the systematic errors problem of a non-directional-surface contact probe.

The development probe system can be increasing the performance and precision to enumerate the contact point positions. The component of this CMM consists of 4 miniature contact switches which arranged onto perpendicularly 4 directions and on the same plane. The CMM operational principle will receive the analog signal 0-5 V. from the 5 potentiometers which each sensor has a relationship with the orientation angle of each joint. In part of the digital signal with the logic of 0, 1 from those contact switches can be detecting the 8 contact directions onto that plane. Then, collection all signal to be computed by Denavit-Hartenberg (D-H) parameters approach. These D-H equations have been proven by Mathematica commercial software. Moreover, they also proven by MSC.ADAMS the virtual motion simulation software. After that, using those correctly equations and developing with the appropriated algorithms by LabVIEW programming and processing the acquired signal from CMM. From the experimental results and calibration of this CMM with the steel-box cube of 50x50x50 mm, the average of true percent errors about 5% for every axis of the Cartesian coordinate system.

Keywords: Coordinate Measuring Machine, Potentiometer, Denavit–Hartenberg, Methematica, Adams, LabVIEW

1. บทนำ

เครื่องวัดพิกัด (Coordinate Measuring Machine) หรือ CMM คืออุปกรณ์สำหรับวัดขนาดชิ้นงานหรือวัตถุใดๆ รูปแบบการใช้งานมีทั้งการใช้มือจับหัวตรวจวัดให้เคลื่อนที่ไปแตะวัตถุ หรือควบคุมการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติเพื่อวัดขนาดชิ้นงาน ส่วนประกอบหลัก คือ (1) โต๊ะวางหรือติดตั้งชิ้นงานเพื่อตรวจสอบขนาด (2) หัวตรวจวัด (Probe) เป็นชุดอุปกรณ์สำหรับแตะกับชิ้นงานในจุดที่ต้องการวัดขนาด (3) ชุดโครงสร้างกลไกการเคลื่อนที่และตัวตรวจรู้ (Sensor) ของแขนวัด (4) ชุดคอมพิวเตอร์ประมวลผลและแสดงผลการวัด [1] ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทยได้นำเครื่อง CMM มาใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากง่าย สะดวกต่อการใช้งาน และมีความแม่นยำสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดชนิดอื่นๆ ทั้งยังลดระยะเวลาในการทำงานได้มาก ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของผู้ใช้มีมากขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานมีคุณภาพที่ดีขึ้น ทำให้จำนวนผู้ใช้งานมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ CMM ที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยล้วนแล้วแต่นำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้นซึ่งมีราคาที่สูงมาก โครงงานวิจัยนี้จึงนำเสนอระเบียบวิธีการออกแบบและสร้างเครื่อง CMM รวมทั้งการประยุกต์ใช้โปรแกรม LabVIEW [2] สำหรับการประมวลผลสัญญาณจากตัวตรวจรู้ต่างๆ บนหลักการพื้นฐานเบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบที่แม่นยำและซับซ้อนต่อไป โดยทั่วไป CMM คืออุปกรณ์เครื่องจักรกลความแม่นยำสูงประเภทหนึ่ง ที่ต้องอาศัยองค์ความรู้หลากหลายสาขาประกอบกัน (Multi-disciplinary) โดยเฉพาะสาขากลศาสตร์ จลนศาสตร์ (Kinematics) การวัดและหุ่นยนต์ [3] Denavit-Hartenberg ได้นำเสนอระเบียบวิธีการกำหนดตัวแปรสำหรับการสร้างสมการเมตริกซ์ของการเคลื่อนที่ระบบจลนศาสตร์ของกลไกเครื่องจักรกล [4] B. Maurin และคณะ ได้นำเสนอแบบจำลองทางจลนศาสตร์ของระบบกลไกแบบขนาน 5 องศาอิสระ โดยประยุกต์ใช้ระบบจลนศาสตร์แบบผันตรงและผกผัน (Forward-Inversed Kinematics) ในการวัดตำแหน่งและควบคุมการเคลื่อนที่ของกลไกอุปกรณ์ทางการแพทย์ [5] M. Ristic และคณะ นำเสนอการชดเชยหัววัดแบบสัมผัส ของเครื่อง CMM โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์แบบจำลอง [6] N.A. Barakat และคณะนำเสนอระเบียบวิธีการชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนของระบบจลนศาสตร์และรูปร่างเชิงกายภาพของเครื่อง CMM โดยเปรียบเทียบกับค่าจริงที่วัดด้วยเครื่องเลเซอร์ [7] จากแนวทางการวิจัยดังกล่าวข้างต้นและระเบียบวิธีทางวิศวกรรมต่างๆ [8]-[10] จึงนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเครื่อง CMM ต่อไป

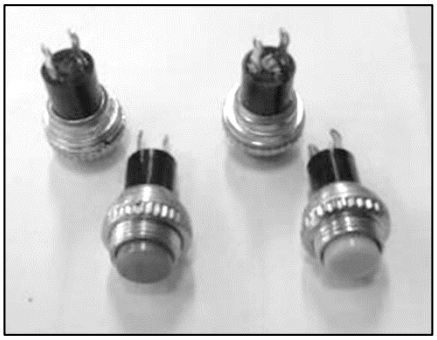
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตัวตรวจรู้ (Sensor)

ตัวตรวจรู้ เป็นตัวแปลงปริมาณทางกายที่วัดแล้วแปลงไปเป็นสัญญาณที่สามารถอ่านได้ด้วยคนหรือเครื่องมือ ตัวตรวจรู้เป็นอุปกรณ์อย่างหนึ่งที่ตอบสนองต่อปริมาณที่นำเข้า (Input) โดยการสร้างสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า ความไวของตัวตรวจรู้ แสดงให้เห็นด้วยปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกที่จะเปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณที่กำลังทำการวัดเปลี่ยนแปลงไป [8], [9]

2.2 สวิตช์จำกัดระยะ (Limit Switch)

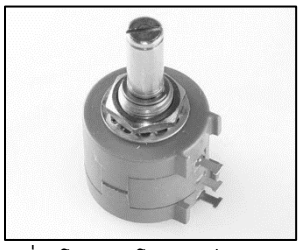
การทำงานอาศัยแรงกดจากภายนอกมากระทำ เช่น การวางของทับบริเวณปุ่มกดหรือลูกเบี้ยวมาชนที่ปุ่มกด และเป็นผลทำให้หน้าสัมผัสที่ต่ออยู่ติดกับก้านชน เปิด-ปิดตามจังหวะของการชน จึงนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจรู้แบบสัมผัส มีลักษณะดังรูปที่ 1 [8], [9]



รูปที่ 1 สวิตช์จำกัดระยะ (Limit switch)

2.3 โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer)

ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เชิงเส้นหรือเชิงมุมไปเป็นค่าความต้านทาน หากจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าทางด้านขาเข้า จะทำให้สัญญาณแรงเคลื่อนและกระแสที่ออกทางขาออกเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง เนื่องจากการเลื่อนของแขน (Wiper) ที่ตัวโพเทนทิโอมิเตอร์ ซึ่งโพเทนทิโอมิเตอร์ มี 2 ชนิดคือ (1) แบบเชิงเส้น (Linear Potentiometer) ใช้ในการวัดระยะทางที่เป็นเส้นตรง (2) แบบเชิงมุม (Rotary Potentiometer) ใช้สำหรับวัดระยะในลักษณะการหมุน ดังแสดงในรูปที่ 2 [8], [9]



รูปที่ 2 โพเทนทิโอมิเตอร์แบบเชิงมุม
(Manufacturer: byab)

2.4 จลนศาสตร์แบบผันตรง (Forward Kinematics)

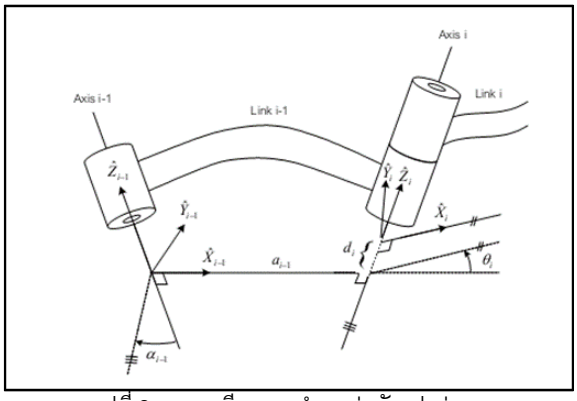
จลนศาสตร์แบบผันตรง คือ การคำนวณหาตำแหน่งที่ปลายของแขนกล (End Effector) โดยต้องทราบค่าตัวแปรแต่ละข้อต่อ (Joint Variables) กรณีข้อต่อแบบหมุนค่าตัวแปรที่ต้องการทราบคือค่ามุมจากนั้นนำค่ามุมที่ทราบค่าในแต่ละข้อต่อไปคำนวณหาค่าพิกัดที่ปลายแขนกลโดยใช้หลักการระเบียบวิธีของเดนาวิท-ฮาร์เทนเบอร์ก (Denavit-Hardenberg, D-H parameters) เข้ามาช่วยในการกำหนดแกนและหาค่าตัวแปรต่างๆ หลักการกำหนดตัวแปร จะเป็นการสร้างตัวแปรเพื่อนำมาใช้ในการหาสมการการเคลื่อนที่ของกลไกโดยมีการกำหนดแกนให้ชี้ไปตามทิศทางการหมุนตามกฎมือขวา ซึ่งมีตัวแปรทั้งหมด 4 ตัวได้แก่

1. Link Length (a_i) คือระยะทางระหว่าง z_i ถึง z_{i-1} โดยพิจารณาตามแกน x_i

2. Link Twist (α_i) คือมุมระหว่างแกน z_{i-1} กับแกน z_i โดยพิจารณาบนแกน x_i

3. Link Offset (d_i) คือระยะทางระหว่าง x_i ถึง x_{i-1} โดยพิจารณาตามแกน z_i

4. Joint Angle (θ_i) คือมุมระหว่างแกน x_{i-1} กับแกน x_i โดยพิจารณาบนแกน z_i



รูปที่ 3 รายละเอียดของตำแหน่งตัวแปรต่างๆ

ตามแนวทางของ Denavit-Hartenberg

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรต่างๆ (D-H parameters) ตามแนวทางของ Denavit-Hartenberg ของแต่ละข้อต่อ

Link	a_{i-1}	α_{i-1}	θ_i	d_i
1	L_1	0º	θ_1	0
2	L_2	0º	θ_2	0

หลังจากที่ได้ค่าตารางตัวแปร D-H แล้ว ต่อไปจะทำการหาค่าทรานสฟอร์มเมชันเมตริกซ์ (Transformation Matrix) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 4 x 4 ซึ่งภายในเมตริกซ์นี้ประกอบไปด้วยเมตริกซ์การหมุนและเวคเตอร์การเคลื่อนที่โดยการระบุค่าต่างๆ ในตาราง ลงในสมการ Homogeneous Transformation Matrix ของสมการไปข้างหน้าตามจำนวนข้อต่อ i

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin\theta_i\cos\alpha_{i-1} & \cos\theta_i\cos\alpha_{i-1} & -\sin\alpha_{i-1} & -d\sin\theta_{i-1} \\ \sin\theta_i\sin\alpha_{i-1} & \cos\theta_i\sin\alpha_{i-1} & \cos\alpha_{i-1} & d_i\cos\alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

หลังจากนั้นก็จะนำมาแทนในสมการที่ (2) เพื่อหาค่าพิกัดสุดท้ายของเครื่องมือวัด CMM

$$T_i^{i-1} = T_1^0 T_2^1 T_3^2 T_4^3 T_5^4 \quad (2)$$

โดยค่าในหลักที่ 4 ของเมตริกซ์ผลคูณข้างต้น จะเป็นชุดตัวแปรของรอยต่อ (Joint) ต่างๆ ของพิกัด X, Y, Z ของเครื่องมือวัด CMM [1]-[10]

2.5 โปรแกรม CAE : MSC.Adams [11]

โปรแกรม MSC.Adams คือโปรแกรมช่วยงานทางวิศวกรรม (CAE) ที่ผลิตมาเพื่อรับรู้ระบบการทำงานที่ใกล้เคียงความจริงและมีประสิทธิภาพพร้อมทั้งสามารถช่วยให้การออกแบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถวิเคราะห์โครงสร้าง การเคลื่อนที่ การควบคุม รวมทั้งด้านเครื่องกล และระบบไฟฟ้า อีกทั้งปรับปรุงประสิทธิภาพในด้านวิศวกรรมและก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ

2.6 โปรแกรม Mathematica [12]

โปรแกรม Mathematica เป็นโปรแกรมช่วยงานทางวิศวกรรม ที่ประยุกต์ใช้เชิงสัญลักษณ์ และเชิงตัวเลข ที่ช่วยในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ในรูปแบบสมการที่มีความซับซ้อน

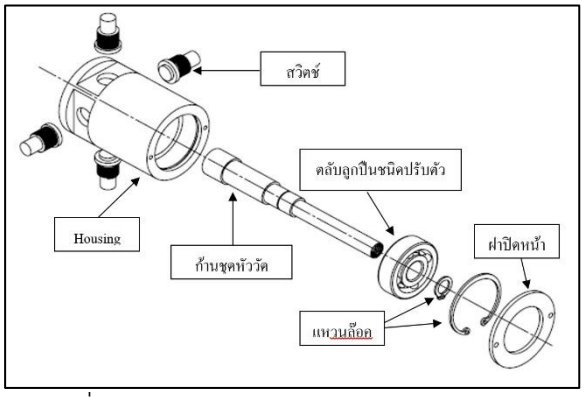
2.7 โปรแกรมแลบวิว (LabVIEW Programming) [13]

LabVIEW เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการจัดการวัด และเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) รูปแบบภาษาที่ใช้ในโปรแกรมจะเรียกว่าเป็นภาษารูปภาพ ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกและลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มากโดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เช่น พอร์ทหรือการ์ด ต่างๆ รวมถึงการจัดวางตำแหน่งในหน่วยความจำเพื่อที่จะสามารถรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการคำนวณและเก็บข้อมูลให้ได้ประโยชน์สูงสุด

3. การดำเนินงาน

3.1 การออกแบบชุดหัววัด

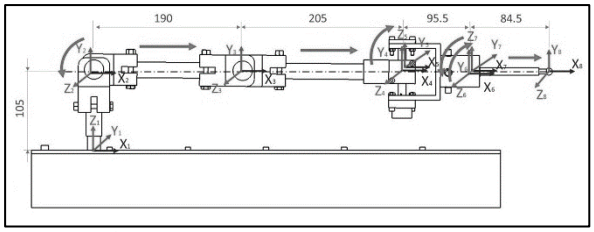
การออกแบบจะคำนึงถึงการสร้างและการใช้ให้มีลักษณะการใช้งานที่ง่าย และมีความแข็งแรงควบคู่ไปกับความแม่นยำ ทั้งนี้เพื่อให้เครื่องมือวัดมีความสามารถรับรู้ตำแหน่งและทิศทางของหัววัดได้ ซึ่งจะสามารถเพิ่มค่าชดเชยต่างๆ ของหัววัด จะส่งผลให้เครื่องมือวัดมีความแม่นยำมากขึ้น โดยออกแบบให้ตัวเสื้อเป็นทรงกระบอก พร้อมทั้งมีสวิตซ์ชนิดกดติด-ปล่อยดับ ติดอยู่ 4 ตัว เพื่อรับรู้ทิศทางของหัววัดได้ทั้งหมด 8 ทิศทาง ส่วนก้านวัดด้านใน ใช้การออกแบบในลักษณะของแกนเพลากลม โดยด้านบนมีขนาด 15 mm เพื่อใช้ในการกดสวิตซ์ทั้ง 4 ตัว ถัดลงมามีการตกบ่า เพื่อประกอบเข้ากับตลับลูกปืน แล้วใช้การประกอบเข้าด้วยกันด้วยแหวนล๊อคนอก พร้อมทั้งเลือกใช้ตลับลูกปืนชนิดปรับตัวเองแนวเยื้องแกนได้ (Self-Aligning Ball Bearing) เพื่อให้มีความเป็นอิสระและง่ายในการเคลื่อนที่เอียงไปกดสวิตซ์ทั้ง 4 ตัว และถัดมาที่ปลายแกนใช้เป็นหัวสัมผัสแบบลูกบอลเหล็ก ในส่วนของการประมวลผลจะเป็นการนำค่าการเคลื่อนที่ของหัวบอลกับมุมองศาของแกน ที่ถูกกดในแต่ละทิศทางของสวิตซ์ไปชดเชยในชุดสมการจลนศาสตร์แบบผันตรง เพื่อเพิ่มความแม่นยำให้กับเครื่องมือวัดอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ส่วนประกอบของหัววัดแบบสัมผัสสำหรับ CMM

3.2 การสร้างสมการการเคลื่อนที่ของ CMM

การประยุกต์ใช้รูปแบบการกำหนดตัวแปรของข้อต่อ (Joint) และชิ้นส่วน (Link) ต่างๆ ของ CMM จะเป็นไปตามระเบียบแบบแผนของ D-H โดยประกอบไปด้วยตัวแปรทั้งหมด 4 ประเภท และความสัมพันธ์ของ 2 แนวแกนในที่นี้คือ แกน X และแกน Z และใช้การพิจารณาเป็นรูปแบบ ตัวแขนจะเชื่อมกับรอยต่อที่ส่วนต้นและส่วนปลายแขน เช่น จุดที่หนึ่งไปจุดสองคือแขนที่หนึ่ง และจุดที่สองไปจุดที่สามก็คือแขนที่สอง ซึ่งจะกำหนดการตั้งแกน X และ Z ให้สอดคล้องกับเชิงกายภาพจริงของ CMM ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การกำหนดตัวแปรตามแบบแผนของ D-H

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรต่างๆ ตามแบบแผนของ D-H

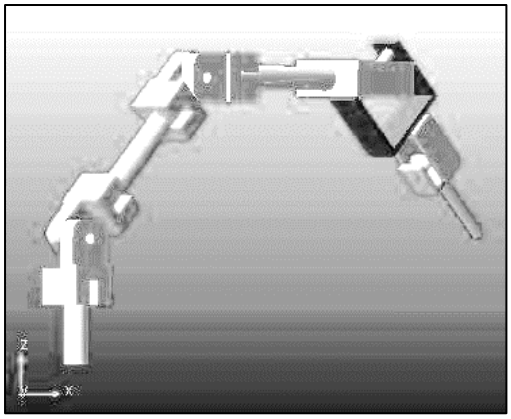
i	α	ai-1	di
1	90	0	105
2	0	190	0
3	0	205	0
4	-90	0	0
5	90	95.5	0
6	-90	0	0
7	0	84.5	0

3.3 การสร้างชุดสมการด้วยโปรแกรม Mathematica

โดยจะนำข้อมูลจากตารางที่ 2 ข้างต้นมากำหนดเป็นตัวแปร และสมาชิกในเมทริกซ์ขนาด 4x4 ดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2 โดยใช้โปรแกรม Mathematica ซึ่งโปรแกรมตัวนี้จะช่วยคำนวณหาผลลัพธ์ของสมการจลนศาสตร์แบบผันตรงของ CMM

3.4 การประยุกต์ใช้โปรแกรม MSC.Adams

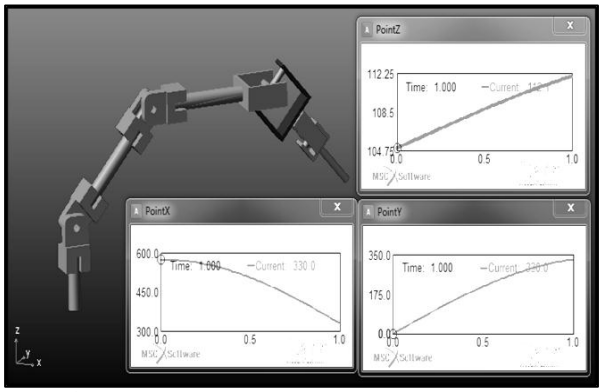
โปรแกรม MSC.Adams จะช่วยในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ CMM แบบเสมือนจริง โดยจะนำค่าพิกัด (x,y,z) ที่ตำแหน่งปลายหัวสัมผัส มาตรวจสอบเปรียบเทียบ กับผลการคำนวณของสมการที่สร้างมาตามแบบแผนของ D-H ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แบบจำลองในโปรแกรม MSC.Adams

3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการ โดยโปรแกรม Mathematica กับ Msc.Adams

ทำการตรวจสอบสมการที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม Mathematica ซึ่งจะคำนวณออกมาอยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ จากนั้นนำไปใช้ประมวลผลโดยโปรแกรม LabVIEW เพื่อให้ได้ค่าจากการวัดในระบบพิกัดที่ถูกต้องในทุกๆ แนวแกนของ CMM ซึ่งวิธีการตรวจสอบทำได้โดยการใส่ค่ามุมไปในทุกข้อต่อแล้ววัดจุดปลายของแขนในโปรแกรม MSC.Adams จากนั้นจึงนำค่ามุมข้างต้นมาประมวลผลโดยโปรแกรม Mathematica เพื่อตรวจสอบค่าที่จุดปลายของแขน ค่าจากทั้ง 2 โปรแกรมต้องมีค่าตรงกัน ซึ่งหมายความว่าสมการที่สร้างขึ้นมาจะถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 7



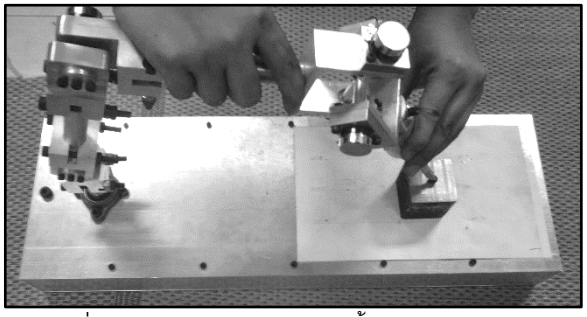
รูปที่ 7 ตัวอย่างการตรวจสอบจุดปลายหัวสัมผัสของ CMM ด้วยโปรแกรม MSC.Adams

3.6 การออกแบบและเขียนโปรแกรม LabVIEW

โดยสามารถแบ่งการประมวลผลเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรกคือการประมวลผลชุดหัววัดแบบสัมผัสด้วยสวิตซ์แบบ กด-ติด และปล่อย-ดับ เพื่อเป็นการชดเชยค่าเบี่ยงเบนของแกนหัวโพรบในแต่ละทิศทางโดยเอาไว้ใช้เลือกเงื่อนไขการประมวลผลในโปรแกรม ซึ่งมี 8 ทิศทาง และการประมวลผลค่าจากโพเทนทิโอมิเตอร์ โดยส่วนนี้จะเป็นการนำค่าสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาลอกมาคำนวณในสมการเพื่อแสดงค่าการวัดออกมาในรูปแบบของพิกัด (x,y,z) ที่จุดสัมผัสของหัววัดทั้ง 8 ทิศทาง

4. ผลการทดลอง

การทดสอบความถูกต้องของเครื่องวัดพิกัดชนิดโครงสร้างรอยต่อหมุน 5 แนวแกนและหัววัดแบบสัมผัสสามารถทำได้ โดยการทดลองปรับเทียบเครื่อง CMM กับชิ้นงานเหล็กแท่ง 4 เหลี่ยมขนาด 50x50x50 mm ดังแสดงในรูป 8 โดยการวัดแบบสัมผัสบนระนาบพื้นผิวชิ้นงาน ซึ่งแบ่งเป็นบนระนาบ x-y จะได้ระยะแนวแกน Z, ระนาบ x-z จะได้ระยะแนวแกน Y และบนระนาบ y-z จะได้ระยะแนวแกน X โดยทำการวัดด้านละ 10 จุด ซึ่งในอุดมคติแล้ว ผลการวัดในแต่ละระนาบ ต้องได้ค่าของระยะตามแนวแกนต่างๆ ที่เท่ากันทั้ง 10 จุด เช่นการวัดค่าบนระนาบ x-y จะต้องได้ค่าระยะในแนวแกน Z ทั้ง 10 จุด เท่ากัน แต่ความไม่สมบูรณ์ของทั้งส่วนของโครงสร้าง CMM และโปรแกรมประมวลผล ผลการทดสอบและความคลาดเคลื่อนจึงแสดงไว้ในตารางที่ 3



รูปที่ 8 ตัวอย่างการทดสอบการวัดชิ้นงานบนระนาบ x-y ควรจะต้องได้ค่าระยะแนวแกน Z ที่เท่ากัน

5. สรุป

การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดพิกัดพร้อมระบบหัววัดทรงกลมแบบสัมผัส และโปรแกรมประมวลผลเพื่อคำนวณหาจุดสัมผัสในระบบพิกัดฉาก โดยโครงสร้างของเครื่องวัดเป็นแบบแขนหมุน 5 แนวแกน สามารถทดสอบการทำงานได้อย่างน่าพอใจ โดยมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจริงของการทดสอบ การวัดแบบสัมผัสบนระนาบต่างๆ ประมาณ 5% โดยงานวิจัยนี้จะเป็นรากฐานของการพัฒนาเครื่องวัดพิกัด CMM ให้มีสมรรถนะตอบสนองต่อการทำงานที่ซับซ้อนสูงขึ้นในอนาคต เช่น การพัฒนาเป็นเครื่อง CMM โดยใช้ระบบ Encoder ในการวัดมุม และใช้ตัวตรวจรู้แบบเลเซอร์ตรวจจับการสัมผัสของหัววัด หรือพัฒนาต่อไปเป็นเครื่อง CMM แบบไม่สัมผัส เป็นต้น

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจริงของการทดสอบการวัดแบบสัมผัสบนระนาบต่างๆ

รูปแบบการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจริง
บนระนาบ y-z	5.08%
บนระนาบ x-z	4.37%
บนระนาบ x-y	5.67%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและพัฒนานี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในการใช้โปรแกรม LabVIEW ลิขสิทธิ์ Version 2013 Student Edition และ MSC.Adams Student Edition 2014

เอกสารอ้างอิง

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring_machine

[2] Robert Bishop. 2003. LabVIEW 7 Express student edition, Prentice Hall.

[3] A.H. Slocum. 1992. Precision Machine Design, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, NJ.

[4] Denavit, Jacques; Hartenberg, Richard Scheunemann (1955). "A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices". Trans ASME J. Appl. Mech 23: 215–221.

[5] B. Maurin, O. Piccin, B. Bayle, J. Gangloff, M. de Mathelin. A parallel 5 DOF positioner for semi-spherical workspaces, in: Proceedings of the 2004 ASME Design Engineering Technical Conferences, Salt Lake City, USA, 2004.

[6] M Ristic, I Ainsworth and D Brujic. Contact probe radius compensation using computer aided design models, Proc Instn Mech Engrs Vol 215 Part B, IMechE 2001.

[7] N.A. Barakat, M.A. Elbestawi, A.D. Spence. Kinematic and geometric error compensation of a coordinate measuring machine, International Journal of Machine Tools & Manufacture 40 (2000), 833–850.

[8] Z.M. Bi and S.Y.T. Lang, Joint workspace of parallel kinematic machines, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 25 (2009), pp. 57–63.

[9] R.K. Mittal and I.J. Nagrath, Robotics and Control, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 2003.

[10] P. I. Corke. June 2007, “A simple and systematic approach to assigning Denavit-Hartenberg parameters,” IEEE Transactions on Robotics, vol. 23, pp. 590–594.

[11] http://www.mscsoftware.com/

[12] http://www.wolfram.com/mathematica/

[13] http://www.ni.com/labview/

การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม LabVIEW สำหรับควบคุมแขนหุ่นยนต์ 5 แกน

The Design and Development LabVIEW Programming for 5-axis Robot Arm Controller

สมฤกษ์ ปุจฉาการ[1]* ศุภชาติ คำแหง[2] ธีธัช กฤตวงศ์วิมาน[3] สุธรรม ธัมกิตติคุณ[4]
[1,2,3,4]สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
กรุงเทพมหานคร 10800
E-mail: srpkarn@yahoo.com*

Somrerk Poodchakarn[1]* Suppachat Kumhang[2] Teethat Krittawongwiman[3] Sutham Thammakittikun[4]
[1,2,3,4]Department of Production Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800
E-mail: srpkarn@yahoo.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยและพัฒนานี้นำเสนอการออกแบบและสร้างแขนหุ่นยนต์ 5 แกนสำหรับเขียนเส้นบนพื้นผิวระนาบ X-Y รวมทั้งการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่จากจุดถึงจุด (Point-to-point) โครงสร้างของแขนหุ่นยนต์ประกอบด้วย ชุดแขนและข้อหมุนทำจากวัสดุอลูมิเนียม พลาสติก เหล็ก รองลื่นด้วยระบบตลับลูกปืน ส่วนของชุดขับเคลื่อนใช้สเต็ปมอเตอร์และชุดเฟืองหนอนในการส่งกำลัง ส่วนของชุดจับยึดปากกาใช้วัสดุพลาสติกเหนียวและสปริงขดสร้างแรงกดของปากกาบนพื้นผิวระนาบ อาณาบริเวณเชิงปริมาตร (Working Space) การเคลื่อนที่ของปลายปากกาในระบบพิกัดทรงกลมประมาณ 515,625 mm^3 โดยระบบอุปกรณ์ทางไฟฟ้าใช้การส่งสัญญาณแบบดิจิตอลจากอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ (NI Interface Card USB 6008) ไปยังชุดขับสเต็ปมอเตอร์ (Stepped Motor Driver) 5 ชุด ส่วนของการพัฒนาโปรแกรมแลบวิว (LabVIEW) เป็นการนำระเบียบวิธีจลนศาสตร์แบบผันตรง (Forward Kinematics) ของเดนาวิท-ฮาร์เทนเบอร์ก (Denavit-Hartenberg) มาประมวลผลแบบวนซ้ำ (Iteration) เพื่อค้นหาจุดที่ต้องการเคลื่อนที่บนพื้นผิวระนาบ และได้มาซึ่งองศาการหมุนของทั้ง 5 แนวแกน ผลการทดลองเบื้องต้นในการเขียนเส้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50x50 mm บนพื้นผิวระนาบเมื่อค่า Z ของระบบพิกัดฉากคงที่ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งจุดต่างๆ ประมาณ 10% ในแนวแกน X และ Y

คำหลัก แขนกล, สเต็ปมอเตอร์, เดนาวิท-ฮาร์เทนเบอร์ก, โปรแกรม LabVIEW

Abstract

This research and development proposes a design and manufacturing a 5-axis robot arm for a line drawing on X-Y plane. The robotic controller programming was developed for a point-to-point motion. Its structure consists of arm links and theirs revolute joints which made of aluminum material, plastic and steel. Using ball bearings for those joints. In part of the actuators use the stepper motors and worm gear set for a power transmission. The pen gripper at the end-effector made of plastic material and a coil spring for applies a pen pre-loading on a drawing surface. The working space of this spherical robot about 515,625 mm^3. The electrical hardware uses the NI interface card USB 6008 for send a digital signal to 5 set of stepped motor driver. In part of the LabVIEW programming development for a robotic

controller system will be using a forward kinematics by Denavit-Hartenberg approach. The iterative computation algorithm used for finding any drawing points on a plane which corresponding to the 5-axis orientation. The primary- experimental results for drawing a 50x50 mm rectangular line on a planar. With a constant Z value of a cartesian coordinate system. We found that, there is an error position about 10% onto the X and Y axes.

Keywords: Robot Arm, Stepper Motor, Denavit-Hartenberg, LabVIEW Programming

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมต่างๆ มีการแข่งขันรุนแรงขึ้นเป็นลำดับ กลยุทธ์หนึ่งที่ช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก คือ อาศัยความสามารถเชิงเทคโนโลยีของหุ่นยนต์มาช่วยในงานอุตสาหกรรมการผลิต หุ่นยนต์เริ่มมีบทบาททางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในขณะที่งานด้าน อุตสาหกรรม มีความต้องการด้านแรงงานเป็นอย่างมาก การจ้างแรงงานจำนวนมากเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม ทำให้ต้นทุนการผลิตของแต่ละโรงงานอุตสาหกรรม เพิ่มจำนวนสูงขึ้น และงานอุตสาหกรรมบางงานไม่สามารถที่จะใช้ แรงงานเข้าไปทำได้ ซึ่งบางงานนั้นอันตรายและมีความเสี่ยงเป็นอย่างมาก หรือเป็นงานที่ต้องการความรวดเร็วและแม่นยำในการผลิตรวมทั้งเป็นการประหยัด ระยะเวลา ทำให้หุ่นยนต์กลายเป็นทางเลือกที่ดีของงานด้านอุตสาหกรรม เนื่องจากหุ่นยนต์ที่ถูกนำมาใช้งานมีราคาสูงเพราะหุ่นยนต์ส่วนใหญ่นำเข้ามาจากต่างประเทศ อีกทั้งประเทศไทยยังมีการศึกษาและพัฒนาในด้านของหุ่นยนต์ไม่มากเท่าที่ควร ซึ่งในงานอุตสาหกรรมก็ยังมีความต้องการใช้งานหุ่นยนต์เป็นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น งานที่เกี่ยวกับการวัด งานประกอบชิ้นส่วน งานขนถ่ายวัสดุ เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงดำเนินการเพื่อศึกษากระบวนการออกแบบและสร้าง รวมทั้งออกแบบโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้และพัฒนาต่อไปในอนาคต [1], [2]

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง [3]-[5]

2.1 จลนศาสตร์ของแขนหุ่นยนต์

จลนศาสตร์เป็นการศึกษาถึงตำแหน่ง (Position), ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) ของจุดรวมถึงความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) และความเร่งเชิงมุม (Angular Acceleration) ของวัตถุ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จำเป็นที่จะใช้อธิบายถึงลักษณะของวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ตำแหน่งของวัตถุสามารถบอกได้จากตำแหน่งของจุดที่อยู่บนวัตถุประกอบกับตำแหน่งเชิงมุม (Angular Position) ของวัตถุนั้น จลน์ศาสตร์ของหุ่นยนต์มี 2 แบบ คือ จลนศาสตร์แบบผกผัน (Inverse Kinematics) และจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า (Forward หรือ Direct Kinematics) โดยจลนศาสตร์แบบผกผัน คือ การวิเคราะห์หาตำแหน่งข้อต่อต่างๆ ของหุ่นยนต์ เมื่อรู้ค่าตำแหน่งและทิศทางของการทำงานส่วนปลาย (ตำแหน่งเป้าหมาย) ซึ่งเป็นการคำนวณย้อนกลับ จากการระบุตำแหน่งและทิศทางของมือหุ่นยนต์ที่ต้องการ แล้วหาค่ามุมของทุกข้อต่อที่ต้องหมุนไป ส่วนจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า คือ การคำนวณหาตำแหน่งที่ปลายของแขนกล (End-effector) โดยต้องทราบค่าตัวแปรแต่ละข้อต่อ (Joint Variables) กรณีข้อต่อแบบหมุนค่าตัวแปรที่ต้องการทราบคือค่ามุม จากนั้นนำค่ามุมที่ทราบค่าในแต่ละข้อต่อไปคำนวณหาค่าพิกัดที่ปลายแขนกลโดยใช้ระเบียบวิธีการของ เดนาวิท-ฮาเทนเบิร์ก (Denavit-Hartenberg) เข้ามาช่วยในการสร้างสมการการเคลื่อนที่

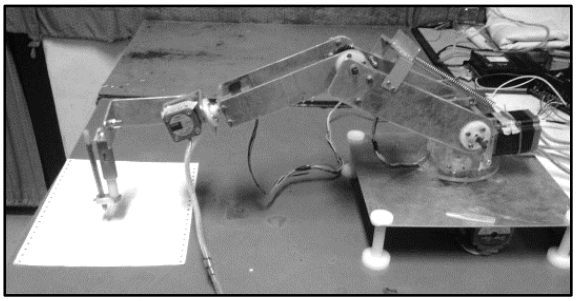
2.2 โปรแกรม LabVIEW [7]

โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่าเป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เราจะเรียกว่าเป็น ภาษารูปภาพ

3. การดำเนินงาน [1], [2], [6], [8]

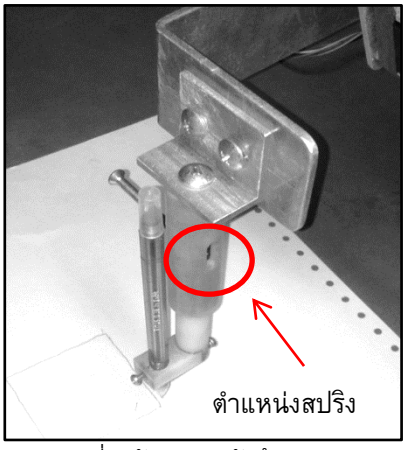
3.1 การออกแบบโครงสร้างแขนหุ่นยนต์

งานวิจัยและพัฒนานี้ ได้ดำเนินงานต่อยอดจากโครงการ [1], [2] โดยโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์มีลักษณะใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน คือ มีข้อต่อที่หมุนอยู่ 3 แกน หมุนรอบฐานอีก 1 แกน และหมุนรอบแกนที่ 4 อีก 1 แกน โดยมีความยาวของแต่ละช่วงแขนคือ ช่วงที่ 1 ยาว 208.5 mm ช่วงที่ 2 ยาว 170 mm และช่วงที่ 3 ยาว 173.5 mm โดยห่างจากแกนที่ 4 เป็นระยะ 43 mm โดยมีความสูงวัดจากพื้นถึงข้อต่อที่ 1 คือ160 mm และฐานของแขนหุ่นยนต์มีขนาด 300x300 mm สร้างจากวัสดุอลูมิเนียมซึ่งมีน้ำหนักเบาและทำการแปรรูปได้ง่าย และใช้พลาสติกอะคลิลิค หรือ Superlene ในส่วนที่ไม่ได้รับแรงมาก เพราะมีน้ำหนักเบากว่าอลูมิเนียม ดังแสดงในรูปที่ 1



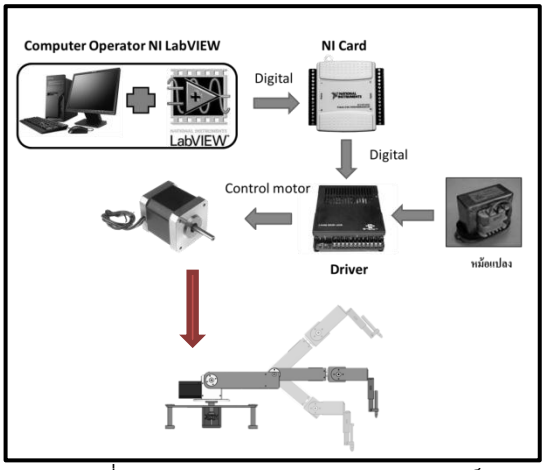
รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์

ในส่วนของชุดจับยึดปากกาใช้วัสดุพลาสติกเหนียวและสปริงขดสร้างแรงกดของปากกาบนพื้นผิวระนาบเพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะชุดจับยึดปากกา

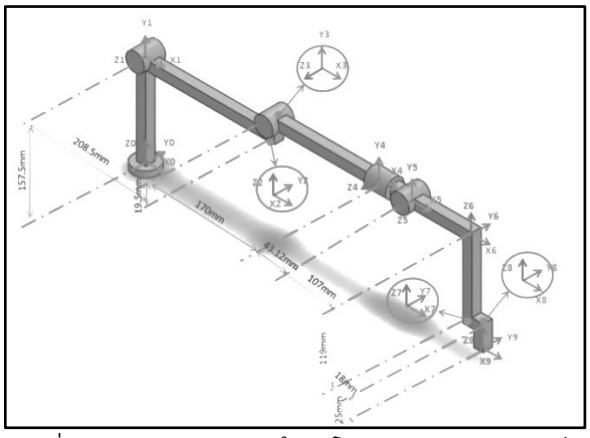
โดยระบบอุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้า ใช้การส่งสัญญาณแบบดิจิตอลจากอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่าง คอม - พิวเตอร์ (NI Interface Card USB 6008) ไปยังชุดขับสเต็ปมอเตอร์ (Stepped Motor Driver) จำนวน 5 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของระบบควบคุมหุ่นยนต์

3.2 การใช้ระเบียบวิธี เดนาวิท-ฮาเทนเบิร์ก [9]

ระเบียบวิธีนี้จะเป็นการวิเคราะห์การทำงานของแขนหุ่นยนต์ซึ่งจะทำการกำหนดค่าตัวแปร ai, di, θi, αi ซึ่งก็คือ ความยาวของแต่ละข้อต่อ ระยะห่างระหว่างข้อต่อ มุมบิด และมุมของแต่ละข้อต่อ ตามลำดับ โดยทำการพิจารณาทีละก้านโยงซึ่งเป็นระยะระหว่างจุดหมุน ซึ่งสามารถเขียนแบบจำลอง ได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การกำหนดระบบพิกัดให้กับโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์

และจากรูปที่ 4 สามารถนำไปกำหนดเป็นค่าตัวแปรต่างๆ ตามแบบแผนของ เดนาวิท-ฮาเทนเบิร์ก ดังแสดงใน

ตารางที่ 1 จากนั้นนำค่าความยาวของแต่ละข้อต่อ ระยะห่างระหว่างข้อต่อ มุมบิด และมุมของแต่ละข้อต่อ ที่ได้นำมาแทนลงในสมการทรานสฟอร์แมชั่นเมตริก ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 4 x 4 ภายในเมตริกซ์นี้ประกอบไปด้วยเมตริกซ์การหมุนและเวคเตอร์การเคลื่อนที่ ดังสมการที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ตามแบบแผนของ เดนาวิท-ฮาเทนเบิร์ก

	θ_i	d_i	a_i	α_i
Link 1	θ_1	157.5	0	$\frac{\pi}{2}$
Link 2	θ_2	0	208.5	$-\frac{\pi}{2}$
Link 3	0	19.5	0	$\frac{\pi}{2}$
Link 4	θ_4	0	170	0
Link 5	0	0	43.12	α_5
Link 6	θ_6	0	107	$-\frac{\pi}{2}$
Link 7	0	-119	0	0
Link 8	0	0	18	0
Link 9	0	-25	0	0

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin\theta_i\cos\alpha_{i-1} & \cos\theta_i\cos\alpha_{i-1} & -\sin\alpha_{i-1} & -d\sin\theta_{i-1} \\ \sin\theta_i\sin\alpha_{i-1} & \cos\theta_i\sin\alpha_{i-1} & \cos\alpha_{i-1} & d_i\cos\alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T_i^{i-1} = T_1^0 T_2^1 T_3^2 T_4^3 T_5^4 \quad (2)$$

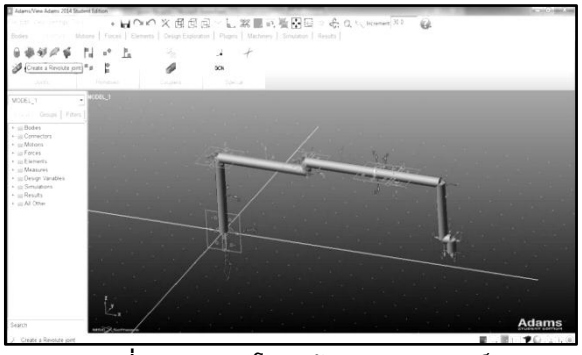
หลังจากนั้นก็จะนำมาแทนในสมการที่ (2) โดยค่าในหลักที่ 4 ของเมตริกซ์ผลคูณข้างต้น จะเป็นชุดตัวแปรของรอยต่อ (Joint) ต่างๆ ของพิกัด X, Y, Z ของของปลายแขนหุ่นยนต์

3.3 การใช้โปรแกรม Mathematica

นำสมการทรานสฟอร์แมชั่นเมตริกทั้ง 9 ก้านโยง (Link) มาทำการจัดรูปแบบตามแบบแผนของโปรแกรม Mathematica โดยทำการประกาศตัวแปร นำค่าจากตารางแบบแผนของ เดนาวิท-ฮาเทนเบิร์ก มาใส่ และทำการจัดรูปแบบเมตริกซ์ใหม่ จากนั้นนำสมการทรานสฟอร์แมชั่นเมตริกซ์ของ เดนาวิท-ฮาเทนเบิร์ก ทั้ง 9 ก้านโยง มาทำการ Dot Product กันทั้งหมด ทำให้ได้ผลลัพธ์เป็นสมการการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์

3.4 การใช้โปรแกรม Adams/View

การจำลองโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์ ขั้นตอนแรกให้นำความยาวในแต่ละก้านโยงมาสร้างเป็นจุดเพื่อนำมาต่อเป็นโครงสร้างของหุ่นยนต์ แล้วทำการสร้างจุดหมุนด้วยคำสั่ง Revolute Joint เพื่อให้โครงสร้างบริเวณรอยต่อของแต่ละก้านโยงติดกันและสามารถเกิดการเคลื่อนที่ได้ ดังรูปที่ 5



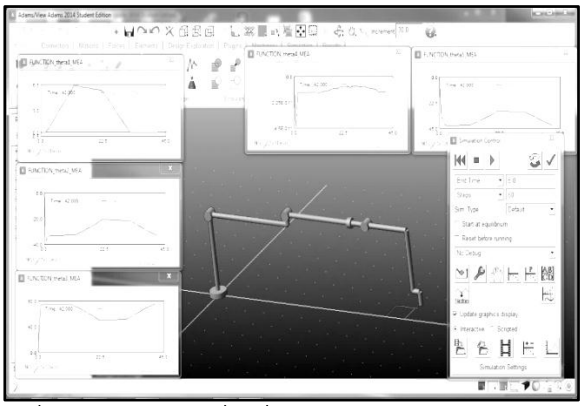
รูปที่ 5 การจำลองโครงสร้างของแขนหุ่นยนต์

การจำลองการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ในการทดลองขั้นแรกทำการสร้างจุด Marker ในจุดปลายของแขนหุ่นยนต์ แล้วใช้คำสั่ง General Motion เพื่อระบุพิกัดที่ต้องการให้จุดปลายเคลื่อนที่ในแต่ละแกนให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยใช้ฟังก์ชั่น Step(x,x0,h0,x1,h1) คูณกับระยะการเคลื่อนที่ ขั้นต่อมาให้ทำการวัดมุมของจุดหมุนเทียบกับก้านโยงโดยทำการสร้างจุด Marker บนจุดหมุนและบนก้านโยงที่ต้องการวัดมุม แล้วจึงสร้างตัวแปร State ขึ้นมาจาก Marker โดยใช้คำสั่ง Create State Variable จากนั้นให้ทำการเรียกใช้ตัวแปร State ที่สร้างขึ้นมาโดยใช้คำสั่ง Create a new Function Measure แล้วทำการเลือก Algebraic Variable Value เพื่อเรียกใช้ตัวแปร State และให้ทำการเลือกหน่วยของการวัดให้เป็นการวัดมุม จากนั้นจะได้กราฟที่แสดงค่าของมุมระหว่างจุดหมุนและก้านโยง แล้วจึงทำการทดลองการเคลื่อนที่ของโครงสร้างแขนหุ่นยนต์โดยใช้คำสั่ง Simulation เพื่อให้กราฟแสดงค่าของมุมที่เปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 6

3.5 การเขียนโปรแกรม LabVIEW

รูปแบบการเขียนโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์ของโครงงานนี้ ซึ่งได้ทำการออกแบบส่วนการทำงานไว้เป็น 3 ส่วน โดยแบ่งไว้ดังนี้ คือ 1) โปรแกรมคำนวณหาจุดพิกัด X, Y, Z ที่แขนหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้

หลักการทำงานของโปรแกรมคำนวณหาจุดระบบพิกัดฉาก จะทำงานด้วยการกำหนดมุมของจุดหมุนในแต่ของละก้านโยงทั้งหมด 5 มุมมาทำการแปลงค่ามุมจากหน่วยองศาเป็นหน่วยเรเดียน (Radian) แล้วจึงนำไปคำนวณโดยใช้สูตรของสมการจลนศาสตร์แบบแปรผันตรงที่ได้จากหลักการของ เดนาวิท-ฮาเทนเบิร์ก โดยใช้คำสั่งฟอร์ลูปซ้อนกันทั้งหมด 5 ลูป เพื่อใช้ทำการวนลูปส่งค่ามุมในแต่ละองศาให้เข้ามาคำนวณในลูปภายในสุดจากนั้นจึงทำการเก็บค่ามุมและพิกัดที่ได้จากการคำนวณไว้ในชุดตัวแปรอาร์เรย์เพื่อเก็บไว้เรียกใช้ใน Flat Sequence ถัดไป



รูปที่ 6 การจำลองการเคลื่อนที่และการวัดมุมของแขนหุ่นยนต์

ส่วนที่ 2) โปรแกรมค้นหาพิกัดที่ต้องการให้ส่วนปลายของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ส่วนของโปรแกรมนี้ ขั้นตอนแรกผู้ใช้ต้องกำหนดจุดพิกัดที่ต้องการให้ปลายแขนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามลำดับของการทำงานโดยทำการป้อนค่าพิกัด X,Y,Z ลงในตารางรับค่า ดังรูปที่ 7

Point table

Point	X	Y	Z
1.เริ่มต้น	0	0	0
2.ถอยหลัง 100 มม.	446.62	0	33.0
3.ลดปากกาจรดพื้น	446.62	0	0
4.เคลื่อนที่ไปทางซ้าย 50 มม.	446.62	50.0	0
5.เดินหน้า 50 มม.	496.62	50.0	0
6.เคลื่อนที่ไปทางขวา 50 มม.	496.62	0	0
7.ถอยหลัง 50 มม.	446.62	0	0

รูปที่ 7 ตารางรับค่าพิกัด X,Y,Z จากผู้ใช้งาน

จากนั้นโปรแกรมจะทำการวนลูปหาค่าโดยใช้ ฟอร์ลูปในการวนหาค่าของพิกัดที่ต้องการโดยทำการนำพิกัดที่ผู้ใช้กำหนดไว้ในตารางมาเทียบกับค่าพิกัดที่คำนวณได้ที่เก็บไว้ในตัวแปรอาร์เรย์โดยต้องมีเงื่อนไขในการเปรียบเทียบ โดยให้ค่า X ค่า Y และค่า Z ที่โปรแกรมคำนวณไว้ต้องมีพิกัดเท่ากับหรือใกล้เคียงกับพิกัดที่ผู้ใช้กำหนด แล้วจึงทำการเก็บค่ามุมที่ตรงตามเงื่อนไขลงในตัวแปรอาร์เรย์อีกหนึ่งชุด เอาไว้ใช้เป็นตัวแปรกำหนดการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์ ส่วนที่ 3) คือการสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse) เพื่อขับหมุนสเตปป์มอเตอร์แต่ละตัว

4. ผลการทดลอง

การตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมโดยการค้นหาค่าพิกัดการเคลื่อนที่ ซึ่งจะรับค่าจากผู้ใช้ลงในตารางแล้วทำการประมวลผลแบบวนซ้ำ(Iteration) เพื่อตรวจหาค่าพิกัดที่ผู้ใช้กำหนดไว้ สามารถทำได้สำเร็จ ในส่วนของ การทดสอบความแม่นยำ (Accuracy) และความแม่นตรง (Precision) ของการเคลื่อนที่ในส่วนปลายของแขนหุ่นยนต์ ดำเนินการโดยนำค่ามุมการเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์ที่ได้จากโปรแกรมมาสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อควบคุมสเต็ปมอเตอร์ให้แขนหุ่นยนต์สามารถเขียนลายเส้นแนวตั้งและแนวนอนเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50x50 mm บนพื้นราบ โดยใส่ปากกาไว้ที่ปากจับชิ้นงานแล้วทำการวัดค่าความยาวของเส้นในแต่ละด้านของรูปสี่เหลี่ยมด้วยไม้บรรทัด ดังรูปที่ 8 โดยเก็บข้อมูลเพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจริง (Average True Percent Error) ซึ่งตัวอย่างของผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2 และตัวอย่างของการเขียนลายเส้นของแขนหุ่นยนต์ ดังที่แสดงในรูปที่ 9

5. สรุป

การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม LabVIEW เพื่อควบคุมแขนหุ่นยนต์โดยการนำระเบียบวิธีจลนศาสตร์แบบผันตรง ตามแบบแผนของ เดนาวิท-ฮาร์เทนเบอร์กมาประมวลผลแบบวนซ้ำ เพื่อค้นหาจุดที่ต้องการเคลื่อนที่และนำมาสร้างสัญญาณพัลส์สำหรับควบคุมและขับสเต็ปมอเตอร์ทั้ง 5 ตัว ผลการทดลองเบื้องต้นในการเขียนเส้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50x50 mm บนพื้นผิว

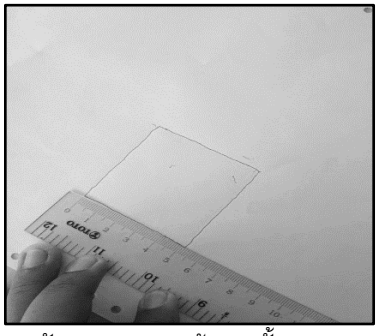
ระนาบ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งจุดต่างๆ ประมาณ 2% ในแนวแกน X และ Y

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจริง ของการทดลองการเขียนเส้นบนพื้นผิวระนาบ

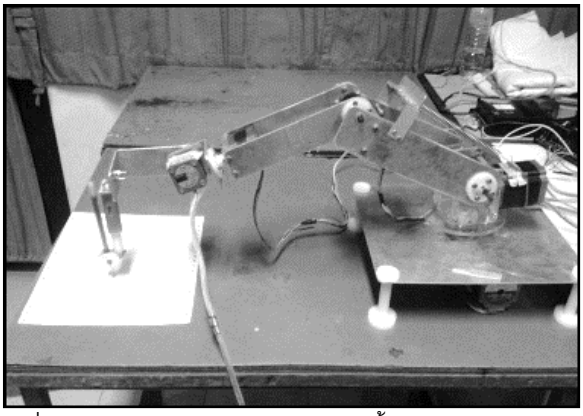
ลำดับการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์	ความยาวของเส้นที่วัดได้จากการทดลอง (mm)	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจริง
1) พิกัด (446.62,0,0) ไปยัง พิกัด (446.62,50,0) ระยะ 50 mm	49.25	7
2) พิกัด (446.62,50,0) ไปยัง พิกัด (496.62,50,0) ระยะ 50 mm	51	10
3) พิกัด (496.62,50,0) ไปยัง พิกัด (496.62,0,0) ระยะ 50 mm	50.82	8
4) พิกัด (496.62,0,0) ไปยัง พิกัด (446.62,0,0) ระยะ 50 mm	51.34	13

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและพัฒนานี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในการใช้โปรแกรม LabVIEW ลิขสิทธิ์ Version 2013 Student Edition และ MSC.Adams Student Edition 2014



รูปที่ 8 การวัดความยาวของเส้นแนวตั้ง และแนวนอนด้วยไม้บรรทัด



รูปที่ 9 การทดสอบการเขียนลายเส้น แนวตั้ง และแนวนอน เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50x50 mm บนพื้นราบ

เอกสารอ้างอิง

[1] ศุภณัฐ โสภาศรีพันธ์, อานนท์ คู่กุศลสิน, ปริญญานิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาแขนหุ่นยนต์ 5 แกนสำหรับจำลองงานประกอบด้วยสลักเกลียว, มจพ, 2555

[2] ธนพล ยานะวิมุติ, เฉลิมพล ด่านปาน, ปริญญานิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาแขนหุ่นยนต์ 5 แกนสำหรับงานประกอบด้วยชิ้นส่วนทรงกระบอก, มจพ, 2556

[3] H.Asada, J.J.E.Slotine. 1986. Robot analysis and control, New York, Wiley.

[4] Gerry B. Andeen. 1988. Robot design handbook, New York, McGraw-Hill.

[5] Mark W.Spong, M.Vidyasagar. 1989. Robot dynamics and control, New York, Wiley.

[6] Alan Overby. 2010. CNC Machining Handbook, McGraw Hill Professional.

[7] Robert Bishop. 2003. LabVIEW 7 Express student edition, Prentice Hall.

[8] A.H. Slocum. 1992. Precision Machine Design,

Englewood Cliffs, Prentice-Hall, NJ.

[9] Denavit, Jacques; Hartenberg, Richard Scheunemann (1955). A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices, Trans ASME J. Appl. Mech 23: 215–221.

การพัฒนาโปรแกรม LabVIEW สำหรับควบคุมเครื่องกัด 5 แกน โดยใช้กระบวนการคำนวณแบบระบบพิกัดทรงกระบอก

The Deverlopment LabVIEW Programming for 5-axis Milling Machine Controller by Using the Cylindrical Coordinate Algorithm

สมฤกษ์ ปุจฉาการ[1]* จุติวรรษ ภู่สีม่วง[2] เสฏฐวรรธ ศรีระยศ[3] สุธรรม ธัมกิตติคุณ[4]
[1,2,3,4]สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
กรุงเทพมหานคร 10800
E-mail: srpkarn@yahoo.com*

Somrerk Poodchakarn[1]* Juthiwat Poosimuang[2] Settawat Srirayos[3] Sutham Thammakittikun[4]
[1,2,3,4]Department of Production Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800
E-mail: srpkarn@yahoo.com*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการใช้งานเครื่องกัดชิ้นงานซีเอ็นซี 5 แกน (CNC 5-axis) ในอุตสาหกรรมการผลิตภายในประเทศมีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีข้อดีคือสามารถประหยัดเวลา แรงงาน และทำให้คุณภาพของชิ้นงานที่ได้มีความถูกต้องเที่ยงตรง แม่นยำ ความคลาดเคลื่อนทั้งทางด้านขนาด ตำแหน่ง รูปร่าง และความหยาบผิวเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด โครงงานวิจัยและพัฒนานี้ได้ทำการปรับปรุงออกแบบและสร้างเครื่องกัด 5 แกนขึ้น ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ 1) การสร้างระบบกลไกการเคลื่อนที่ของแกนที่ 4 ซึ่งหมุนรอบแกน X และแกนที่ 5 ซึ่งหมุนรอบแกน Z 2) ส่วนของการพัฒนาโปรแกรม LabVIEW เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของดอกกัดให้เคลื่อนที่ตัดเฉือนชิ้นงานได้ทั้ง 5 แนวแกน โดยใช้ระเบียบวิธีการคำนวณเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยระบบสมการ Denavit-Hartenberg ของแกนที่ 4 และ 5 ร่วมกับระบบพิกัดทรงกระบอก (R, θ, Z) ของชิ้นงาน โดยมีข้อกำหนดให้แนวแกนของดอกกัดต้องทำมุมตั้งฉากกับพื้นผิวสำเร็จของชิ้นงาน อาศัยหลักการเปรียบเทียบค่าความสูงในแนวแกน Z ระหว่างจุดที่ทำการตัดเฉือนกับจุดถัดไปของทางเดินมีดกัดให้อยู่ในระยะความคลาดเคลื่อนที่กำหนด ผลการประมวลผลแบบวนรอบซ้ำจะทำให้ได้ตัวแปรการเคลื่อนที่ของทั้ง 5 แนวแกน (X, Y, Z, θ_1, θ_2) ผลการทดลองกัดชิ้นงานรูปร่างนาฬิกาทรายจากชิ้นงานดิบทรงกระบอกวัสดุโฟม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm ยาว 40 mm พบว่าลักษณะการเคลื่อนที่ของดอกกัดเป็นไปตามตัวแปรที่กำหนด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจริง (Average True Percent Error) ของเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนเว้าของนาฬิกาทรายประมาณ 2.178%

คำหลัก เครื่องกัด 5 แกน, ระบบพิกัดทรงกระบอก, Denavit-Hartenberg, โปรแกรม LabVIEW

Abstract

Currently, the CNC 5-axis milling machine are highly used in the domestic production industries. Because of its advantages for reduce a time and labor. The user will always get good quality products, accuracy, precision and acceptable tolerance criteria of size and position, shape and surface roughness from them. The project of this research and development has conducted to design, develop and manufacture the 5-axis milling machine. The main work consists of 2 parts, 1) Manufacturing a mechanism of the 4th and 5th

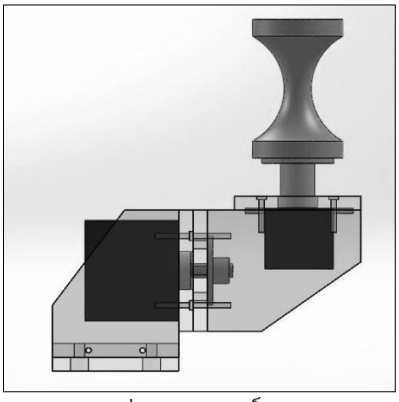
axis which it has a rotation about x and z axis, respectively. 2) The development LabVIEW Programming for controlling the motion of a milling cutter to operate a metal removal process with 5 axis, simultaneously. The algorithm used for controlling the motion was developed form Denavit-Hartenberg convention. Thereby the 4th and 5th axes will be a co-operation with the cylindrical coordinate (R, θ, Z) of a work piece. The main criteria of the cutting process is the rotational axis of the cutting tool must be a right angle with the finished surface of work piece. The systematic approach of this criteria is a comparison onto Z axis between the cutting point and the next point of milling router must be a closeness value by a defined tolerance. The results of an iterative computation will give the all of 5 axes motion variables (X, Y, Z, θ_1, θ_2). The experimental results from the test run of CNC 5-axis. It can mill a sandglass geometry-foam material which has the diameter of 40 mm and length of 40 mm of a cylindrical dimension. The cutting tool has a router path followed by the motion control-variables set. The average true percent error of the diameter on a curve of sandglass work piece about 2.178%

Keywords: 5-axis Milling Machine, Cylindrical Coordinate, Denavit-Hartenberg, LabVIEW Programming

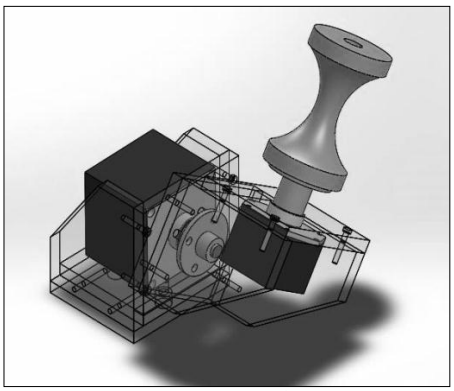
1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้งานเครื่องจักรกลซีเอ็นซี (CNC : Computerized Numerical Control) ในอุตสาหกรรมภายในประเทศมีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากข้อดีของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีคือสามารถประหยัดเวลา แรงงานคน และทำให้คุณภาพของชิ้นงานที่ได้มีความแม่นยำสูง ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สามารถแข่งขันกับผู้ผลิตภายนอกประเทศได้ เครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่ใช้งานในประเทศส่วนใหญ่ ได้แก่ เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องเจียร และเครื่องเจาะ จากผลงานวิจัย [1], [2] ได้ศึกษาค้นคว้าทำการออกแบบสร้างเครื่องกัด 3 แกน และพัฒนาโปรแกรม LabVIEW [4] สำหรับควบคุมเครื่องกัด 3 แกนได้จนสำเร็จ งานวิจัยนี้จึงได้ดำเนินการต่อเนื่องเป็นการพัฒนาเครื่องกัด 5 แกน โดยทำการติดตั้งชุดขับเคลื่อนของแกนที่ 4 และ 5 ซึ่งจะช่วยให้สามารถกำหนดระนาบในการกัดชิ้นงาน มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น โดยระบบกลไกการทำงานที่เลือกใช้ ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 และนำไปติดตั้งกับเครื่องกัด 3 แกน ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยโครงงานนี้จะเริ่มจากพื้นฐานการจับยึดชิ้นงานดิบวัสดุโฟมรูปร่างทรงกระบอก และเมื่อทำการตัดเฉือนเสร็จแล้วจะได้เป็นชิ้นงานรูปร่างนาฬิกาทราย หลักทฤษฎีพื้นฐานในกระบวนการตัดเฉือนและกัดชิ้นงานจะเป็นในรูปแบบของการใช้สันคมตัดกัดแนวราบ และกัดข้าง โดยกำหนดให้แกนหมุนของดอกกัดต้องตั้งฉากกับระนาบของพื้นผิวชิ้นงานสำเร็จ [3] โครงสร้างของตัวเครื่องจักรและชุดขับเคลื่อนต่างๆ จะต้องพยายามออกแบบให้องค์ประกอบต่างๆ อยู่ในแนวทางของเครื่องจักรความแม่นยำสูง (Precision Machine Design) [5] การวิเคราะห์และสังเคราะห์ระบบกลไกการขับเคลื่อนในแนวแกนต่างๆ

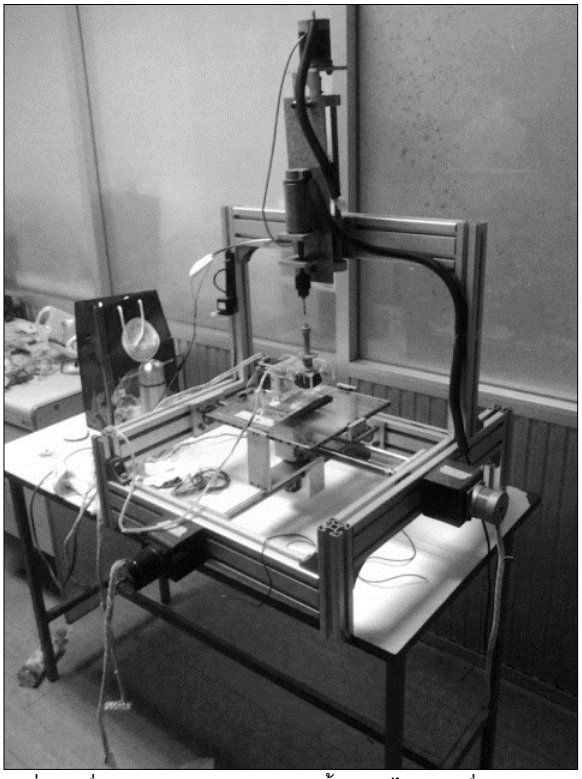
จะอาศัยหลักการจลนศาสตร์แบบผันตรง คือ การคำนวณหาตำแหน่งที่ปลายของแขนกล (End Effector) โดยต้องทราบค่าตัวแปรแต่ละข้อต่อ (Joint Variables) กรณีข้อต่อแบบหมุนค่าตัวแปรที่ต้องการทราบคือค่ามุม จากนั้นนำค่ามุมที่ทราบค่าในแต่ละข้อต่อไปคำนวณหาค่าพิกัดที่ปลายแขนกลโดยใช้หลักการระเบียบวิธีของ เดนาวิท-ฮาร์เทนเบอร์ก (Denavit-Hardenberg, D-H) เข้ามาช่วยในการกำหนดแกนและหาค่าตัวแปรต่างๆ [6]



รูปที่ 1 ระบบกลไกขับเคลื่อนด้วยสเตปป์มอเตอร์ของแกนที่ 4 และ 5 และชิ้นงานรูปร่างนาฬิกาทราย



รูปที่ 2 ระบบกลไกขับเคลื่อนด้วยสเตปป์มอเตอร์ของแกนที่ 4 และ 5 ในลักษณะของการขับตรง (Direct Drive)

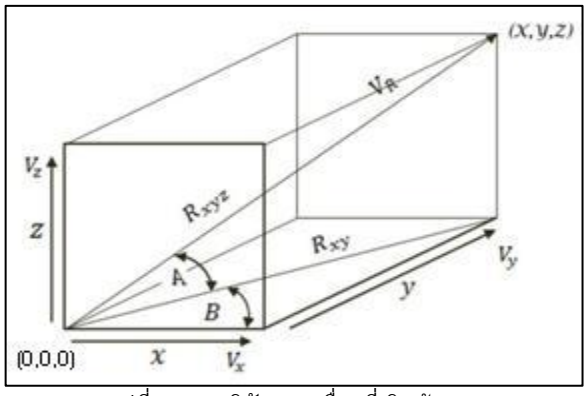


รูปที่ 3 เครื่องกัด 3 แกน และการติดตั้งชุดกลไกขับเคลื่อนของแกนที่ 4 และ 5 บนโต๊ะงาน x-y

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชุดสมการของการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง [1], [2]

การกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงสำหรับเครื่องกัดจะใช้ระบบพิกัดฉาก โดยมีแนวแกน X, Y, Z เป็นแกนหลัก โดยแกนหลักทั้ง 3 จะต้องตั้งฉากซึ่งกันและกัน และมีทิศทางตามกฎมือขวา โดยมีจุด O เป็นจุดกำเนิด (จุดอ้างอิง) ซึ่งเป็นจุดตัดของแกนทั้ง 3 โดยมีพิกัดอยู่ที่ (X, Y, Z) = (0, 0, 0) ตามมาตรฐานสากล เครื่องกัดจะกำหนดให้แกน Z อยู่ในทิศทางเดียวกับแกนการหมุนของดอกกัด และกำหนดให้ทิศของแกน -Z เป็นทิศทางที่มีดตัดเฉือนเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงานที่ต้องการกัดขึ้นรูป ส่วนแกน X และ Y กำหนดต่อจากแกน Z โดยใช้กฎมือขวา ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระบบพิกัดการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง

จากรูปที่ 4 Rxyz คือ ระยะทางจากจุดกำเนิดไปยังจุด (X,Y,Z) ใดๆ, A คือ มุมระหว่าง Rxyz กับระนาบ XY, B คือ มุมระหว่าง Rxy กับแนวแกน X, Vxyz คือ ความเร็วลัพธ์ของระยะทางจากจุดกำเนิดไปยังจุด (X,Y,Z) ใดๆ ส่วน Vx, Vy และ Vz คือ ความเร็วในแนวแกน X, Y และ Z ตามลำดับ จากรูปที่ 4 จะได้ความสัมพันธ์ของสมการการเคลื่อนที่ดังนี้

$$Rxyz = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1)$$

$$B = \tan^{-1}\frac{y}{x} \quad (2)$$

$$A = \sin^{-1}\frac{z}{Rxyz} \quad (3)$$

$$X = Rxyz.\cos A.\cos B \quad (4)$$

$$Y = Rxyz.cosA.sinB \quad (5)$$

$$Z = Rxyz.sinA \quad (6)$$

และ

$$Vxyz = \sqrt{Vx^2 + Vy^2 + Vz^2} \quad (7)$$

$$Vx = Vxyz.\cos A.\cos B \quad (8)$$

$$Vy = Vxyz.cosA.sinB \quad (9)$$

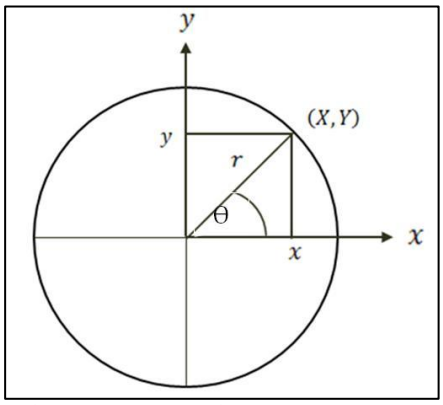
$$Vz = Vxyz.sinA \quad (10)$$

2.2 ชุดสมการของการเคลื่อนที่เชิงเส้นโค้งของวงกลม [1], [2]

จากรูปที่ 5 ตัวแปร r คือ รัศมีของวงกลม ตัวแปร θ คือ มุมที่เปลี่ยนไปตามการเคลื่อนที่ของวงกลม สมการที่ (11), (12) แสดงความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่

$$X = r.cos\theta \quad (11)$$

$$Y = r.sin\theta \quad (12)$$

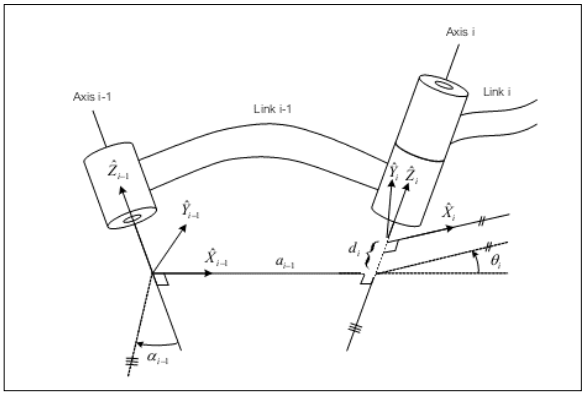


รูปที่ 5 ระบบพิกัดการเคลื่อนเชิงเส้นโค้งของวงกลม

2.3 การกำหนดตาราง Denavit – Hartenberg [6]

Denavit-Hartenberg Parameters (D-H) เป็นการสร้างตัวแปรเพื่อนำมาใช้ในการหาสมการการเคลื่อนที่ของระบบกลไกโดยมีการกำหนดแนวแกนให้ชี้ไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ หรือหมุนตามกฎมือขวา ซึ่งมีตัวแปรทั้งหมด 4 ตัวได้แก่

1. Link Length (a_i) คือระยะทางระหว่าง z_i ถึง z_{i-1} โดยพิจารณาตามแกน x_i
2. Link Twist (α_i) คือมุมระหว่างแกน z_{i-1} กับแกน z_i โดยพิจารณาบนแกน x_i
3. Link Offset (d_i) คือระยะทางระหว่าง x_i ถึง x_{i-1} โดยพิจารณาตามแกน z_i
4. Joint Angle (θ_i) คือมุมระหว่างแกน x_{i-1} กับแกน x_i โดยพิจารณาบนแกน z_i ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การกำหนดกรอบพิกัด และตัวแปรต่างๆ ของ D-H

ตารางที่ 1. ค่าตัวแปรตามแบบแผนของ D-H เมื่ออ้างอิงจากรูปที่ 6

link	a_{i-1}	α_{i-1}	θ_i	d_i
1	L_1	0º	θ_1	0
2	L_2	0º	θ_2	0

2.4 การหาเวคเตอร์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ [6]

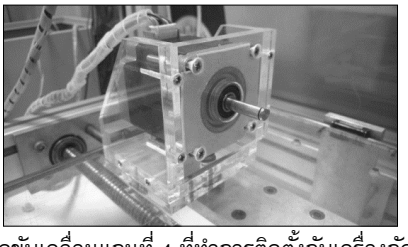
หลังจากที่ได้กำหนดตัวแปรต่างๆ ในตาราง D-H แล้ว ต่อไปทำการหาค่าทรานสฟอร์มเมชันเมตริกซ์ (Transformation Matrix : T) ซึ่งเป็นเมทริกซ์ขนาด 4 x 4 ประกอบไปด้วยเมทริกซ์การหมุน และเวคเตอร์การเคลื่อนที่โดยการระบุค่าต่างๆ ในตาราง ลงในสมการ Homogeneous Transformation Matrix ของสมการจลนศาสตร์ผันตรงตามจำนวนชิ้นส่วน (Link) *i*

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin\theta_i\cos\alpha_{i-1} & \cos\theta_i\cos\alpha_{i-1} & -\sin\alpha_{i-1} & -d\sin\theta_{i-1} \\ \sin\theta_i\sin\alpha_{i-1} & \cos\theta_i\sin\alpha_{i-1} & \cos\alpha_{i-1} & d_i\cos\alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

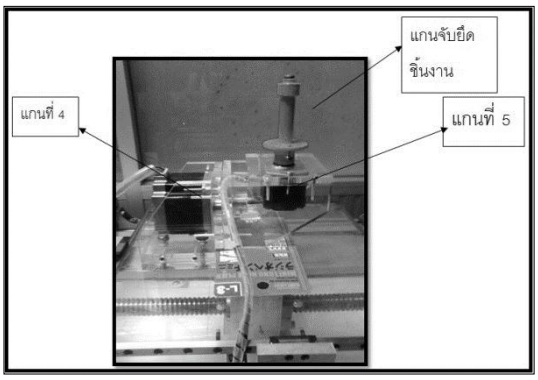
$$T_i^{i-1} = T_1^0 T_2^1 T_3^2 T_4^3 T_5^4 \quad (14)$$

3. การออกแบบโครงสร้างเครื่องจักร [1],[2],[5],[7]

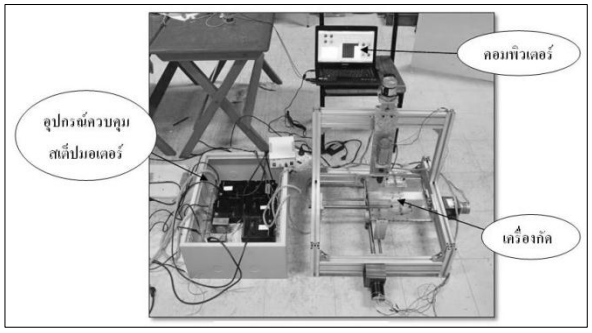
งานวิจัยและพัฒนานี้ ได้ดำเนินงานต่อจากโครงการ [1], [2] โดยโครงสร้างกลไกแขนหมุนของชิ้นงานจะหมุนรอบแกน X หรือแกนที่ 4 และหมุนรอบแกน Z หรือแกนที่ 5 ของเครื่องกัด โดยการประยุกต์ใช้ระบบการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ตามแบบแผนของ D-H และเพิ่มความละเอียดของสเต็ปมอเตอร์ขับเคลื่อนแกนที่ 4 จาก 1.8 องศาต่อการเคลื่อนที่ 1 สเต็ป ไปเป็น 0.9 องศาต่อการเคลื่อนที่ไป 1 สเต็ป ซึ่งสามารถเพิ่มความละเอียดได้เป็น 2 เท่าจากเดิม และวัสดุที่ใช้ในการสร้างเป็นพลาสติกอะคริลิคใส ซึ่งมีคุณสมบัติเบา แข็งแรงต่อการกระแทกและการสั่นสะเทือน และเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาโครงสร้างภายในได้ง่าย ดังแสดงในรูปที่ 7, 8 และ 9



รูปที่ 7 ชุดขับเคลื่อนแกนที่ 4 ที่ทำการติดตั้งกับเครื่องกัด 3 แกน

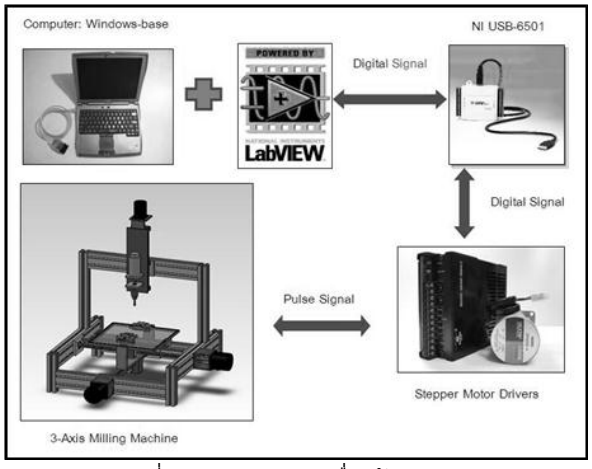


รูปที่ 8 ชุดขับเคลื่อนของแกนที่ 4 และ 5



รูปที่ 9 ส่วนประกอบของโครงสร้างเครื่องกัด 5 แกน

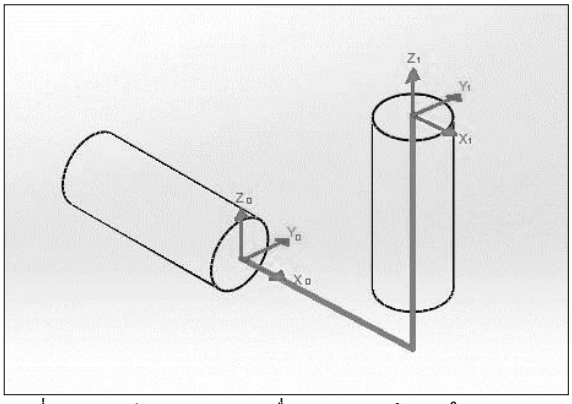
จากนั้นจึงทำการเชื่อมต่อสเตปมอเตอร์เข้ากับอุปกรณ์ขับเคลื่อนทางไฟฟ้า (Stepper Motor Driver) และคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการทำงานโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ระบบควบคุมเครื่องกัด 5 แกน

3.1 การใช้โปรแกรม Mathematica ช่วยหาสมการสำหรับการเคลื่อนที่ ตามแบบแผนของ D-H

จากการศึกษาหลักการของ D–H พบว่าระบบกลไกของแกนที่ 4 และ 5 นี้จะมีทั้งสิ้นจำนวน 3 Link โดย 2 Link เป็นของแกนที่ 4, 5 และ Link ที่ 3 เป็นของชิ้นงาน ซึ่งนำมาเขียน ดังแสดงในรูปที่ 11 และตารางที่ 2 โดยมีค่าของตัวแปรต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 11 การสร้างแบบจำลองเพื่อกำหนดค่าตัวแปรในตาราง D-H

ตารางที่ 2 การกำหนดค่าตัวแปรลงในตาราง D-H

Link	θ_i	dz	Dx	ai
1	0	0	66.81	ax1
2	0	66.44	0	0
3	θ_2	O2	N3	0

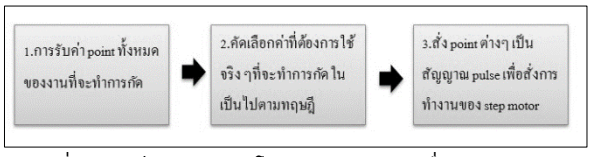
และจะได้ชุดตัวแปรของสมการจลนศาสตร์แบบผันตรงของกลไกการเคลื่อนที่ในระบบพิกัด (x, y, z) ดังรูปที่ 12

$$\begin{pmatrix} 66.81 + n2\,\mathrm{Cos}[\theta z2] \\ -66.44\,\mathrm{Sin}[ax1] - o2\,\mathrm{Sin}[ax1] + n2\,\mathrm{Cos}[ax1]\,\mathrm{Sin}[\theta z2] \\ 66.44\,\mathrm{Cos}[ax1] + o2\,\mathrm{Cos}[ax1] + n2\,\mathrm{Sin}[ax1]\,\mathrm{Sin}[\theta z2] \\ 1 \end{pmatrix}$$

รูปที่ 12 ชุดตัวแปรของสมการจลนศาสตร์แบบผันตรง

3.2 การเขียนโปรแกรม LabVIEW

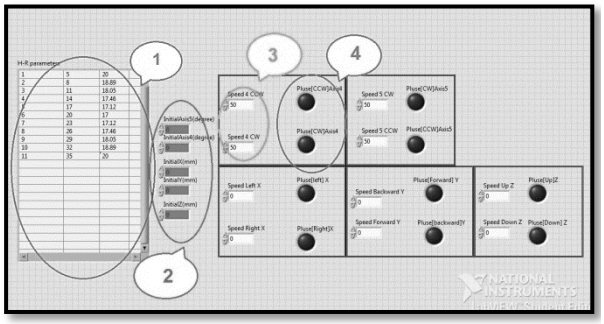
ในการเขียนโปรแกรมให้สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องกัดให้ทำงานได้นั้น จะมีส่วนประกอบหลักในการเขียนทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 องค์ประกอบของโปรแกรมควบคุมเครื่องกัด 5 แกน

การออกแบบหน้าจอสื่อสารกับผู้ใช้งาน (Front Panel) ของโปรแกรม LabVIEW ดังแสดงในรูปที่ 14 และมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้ 1) ตารางค่าความสูงและรัศมี

ของชิ้นงาน 2) จุดเริ่มต้นของดอกกัดที่อ้างอิงจากจุดแรกของชิ้นงาน 3) ความเร็วของการเคลื่อนที่ของแต่ละแกน และ 4) ไฟแสดงสัญญาณในการเคลื่อนที่ของแต่ละแกน



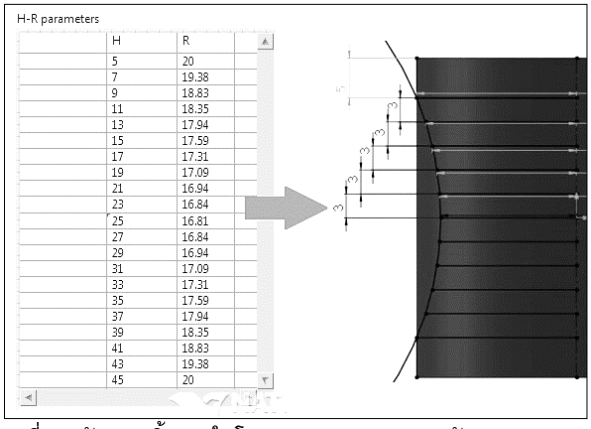
รูปที่ 14 การออกแบบหน้าจอสื่อสารกับผู้ใช้งาน

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของแต่ละแนวแกน

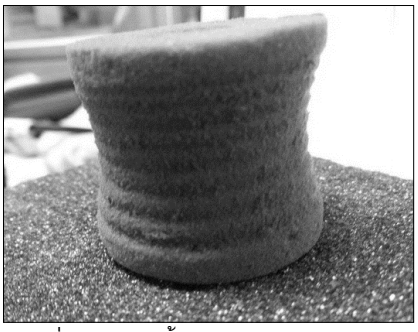
รูปแบบการทดสอบ	ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซนต์ความผิดพลาดจริง
การเคลื่อนที่ในแนวแกน X ระยะทาง 10 mm	1.05
การเคลื่อนที่ในแนวแกน Y ระยะทาง 10 mm	0.75
เคลื่อนที่ในแนวแกน Z ระยะทาง 10 mm	1.05
การเคลื่อนที่พร้อมกัน 2 แนวแกน คือ X และ Y โดยเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเส้นรอบวง 40 mm	1.95
การเคลื่อนที่พร้อมกัน 3 แนวแกน X,Y,Z โดย X=10 mm Y=10 mm และ Z=10 mm วัดเป็นเวคเตอร์ลัพธ์	0.36
การทดลองหมุนแกน Z โดยใช้โปรแกรมสั่งหมุนเป็นมุม 360 องศา	0.8
การทดลองการหมุนมุมรอบแกน x โดยใช้โปรแกรมสั่งหมุนเป็นมุม 90 องศา	0.8

4. ผลการทดลอง

การทดสอบความแม่นยำ (Accuracy) และความแม่นตรง (Precision) ของการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง จะแบ่งเป็นการทดสอบการเคลื่อนที่ทีละ 1 แนวแกน ทีละ 2 แนวแกนพร้อมกัน และทีละ 3 แนวแกนพร้อมกัน จำนวน 10 ครั้ง และวัดความคลาดเคลื่อนของแกนที่ 4 และ 5 โดยให้เคลื่อนที่ไป-กลับ ในตำแหน่งเดิม เป็นจำนวน 10 ครั้ง ด้วยความเร็วคงที่สูงสุดเท่าที่ระบบจะสามารถทำได้ คือค่าความถี่ของสัญญาณพัลส์รวม10 kHz จากโปรแกรม LabVIEW สั่งสัญญาณพัลส์ (Pulse) แล้วทำการวัดระยะด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ โดยเก็บข้อมูลเพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซนต์ความผิดพลาดจริง (Average True Percent Error) โดยตัวอย่างของผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3 สำหรับตัวอย่างของการกัดชิ้นงานวัสดุโฟม ด้วยชุดคำสั่งการเคลื่อนที่ในระบบพิกัดทรงกระบอก (Cylindrical Coordinate Algorithm) แบบต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 15 และ 16 ซึ่งเป็นการแสดงถึงสมรรถนะของโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องกัด 5 แกน



รูปที่ 15 ตัวอย่างชิ้นงานในโปรแกรม SolidWORK กับตารางข้อมูลความสูงและรัศมี ในโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 16 การกัดชิ้นงานรูปร่างนาฬิกาทราย

5. สรุป

การพัฒนาโปรแกรม LabVIEW สำหรับควบคุมเครื่องกัด 5 แกน โดยใช้กระบวนการคำนวณแบบระบบพิกัดทรงกระบอก สามารถทดสอบการทำงานได้อย่างน่าพอใจ โดยมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจริงของการทดสอบการเคลื่อนที่น้อยกว่า 0.966% ซึ่งจะเป็น

รากฐานของการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกล CNC ให้มีสมรรถนะตอบรับกับการทำงานที่ซับซ้อนสูงขึ้นในอนาคต เช่นการพัฒนาเป็นเครื่องกัด 5 แกน ให้สามารถรองรับระบบ G-code และ CAD/CAM เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและพัฒนานี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในการใช้โปรแกรม LabVIEW ลิขสิทธิ์ Version 2013 Student Edition และ MSC.Adams Student Edition 2014

เอกสารอ้างอิง

[1] สมฤกษ์ ปุจฉาการ, นิพัทธ์ ยืนยาว, สุพัฒน์ พรศิรินพคุณ และ สายันต์ พรายมี. 2555. การพัฒนาเครื่องกัด 3 แกน โดยใช้กลไกโต๊ะงาน X-Y แบบอินเวอร์ชั่นโอลแฮม. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2555, วันที่ 17-19 ตุลาคม 2555 จังหวัดเพชรบุรี: 197.

[2] สมฤกษ์ ปุจฉาการ, ชาติชาย วิเชียรรัตน์, ปิยวัฒน์ หนองประทุม, สุธรรม ธัมกิตติคุณ. 2556. การพัฒนาซอฟท์แวร์ควบคุมเครื่องกัด 3 แกนด้วยโปรแกรม LabVIEW เพื่อรองรับรหัสคำสั่ง G-Code. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2556, วันที่ 16-18 ตุลาคม 2556, พัทยา, ชลบุรี

[3] Alan Overby. 2010. CNC Machining Handbook, McGraw Hill Professional.

[4] Robert Bishop. 2003. LabVIEW 7 Express student edition, Prentice Hall.

[5] A.H. Slocum. 1992. Precision Machine Design, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, NJ.

[6] Denavit, Jacques; Hartenberg, Richard Scheunemann (1955). "A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices". Trans ASME J. Appl. Mech 23: 215–221.

[7] Yitao Duan, Pete Retondo, Robert Hillaire. Three Axis Milling Machine. ME230 Final Project. Fall 1998, University of California at Berkeley Mechanical Engineering.

[8] Dehong Huo, Kai Cheng, Frank Wardle Design of a 5-Axis Ultraprecision Micro Milling Machine–UltraMill: Part 1: Holistic Design Approach, Design Considerations, and Specifications. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology April 2010, Volume 47, Issue 9-12, pp 867-877

[9] M. Munlin, S.S. Makhanov, E.L.J. Bohez. Optimization of rotations of a five-axis milling Machine near stationary points. Computer-Aided Design 36 (2004) 1117–1128.

[10] http://www.mscsoftware.com/

[11] http://www.wolfram.com/mathematica/

[12] http://www.ni.com/labview/

การพัฒนากระบวนการตัดข้าวเกรียบปลาสดโดยเครื่องตัดข้าวเกรียบปลาสดแบบกึ่งอัตโนมัติ

Development of Semi-Automatic Cutting Fresh Fish-Cracker Machine

ซูไฮดี สนิ* ยงยุทธ ดุลยกุล มาหามะสูไฮมี มะแซ
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อ.เมือง จ.สงขลา 90000 E-mail: zuhaidee.s@hotmail.com*

Suhaidee Sani*, Yongyuth Dunyakul, Mahamasuhaimee Masea
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Srivijaya, Muang, Songkhla 90000, E-mail: zuhaidee.s@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนากระบวนการตัดข้าวเกรียบปลาสดรูปแบบแท่งแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อลดเวลากระบวนการตัดข้าวเกรียบปลาสดรูปแบบแท่ง โดยธรรมชาติของข้าวเกรียบปลาสดนั้นจะมีคุณลักษณะเหนียวส่งผลให้คนงานทำงานใช้เวลานาน ดังนั้นเพื่อเป็นการประยุกต์นำเทคโนโลยีมาใช้ในการเพิ่มปริมาณการผลิตโดยการออกแบบมีองค์ประกอบ คือ 1) กระบอกสูบชนิดทางเดียว 2) ชุดมีดตัดเฉือนวัตถุดิบ และ 3) ระบบควบคุมด้วยระบบ PLC โดยสามารถผลิตชิ้นงาน 3 ขนาด คือ 5x5 มม , 8x8 มม. และ 10x10 มม. ตามลำดับ และความยาว 50 มม จากผลการทดลองได้กำหนดปัจจัยการทดลองของแรงดันลมขนาด 3, 5 และ 7 PSI เพื่อเปรียบเทียบการทำงานด้วยวิธีเดิม จากผลการทดลองพบว่าการตัดด้วยเครื่องสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้ 18.87 กก./ชม. ส่วนวิธีเดิมได้ 3.86 กก./ชม. คิดเป็นประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 4.5 เท่าของวิธีเดิม

คำหลัก การพัฒนา เครื่องตัด ข้าวเกรียบปลาสด กึ่งอัตโนมัติ

Abstract

The objective of this research was to design and develop the cutting process of the fish crackers stick patterns on semi-automatic. For reducing times of cutting process on fish crackers stick. In general, the fresh fish crackers were sticky therefore, the workers took long times. Then, the technology was applying for increasing quantity of processing by design the elements: 1) Cylinder Type Single 2) cutlery, cutting materials, and 3) control system with PLC system can produce 3 sizes. 5x5 mm, 8x8 mm. and 10x10 mm. respectively, and a length of 50 mm. This experiment was determined the three factors of pressure: 3, 5, and 7 PSI compared with the old method. The result showed that Cut Fresh Fish-Cracker Machine on Semi-Automatic could be increasing the production quantity, it was 18.87 kg/hr as compared with the old method was 3.86 kg/hr, which was increased 4.5 times.

Keywords: Development, Cutting Machine, Fresh Fish-Cracker, Semi-Automatic

1. บทนำ

เนื่องด้วยสถานการณ์ทางธุรกิจในปัจจุบันที่มีการแข่งขันทางธุรกิจสูงนั้น สินค้าหนึ่งผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบล (OTOP) เป็นกลุ่มที่กำลังเผชิญปัญหาวิกฤตทางเศรษฐกิจเช่นกัน อีกทั้งปี พ.ศ. 2558 ความร่วมมือทางเศรษฐกิจในกลุ่มประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน หรือ AEC (Asean Economic Community) มีความเชื่อมโยง ทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม [1] การพัฒนาและผลิตอย่างแพร่หลาย ข้าวเกรียบปลาสดทอดก็เป็นอาหารชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เป็นลักษณะกรอบนอก นุ่มใน แต่เนื่องจากการเลือกของผู้บริโภคในปัจจุบันนี้มีทางเลือกค่อนข้างมาก ทำให้กระบวนการผลิตเองจะต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ ข้าวเกรียบปลาสดที่เหมาะสมทางด้านโภชการสาหรับผู้บริโภคทุกวัย เพราะมีปลาสด แป้งมัน และแป้งสาคู เป็นส่วนผสมหลักในกระบวนการผลิต

รูปที่ 1 เครื่องมือช่วยในการผลิตวิธีเดิม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าวเกรียบ (Cracker) จะมีส่วนผสมหลัก คือ แป้งและโปรตีน จากเนื้อปลาสด แป้งข้าวจ้าว แป้งสาลี และแป้งมันสำปะหลัง ในกระบวนการผลิต โดยนำปลาสดมาตัดหัวตัดหางล้างให้สะอาด แล้วนำเข้าเครื่องบดให้ละเอียด เติมส่วนผสม [2] ซึ่งมีส่วนผสมของแป้งมัน แป้งสาคู และเกลือ นวดคลุกเคล้าให้ส่วนผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน เสร็จแล้วจึงปั้นเป็นแท่งทรงกลมขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความยาว 300 มิลลิเมตร และนำมาต้มในน้ำเดือดจนสุก โดยมีส่วนผสมของข้าวเกรียบปลาสูตรทั่วไปดังนี้

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของข้าวเกรียบ [3]

วัตถุดิบ	ส่วนผสม(%)
แป้งมันสำปะหลัง	50
เนื้อปลาสด	50
เกลือ	2.5
พริกไทย	1.7
กระเทียม	2.5
น้ำ	15-20

2.1 กระบวนการผลิตข้าวเกรียบ

ข้าวเกรียบปลาสดเป็นผลิตภัณฑ์ที่อาศัยหลักการโดยทำให้แป้งเกิดเจลาติไนเซชัน ซึ่งประกอบส่วนที่สำคัญคือแป้งและน้ำ การผลิตข้าวเกรียบปลาทำได้โดยการผสมแป้งกับเนื้อปลาบด น้ำและเครื่องปรุงแต่ง นวดผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันเขาเรียกว่าโดข้าวเกรียบ (Cracker dough) หลังจากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณ 5-10 เซนติเมตร ทำให้สุกโดยความร้อนด้วยวิธีการต้ม ที่อุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นตัวลง

(ก)

(ข)

รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาสดหลังแปรรูป
(ก) วัตถุก่อนการแปรรูป
(ข) วัตถุดิบหลังจากการแปรรูป

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตมีความสำคัญมาก จากกระบวนการผลิตนั้นในการออกแบบและสร้างเครื่องหั่นข้าวเกรียบปลาสดข้าวเกรียบปลาสดชนิดแท่งโดยใช้แรงงานคนนั้น ย่อมส่งผลกระทบต่อการแข่งขันในตลาด การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์จึงสิ่งสำคัญ โดยเบื้องต้นได้นำ ความรู้กรรมวิธีการอัดขึ้นรูป ความรู้ด้านการควบคุม PLC ความรู้ด้านการส่งถ่ายกำลังด้วยลม ตลอดจนความรู้ด้านการออกแบบชิ้นส่วน เพื่อที่ให้ทราบพัฒนากระบวนการแปรรูปข้าวเกรียบปลาสด

จากการสรุปความสำคัญของปัญหาจะเห็นได้ ผู้ผลิตใช้แรงในการตัดออกเป็นชิ้น ๆ ใช้กำลังงานมาก อีกทั้งความไม่เป็นมาตรฐานเดียวกันของกระบวนการผลิต เช่น มีขนาดของผลิตภัณฑ์ไม่เท่ากัน ระยะเวลาในการผลิตไม่เท่ากัน เป็นต้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรพงศ์ ผลโพธิ์ [4] ได้ออกแบบและสร้างหั่นตะไคร้แบบสไลด์ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบที่สามารถผลิตตะไคร้ที่มีลักษณะตามต้องการคือมีลักษณะยาวตามแนวลำต้นประมาณ 3 ถึง 6 เซนติเมตร ชุดใบมีดประกอบด้วยจานยึดใบมีดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร ติดใบมีดจำนวน 3 ใบ ใช้มอเตอร์ขนาด 1/3 แรงม้า จานจับใบมีดหมุนด้วยความเร็วรอบ 240 รอบต่อนาที และช่องป้อนตะไคร้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ขณะป้อนต้องทำการหมุนต้นตะไคร้ทิศทางทวนเข็มนาฬิกาไปด้วย ผลการทดลองเครื่องสามารถทำงาน ได้ผลผลิตออกมาได้ตามที่ต้องการไม่แตกต่างจากที่ทำด้วยมือ จากการทดสอบเพื่อหาอัตราการหั่นตะไคร้ต่อชั่วโมงพบว่ามีอัตราเฉลี่ยเป็น 7.64 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะเห็นได้ว่าเครื่องผลิตได้มากกว่าคน ส่วนประกอบของเครื่องมีโครงสร้างรับน้ำหนัก ช่องป้อนตะไคร้ ชุดส่งกำลัง และชุดจานขับใบมีด

อเนก สมเคราะห์ [5] ได้สร้างเครื่องหั่นต้นกล้วย โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องหั่นต้นกล้วยให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ เพื่อนำไปแปรรูปเพื่อให้เกิดมูลค่ามากขึ้น เช่น กระดาษใยกล้วย อาหารสัตว์ ปุ๋ยหมัก เป็นต้น ซึ่งได้ออกแบบเครื่องหั่นต้นกล้วยออกเป็นสองแบบ คือ แบบใบมีดตามแนวแกนเพลา และใบมีดตามแนวรัศมี จากการทดสอบพบว่าแบบแรกเส้นใยจะพอกที่คมตัดของใบมีดทำให้ไม่สามารถตัดได้ แบบที่สองหั่นได้ดีไม่มีใยกล้วยพอกใบมีดและสามารถควบคุมความหนาของเศษตัดได้ สรุปได้ว่าเครื่องหั่นต้นกล้วยที่มีใบมีดในแนวรัศมีสามารถทำงานทำเป็นเครื่องต้นแบบในการผลิตได้

ณัฐพล กล้าไพรี และคณะ [6] ได้ทำการวิจัย เรื่องใบมีดตัดที่เหมาะสมในเครื่องหั่นแว่นสับปะรดแบบใบมีดหมุนในแนวนอน วัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงใบมีดตัดให้สามารถหั่นแว่นสับปะรดได้สมรรถนะที่ดีขึ้น ผลการศึกษาพบว่าใบมีดตัดแบบมุมเฉียงซึ่งทำมุม 10 องศากับแนวระดับ โดยที่ใบมีดกว้าง 50 มิลลิเมตร และหนา 2 มิลลิเมตร มีระยะการโก่งตัวที่ปลายใบมีดใกล้เคียงกับใบมีดกว้าง 60 มิลลิเมตร หนา 2 และ 3 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงเลือกใช้ใบมีดกว้าง 50 มิลลิเมตร และหนา 2 มิลลิเมตร การทดสอบสมรรถนะเครื่องหั่นแว่นสับปะรดติดใบมีดที่ออกแบบใหม่ชี้ให้เห็นว่าความเร็วใบมีดตัดที่เหมาะสมมีค่า 60 รอบต่อนาที ให้เปอร์เซ็นต์ชิ้นสับปะรดเกรด A สูงที่สุดกว่าร้อยละ 80 และมีความสามารถในการหั่นชิ้นสูงกว่า 900 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

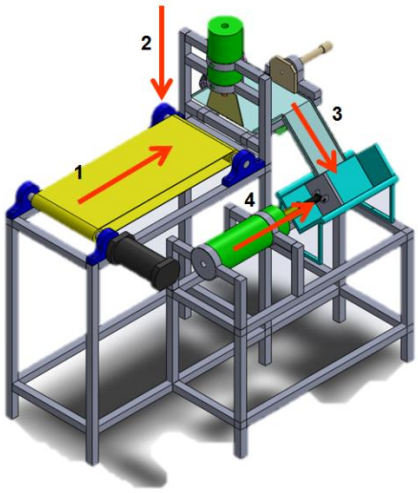
เมธี ศรีประเสริฐทรัพย์ และธนา ชั่งจีน [7] ได้ทำการพัฒนาเครื่องซอยหมากได้สร้างเครื่องซอยหมากนี้ใช้มอเตอร์กระแสสลับขนาด 190 วัตต์ แรงดัน 220 โวลต์ เป็นต้นกำลัง โดยแยกการทำงานออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบป้อนหมาก และระบบตัดเฉือน การทำงานของเครื่องคือการนำหมากสดมาทำการปอกเปลือก ใส่ลงในถังไปสู่ชุดป้อน โดยที่ชุดป้อนหมากจะนำเอาหมากเข้าสู่ชุดตัดเฉือนครั้งที่ 1 ผลต่อช่อง มีทั้งหมด 3 ช่อง หลังจากหมากตกลงไปในชุดตัดเฉือนแล้ว ชุดดันหมากซึ่งรับกำลังจากเพลาลูกเบี้ยว ทำการดันผลหมากให้ผ่านชุดใบมีดลักษณะขั้นบันไดจำนวน 5 ชั้น จากผลการทดลองและใช้งานจริงปรากฏว่า เครื่องซอยหมากสามารถใช้ได้จริงตามปริมาณที่กำหนดไว้ โดยได้แผ่นหมากมีความหนา 5 มิลลิเมตร เท่ากันทุก ๆ แผ่น และปริมาณการผลิตประมาณ 14 ผลต่อนาที

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

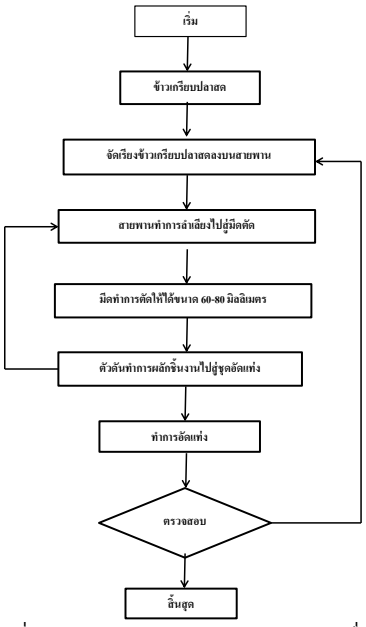
3.1 การออกแบบเครื่อง

การออกแบบมีแนวคิดการออกแบบที่ไม่ซับซ้อน โดยใช้ทำการทำโครงสร้างจากเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งโครงสร้างของเครื่องมีขนาดความ กว้างxยาวxสูง

(600x800x1400 มม) โดยมีเครื่องตัดข้าวเกรียบปลาสดให้เป็นไปตามขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้ โดยจะมีหน้าที่ของเครื่องอยู่ 4 ส่วน คือ 1) เคลื่อนที่นำ 2) ตัดตามขนาด 3) ดันชิ้นงาน และ 4) กดอัดชิ้นงาน



รูปที่ 3 กระบวนการทำงานของเครื่อง



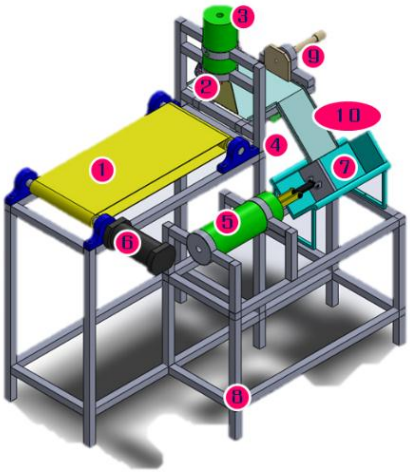
รูปที่ 4 แผนภูมิกระบวนการทำงานของเครื่อง

3.2 โครงสร้างของเครื่อง

การคำนวณอัตราสิ้นเปลืองลมอัดจากสมการดังนี้

$$Q_o = \frac{(A1 + A2) \times L \times (P + 1.033) \times N}{1.033} \qquad (1)$$

โดยที่ A1 คือ พท.หน้าตัดหัวลูกสูบ A2 คือ พท.หน้าตัดหัวลูกสูบ L คือช่วงชักกระบอก P คือความดันก่อนเข้าช่วงชักกระบอก และ N คือจำนวนครั้ง

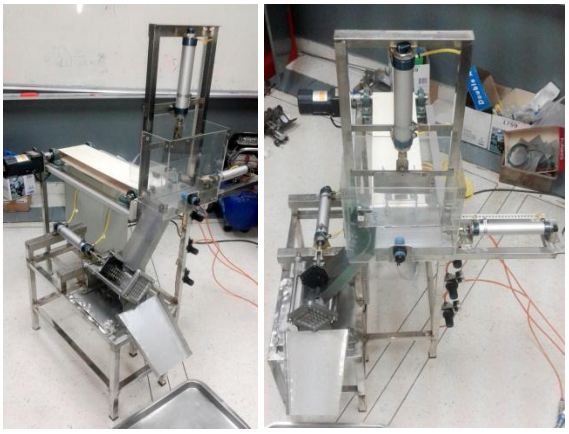


ลำดับ	อุปกรณ์
1	สายพาน
2	มีดตัด
3	กระบอกตัด
4	กระบอกดัน
5	กระบอกอัด
6	DC Motor
7	ชุดอัดแท่ง
8	โครงเครื่อง
9	Sensor
10	ถาดประคอง

รูปที่ 4 แนวคิดการออกแบบเครื่อง

3.3 เครื่องตัดข้าวเกรียบปลาสดแบบกึ่งอัตโนมัติ

หลังจากการออกแบบได้ดำเนินการสร้างเครื่องตัดข้าวเกรียบปลาสดแบบกึ่งอัตโนมัติและประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 5 ดังนี้



รูปที่ 5 เครื่องตัดข้าวเกรียบปลาสดแบบกึ่งอัตโนมัติ

4. ผลการวิจัย

จากผลการทดลองเครื่องตัดข้าวเรียบปลาสดรูปแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อเป็นการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องเป็นการเปรียบเทียบเวลาการทำงานระหว่างคนงานกับเครื่องตัด

4.1 เปรียบเทียบเวลาระหว่างคนกับเครื่อง

การวัดผลการดำเนินงาน เป็นการเปรียบเทียบการตัดข้าวเกรียบปลาสด ประกอบด้วย 3 ขนาด คือ ขนาด 5×5 มม. 8×8 มม. และ 10×10 มม. ยาว 100 มม.และ

ใช้ขนาดแรงดันลม 3 ระดับ คือ 3 PSI , 5 PSI และ 7 PSI โดยกำหนดขนาดชิ้นงานของการทดลองแต่ครั้งมีน้ำหนัก 250 กรัม/ชิ้น จะได้ผลการทดลองดังตาราง 2-5 ดังนี้

ตาราง 2 ผลการทดลองการตัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมด้วยแรงงานคน

ทดลองครั้งที่	เวลาตัด (วินาที)		
	5x5	8x8	10x10
1	182	188	192
2	186	190	184
3	190	185	188
4	179	195	178
5	195	180	193

ตาราง 3 ผลการทดลองการตัดข้าวเกรียบปลาสดด้วยเครื่องตัดข้าวเกรียบปลาสด ที่แรงดันลม 3 Psi เวลาแช่ 4 ชั่วโมง

ทดลองครั้งที่	เวลาตัด (วินาที)		
	5x5	8x8	10x10
1	55	52	48
2	53	48	53
3	49	47	50
4	46	51	47
5	52	55	52

ตาราง 4 ผลการทดลองการตัดข้าวเกรียบปลาสดด้วยเครื่องตัดข้าวเกรียบปลาสด ที่แรงดันลม 5 Psi เวลาแช่ 4 ชั่วโมง

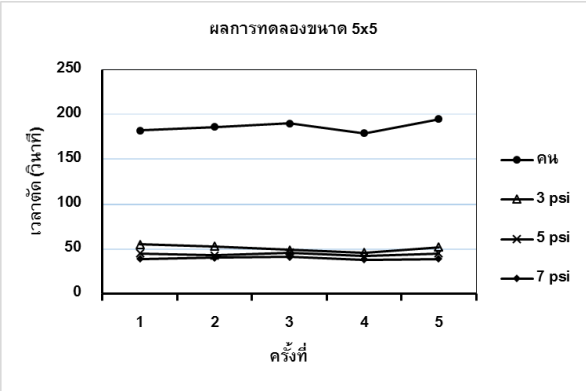
ทดลองครั้งที่	เวลาตัด (วินาที)		
	5x5	8x8	10x10
1	45	44	43
2	43	46	44
3	46	43	42
4	42	45	45
5	45	41	42

ตาราง 5 ผลการทดลองการตัดข้าวเกรียบปลาสดด้วยเครื่องตัดข้าวเกรียบปลาสด ที่แรงดันลม 7 Psi เวลาแช่ 4 ชั่วโมง

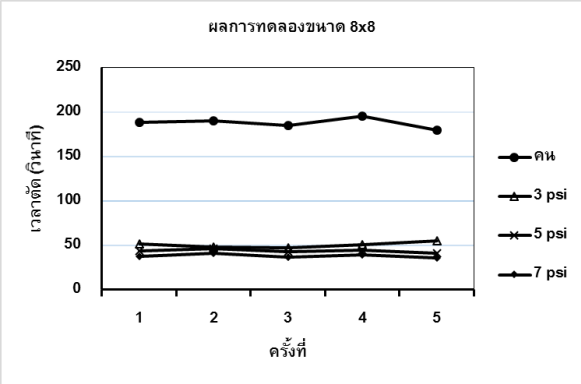
ทดลองครั้งที่	เวลาตัด (วินาที)		
	5x5	8x8	10x10
1	39	38	37
2	40	41	38
3	41	37	40
4	38	39	38
5	39	36	37

4.1 เปรียบเทียบผลการทดลองของเวลาระหว่างคนกับเครื่อง

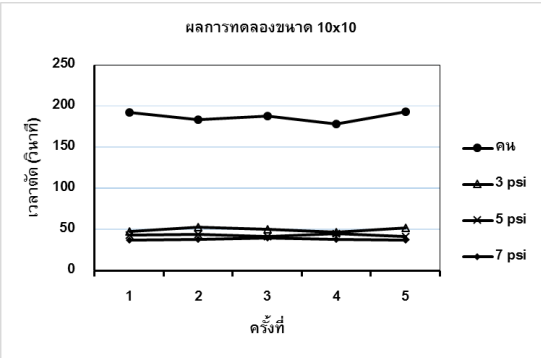
หลังจากที่ได้ทำการทดลองจึงนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบเวลาการทำงานของคนกับเครื่อง ดังแสดงรูปที่ 4-6



รูปที่ 5 เปรียบเทียบเวลาของขนาดชิ้นงาน 5x5 มม.



รูปที่ 6 เปรียบเทียบเวลาของขนาดชิ้นงาน 8x8 มม.



รูปที่ 7 เปรียบเทียบเวลาของขนาดชิ้นงาน 10x10 มม.

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองความดันของลมที่ใช้สำหรับการตัดข้าวเกรียบปลาสดใช้ลมอยู่ที่ 3 Psi, 5 Psi, 7 Psi ซึ่งขนาดของลมจะไม่มีผลต่อการตัดข้าวเกรียบปลาสด ลมทุกขนาดสามารถตัดข้าวเกรียบปลาสดได้ค่อนข้างดี

ลักษณะของการตัดข้าวเกรียบปลาสดแต่ละครั้งระหว่างคนงานกับเครื่อง จากผลการทดลองพบว่าการตัดด้วยเครื่องสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้ 18.87 กก./ชม. ส่วนวิธีเดิมได้ 3.86 กก./ชม. คิดเป็นประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 4.5 เท่าของวิธีเดิมส่งผลให้สามารถทำการตัดข้าวเกรียบปลาสดได้เร็วกว่าแรงงานคน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2558 และขอขอบคุณ บุคลากร เจ้าหน้าที่ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้คำแนะนำและกำลังใจให้กับผู้วิจัยเสมอมา

เอกสารอ้างอิง

[1] สมชัย จิตสุชน (2555) . **AEC กับผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางสังคมและช่องว่างทางรายได้.** สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย.

[2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรและกรมวิชาการเกษตร.(2551).[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก:http://fic.nfi.or.th/th/thaifood/product52-condiment.asp.(วันที่ค้นข้อมูล : 13 พฤศจิกายน 2553).

[3] พรรณี วงศ์ไกรศรีทอง. (2530). **การผลิตข้าวเกรียบปลาโดยใช้เครื่องรีดแผ่น.** วิทยานิพนธ์ คณะคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[4] ธีรพงศ์ ผลโพธิ์. (2546). **ออกแบบและสร้างหั่นตะไคร้แบบสไลด์.**กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.

[5] อเนก สมเคราะห์. (2548). **สร้างเครื่องหั่นต้นกล้วย**. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพายัพ.

[6] ณัฐพล กล้าไพรี และคณะ (2547). **วิจัยใบมีดตัด ที่เหมาะสมในเครื่องหั่นแว่นสับปะรดแบบใบมีดหมุนในแนวนอน.**เชียงใหม่:ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[7] เมธี ศรีประเสริฐทรัพย์ และธนา ชั่งจีน. 2547). **การพัฒนาเครื่องซอยหมาก.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ.

[8] Fluid Power Technical Manual Pneumatics.

[9] Kyaw,Z.,Yu,S.Y.,Cheow,C.and Dzulkifly,M.1999.**Effect of steaming time on the linear Expansion of fish crackers(‘kerapok’).**.Journal of the Science of Food and Agriculture79:1340-1344

[10] Thai Industrial standard Institute.1987.**Cracker Product standard** (No.701-2530)

[11] Tongdang, T.,Meenun,M.and Chainui,J.2008. **Effect of sago starch addition and steaming during thermal gelation**.Journal of Food Science.50:14.

[12] YU, S. Y., MITCHELL, J. R. and ABDULLAH, A. (1981), **Production and acceptability-testing of fish crackers (‘keropok’) prepared by the extrusion method.** International Journal of Food Science & Technology, 16: 51–58.

[13] Yu, S.Y. 1991a. **Acceptability of fish crackers (kerapok) made from different types of flour**, Asean Food Journal 6:114-116.

[14] Yu, S.Y. 1991b. Effect of fish : **Flour ratio on fish crakers (kerapok)**. Asean Food Journal 6: 36.

การปรับปรุงกระบวนการบรรจุสารแอมโมเนียโดยโปรแกรมการจำลองสถานการณ์ กรณีศึกษาโรงงานแอมโมเนีย

Process improvement in Ammonia Filling Process by Plant Simulation Program Case Study Ammonia Plant

สุรธันย์ ปาละพรพิสุทธิ์[1] รุ่งโรจน์ เชียงทอง[2] ทิพวรรณ โชติเวที[3]
[1,3]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2]สถาบันไทย-เยอรมัน
E-mail: surathan_p@hotmail.com*

Surathan Parapornpisut[*1], Rungroj Cheangthong[2], Tippawan Chotwethee[3]
[1, 3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
[2]Thai-German Institute
E-mail: surathan_p@hotmail.com[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุสารแอมโมเนีย โดยการใช้โปรแกรมการจำลองสถานการณ์ (Plant simulation) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการบรรจุสารแอมโมเนีย จากนั้นทำการจับเวลานำเอาข้อมูลของแต่ละสถานีงาน มาทำการจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรมการจำลองสถานการณ์ (Plant simulation) จากนั้นทำการวิเคราะห์กระบวนการเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการโดยใช้โปรแกรมการจำลองสถานการณ์ (Plant simulation) ผลลัพธ์ที่ได้จากก่อนการปรับปรุงคือในกระบวนการบรรจุแอมโมเนียใช้พนักงานทำงาน 5 คน Takt time 21.59 วินาที/ถัง หลังการปรับปรุงกระบวนการบรรจุแอมโมเนียใช้พนักงานในการทำงาน 3 คน จังหวะTakt time 15 วินาที/ถัง

คำหลัก การบรรจุแอมโมเนีย, โปรแกรมการจำลองสถานการณ์

Abstract

The purpose of this research is improvement contain ammonia filling by using plant simulation program for analysis ammonia filling process and simulation process. First we study process ammonia filling after that we timer each workstation and collect information, create in plant simulation for simulation ammonia filling process before improvement after that we analyze bottleneck process and improve process by plant simulation program. Before improving we used 5 staffs for operation and takt time 21.59 second/tank but after improving the process used 3 staffs and takt time 15 second/tank

Keywords: Ammonia Filling, Simulation Program

1. บทนำ

โรงงานกรณีศึกษาในการทำวิจัย คือโรงงานแอมโมเนีย กระบวนการที่ทำการศึกษาเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตคือ กระบวนการบรรจุสารแอมโมเนีย จากการศึกษาข้อมูลกระบวนการบรรจุสารแอมโมเนีย Takt time อยู่ที่ 21.59 วินาที/ถัง มีพนักงานทำงาน 5 คน การทำงานจะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่อลูกค้ามารอที่หน้างาน

หลังจากผู้วิจัยได้เข้าไปศึกษากระบวนการบรรจุสารแอมโมเนียที่โรงงานกรณีศึกษา พบว่าแต่ละกระบวนการย่อยค่อนข้างหลายขั้นตอนและใช้เวลาในการทำงานมากเกินไปและพนักงานในการทำงานมากเกินความจำเป็น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดจะลดเวลาในกระบวนการบรรจุสารแอมโมเนียและลดพนักงานในกระบวนการ โดยทำการจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม Plant Simulation ทำการจำลองสถานการณ์สถานะปัจจุบัน และจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุสารแอมโมเนีย

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 ศึกษาขั้นตอนการบรรจุสารแอมโมเนีย

กระบวนการบรรจุสารแอมโมเนียสามารถแบ่งกระบวนย่อยออกได้ 7 ขั้นตอน (เวลาทำงานนำมาจากการจับเวลาในแต่ละขั้นตอน 10 ครั้งและนำมาเฉลี่ยเป็นเวลาทำงาน)

1). ขั้นตอนการเตรียมถังเปล่า: พนักงาน A เคลื่อนย้ายถังเปล่าที่จะนำไปบรรจุสารแอมโมเนียครั้งละ 10 ถัง ไปสถานีงานบรรจุสารแอมโมเนีย ใช้เวลาทำงาน 10.64 วินาที มีระยะทางในการเดิน 18.64 เมตร

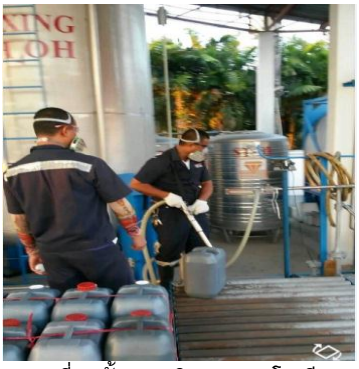
รูปที่ 1 ถังเปล่าบรรจุสารแอมโมเนีย

รูปที่ 2 ขั้นตอนเตรียมถังเปล่า

2). ขั้นตอนวางถังเปล่าในจุดที่ทำการเติมสารแอมโมเนีย: พนักงาน B นำถังเปล่ามาวางไว้ที่จุดชั่งน้ำหนัก ใช้เวลาทำงาน 3.38 วินาที/ถัง

รูปที่ 3 ขั้นตอนวางถังเปล่าในจุดที่ทำการเติมสารแอมโมเนีย

3).ขั้นตอนการเติมสารแอมโมเนีย: พนักงาน C นำสายโหลดสารแอมโมเนียใส่ที่ปากถังบรรจุสารแอมโมเนีย และเปิดวาล์วเพื่อเติมสารแอมโมเนียลงในถังเปล่าจนได้น้ำหนักที่ตั้งไว้ ใช้เวลาทำงาน 21.59 วินาที/ ถัง



รูปที่ 4 ขั้นตอนเติมสารแอมโมเนีย

4). ขั้นตอนปิดฝาพลาสติก: พนักงาน B นำฝาพลาสติกสีขาวปิดที่ปากถังที่บรรจุสารแอมโมเนีย และส่งถังที่บรรจุสารแอมโมเนียให้พนักงาน D ใช้เวลาทำงาน 4.02 วินาที/ถัง

รูปที่ 5 ขั้นตอนปิดฝาพลาสติก

5). ขั้นตอนปิดฝาสีแดง: พนักงาน D นำฝาเกลียวสีแดงมาปิดที่ปากถังบรรจุสารแอมโมเนีย ใช้เวลาทำงาน 5.72 วินาที/ถัง

รูปที่ 6 ขั้นตอนปิดฝาสีแดง

6). ขั้นตอนเคลื่อนย้ายถังไปจุดขึ้นสินค้า: พนักงาน D ผลักถังไปกับพื้น เพื่อเคลื่อนถังไปที่จุดขึ้นสินค้า ใช้เวลาทำงาน 5.56 วินาที/ถัง

รูปที่ 7 ขั้นตอนเคลื่อนย้ายถังไปจุดขึ้นสินค้า

7). ขั้นตอนจัดเรียงถัง: พนักงาน E จัดเรียงถังบรรจุสารแอมโมเนียเพื่อเตรียมขึ้นสินค้า เวลาทำงาน 1.98 วินาที/ถัง

รูปที่ 8 ขั้นตอนการจัดเรียงถัง

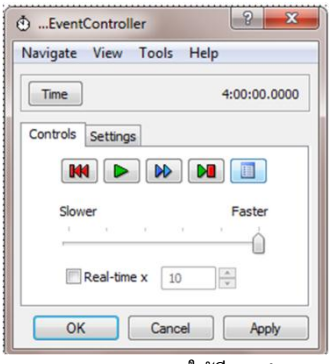
ตารางที่ 1 ตารางแสดงเวลาการทำงานของแต่ละขั้นตอน

ขั้นตอน	เวลา (วินาที)
1. เตรียมถังเปล่า	10.64
2. วางถังเปล่าในจุดที่ทำการเติมสารแอมโมเนีย	3.83
3. เติมสารแอมโมเนีย	21.59
4. ปิดฝาพลาสติก	4.02
5. ปิดฝาสีแดง	5.72
6. เคลื่อนย้ายถังไปจุดขึ้นสินค้า	5.56
7. จัดเรียงถัง	1.98

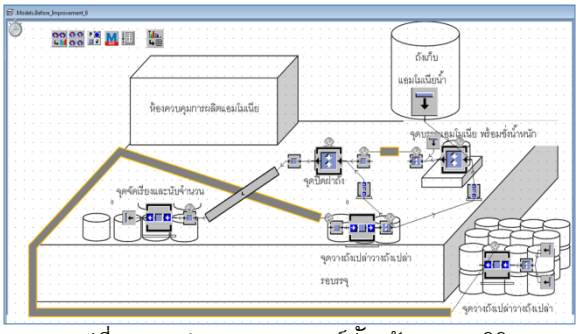
จากข้อมูลตารางที่ 1 พบว่าจุดที่เป็นคอขวดจะอยู่ในขั้นตอนบรรจุบรรจุสารแอมโมเนียใส่ถัง ใช้เวลาทำงาน 21.59 วินาที/ชิ้น ซึ่งกระบวนการทำงานปัจจุบันใช้พนักงานทำงาน 5 คน

2.2 จำลองสถานการณ์สถานะปัจจุบันโดยโปรแกรม Plant Simulation

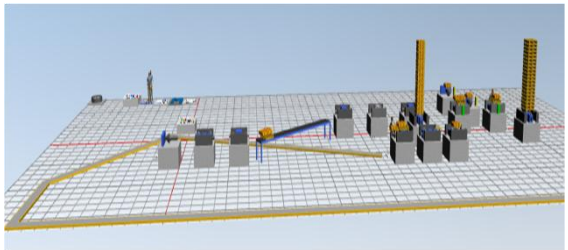
ทำการจำลองสถานการณ์สถานะปัจจุบันโดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาขั้นตอนการบรรจุสารแอมโมเนีย โดยในแต่ละขั้นตอนการใช้เวลาในการทำงานตามตารางที่ 1 ตารางแสดงเวลาการทำงานของแต่ละขั้นตอน และกำหนดเวลาทำงานวันละ 4 ชม.



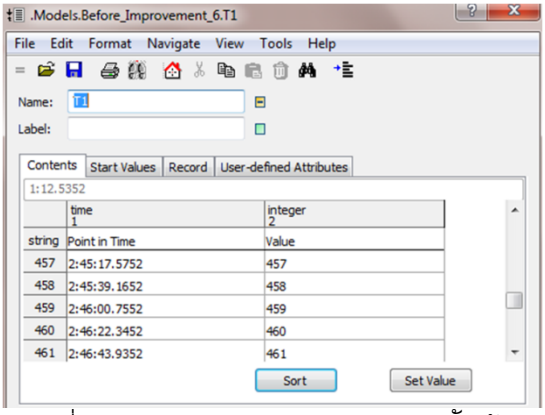
รูปที่ 9 กำหนด EventController ให้มีการทำงาน 4 ชม ต่อวัน



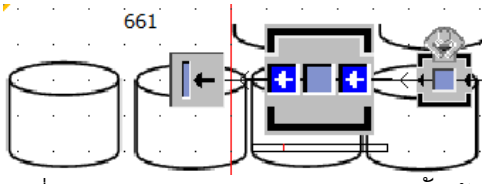
รูปที่ 10 การจำลองสถานการณ์ปัจจุบันแบบ 2 มิติ



รูปที่ 11 การจำลองสถานการณ์ปัจจุบันแบบ 3 มิติ



รูปที่ 12 แสดงผลการ Run Simulation สถานะปัจจุบัน
(ช่วงเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อถังสารแอมโมเนีย)



รูปที่ 13 แสดงผลการ Run Simulation สถานะปัจจุบัน
(ความสามารถในการผลิตในช่วงเวลา 4 ชม.)

ผลการจำลองจำลองสถานการณ์สถานะปัจจุบันโดยโปรแกรม Plant Simulation ดังนี้

1). ความสามารถในการผลิต ในเวลา 4 ชม. เท่ากับ 661 ถัง

2). Take time ในการผลิตอยู่ที่ 21.59 วินาที/ถัง ซึ่งตัวกำหนดจังหวะการผลิตอยู่ที่กระบวนการบรรจุแอมโมเนียใส่ถังเพราะใช้เวลาในการทำงานมากที่สุด

3). ใช้พนักงานในการผลิต 5 คน

2.3 วิเคราะห์เพื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุแอมโมเนีย

ก่อนทำการจำลองสถานการณ์เพื่อการปรับปรุงกระบวนการบรรจุสารแอมโมเนียโดยโปรแกรม Plant Simulation ผู้วิจัยมีการระดมสมองเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนบรรจุแอมโมเนีย โดยสรุปเป็นข้อดังนี้

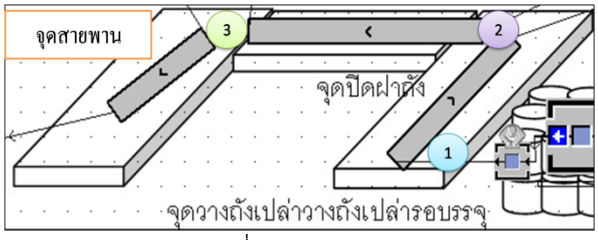
1). ใช้สายพานในการเคลื่อนถังบรรจุสารเคมี โดยการออกแบบจะเป็นลักษณะรูปตัวยู โดยแบ่งออกเป็น 3 จุดสานพาน โดยความยาวสายพานรวม 15 เมตร โดยแบ่งเป็นจุด จุดละ 5 เมตร ความเร็วสายพาน 1 เมตร/วินาที เพื่อลดการเคลื่อนไหวของพนักงานทำให้การทำงานเกิดการไหลมากยิ่งขึ้น

2). เปลี่ยนที่ในการวางถังเปล่าก่อนนำมาบรรจุสารแอมโมเนีย โดยการให้ลูกค้านำถังเปล่าวางไว้พื้นที่ที่จุดสายพานที่ 1

3). ถอดตาชั่งในขั้นตอนบรรจุสารแอมโมเนียออก โดยการปรับหัวจ่ายให้เป็นปุ่มกดอัตโนมัติ เวลาในการทำงาน 15 วินาที/ถัง จุดสายพานที่ 2

4). เตรียมฝาพลาสติกสีขาวและฝาเกลียวสีแดงไปพื้นที่จุดสายพานที่ 3 ทำการรวมขั้นตอนการปิดฝาทั้งสองฝาเข้าด้วยกัน

5). ลดเวลาให้การจัดเรียงถังเปล่าโดยให้ลูกค้าเป็นคนขึ้นสินค้าทันทีหลังจากผ่านจุดสายพานที่ 3



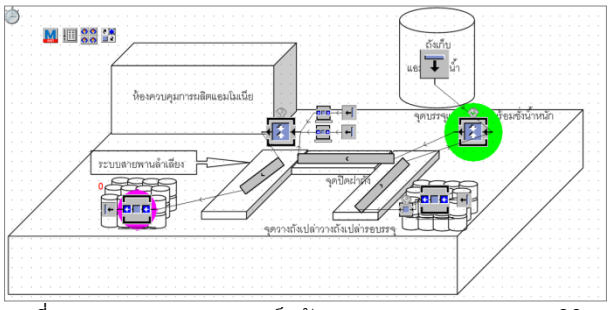
รูปที่ 14 จุดสายพาน

6). ลดกระบวนการทำงานจาก 7 ขั้นตอน เหลือ 3 ขั้นตอน โดยลดพนักงานในการทำงานจาก 5 คน เหลือ 3 คน โดยมีการวางตำแหน่งการทำงานเป็น 3 จุด ตามจุดสายพาน

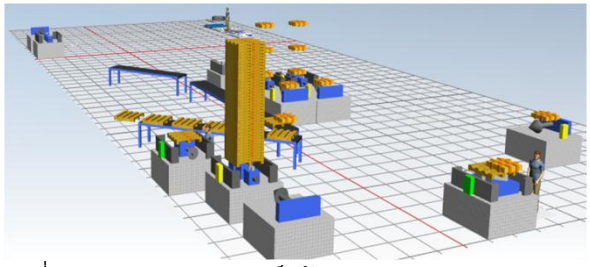
- จุดสายพานที่ 1 พนักงาน A ทำหน้าที่หยิบถังเปล่ามาวางไว้จุดสายพานที่ 1
- จุดสายพานที่ 2 พนักงาน B ทำหน้าที่บรรจุสารแอมโมเนียลงในถังสารเคมี โดยมีการปรับปรุงหัวจ่ายสารแอมโมเนีย
- จุดสายพานที่ 3 พนักงาน C ทำหน้าที่ปิดฝาพลาสติกและปิดฝาสีแดง

2.4 ปรับปรุงกระบวนการบรรจุสารแอมโมเนียโดยการจำลองสถานการณ์โดยโปรแกรม Plant Simulation

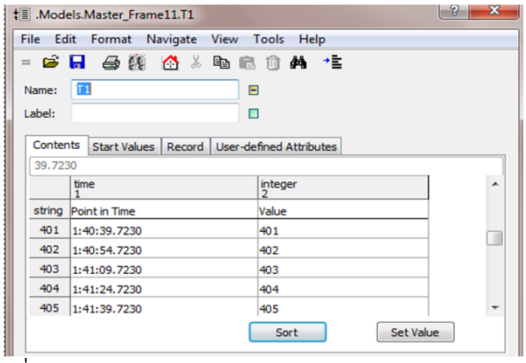
ทำการจำลองสถานการณ์หลังจากการระดมสมอง กำหนดเวลาทำงานวันละ 4 ชม.



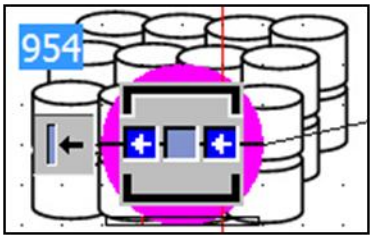
รูปที่ 15 การจำลองสถานการณ์หลังจากการระดมสมองแบบ 2 มิติ



รูปที่ 16 การจำลองสถานการณ์หลังจากการระดมสมองแบบ 3 มิติ



รูปที่ 17 แสดงผลการ Run Simulation หลังจากการระดมสมอง (ช่วงเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อถังสารแอมโมเนีย)



รูปที่ 18 แสดงผลการ Run Simulation หลังจากการระดมสมอง (ความสามารถในการผลิตในช่วงเวลา 4 ชม.)

ผลการจำลองจำลองสถานการณ์หลังจากการปรับปรุงโดยโปรแกรม Plant Simulation

1). ความสามารถในการผลิต ในเวลา 4 ชม. เท่ากับ 954 ถัง

2). Takt time ในการผลิตอยู่ที่ 15 วินาที/ถัง ซึ่ง ตัวกำหนดจังหวะการผลิตอยู่ที่ขั้นตอนบรรจุแอมโมเนียใส่ถัง

3). ใช้พนักงานในการผลิต 3 คน

3. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม Plant Simulation หลังปรับปรุง ความสามารถในกระบวนการบรรจุสารแอมโมเนีย 4 ชม. ได้ 954 ถัง และมี Takt time 15 วินาที/ถัง และใช้พนักงานในการทำงานเพียง 3 คน จากเดิมที่บรรจุสารแอมโมเนีย 4 ชม. ได้ 661 ถัง Takt time 21.59 วินาที/ถัง และใช้พนักงานถึง 5 คน

ตารางที่ 2 ตารางสรุปผลการดำเนินงานวิจัย

	ก่อนปรับปรุงกระบวนการ	หลังปรับปรุงกระบวนการ
ความสามารถในการผลิต 4 ชม. (ถัง)	661	954
Takt Time (วินาที/ถัง)	21.59	15
จำนวนพนักงาน	5	3

4. ข้อเสนอแนะงานวิจัย

ควรเพิ่มการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนถ้ามีการลงทุนใช้

สายพานในการลำเลียงถังบรรจุสารเคมี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัวของคณะผู้วิจัยที่เป็นกำลังใจ และเป็นแรงผลักดันอันสำคัญ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ และขอขอบคุณ Material Automation (Thailand) Co.,Ltd. ที่ให้การสนับสนุนในการใช้โปรแกรม Plant Simulation

เอกสารอ้างอิง

[1] สมศักดิ์ ตรีสัตย์. 2555. การออกแบบและวางผังโรงงาน. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

[2] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. 2552. การศึกษางานอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์ท้อป, กรุงเทพฯ

[3] Abdullah, Fawaz. Lean manufacturing tools and techniques in the process industry with a focus on steel. Ph.D.Dissertation School of Engineering Faculty of Engineering University of Pittsburgh (2003)

[4] Steffen Bangsow, Manufacturing Simulation with Plant Simulation and Simtalk (2010)

การออกแบบและพัฒนาชุดเก็บขยะสำหรับหุ่นยนต์เก็บขยะบนผิวน้ำ

Design and Development of the Waste Collector for a Surface Robot Cleaner

มณเฑียร เลี้ยงล่ำ* นิรมล เรืองพยุงศักดิ์ อมรพันธุ์ พันธุ์โอภาส
ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
กรุงเทพมหานคร 10800 E-mail: monthian97@gmail.com*

Monthian Leanglum*, Niramon Ruangpayoongsak, Amornphun Phunopas
Department of Production Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800
E-mail: monthian97@gmail.com*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการเก็บขยะบนผิวน้ำยังคงใช้แรงงานคนในการเก็บขยะโดยใช้เรือที่มีขนาดใหญ่และสวิง เนื่องจากท่าทางในการเคลื่อนไหวทำให้เกิดความเมื่อยล้า คลองที่มีพื้นที่แคบทำให้เรือไม่สามารถเข้าถึง และขยะเป็นพิษเป็นอันตรายต่อมนุษย์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เพื่อเก็บขยะที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ ซึ่งสามารถเก็บขยะประเภทขวดพลาสติก ถุงพลาสติก เศษโฟม เศษกิ่งไม้ หุ่นยนต์มีขนาด 1x2x1 เมตร ควบคุมการทำงานผ่านระบบไร้สาย ขับเคลื่อนด้วยใบพัดบำบัดน้ำเสียและควบคุมทิศทางด้วยหางเสือ ประกอบด้วยชุดเก็บขยะ 2 ชุดคือด้านหน้าและด้านข้าง ชุดเก็บขยะด้านหน้ามีลักษณะเป็นอุปกรณ์ลำเลียงแบบครีบกวาด ส่วนชุดเก็บขยะด้านข้างเป็นตะกร้ายกขึ้น จากการทดสอบการเก็บขยะพบปัญหาของชุดเก็บขยะด้านหน้า จึงได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา กำหนดความต้องการในการใช้งานชุดเก็บขยะด้านหน้า จากนั้นใช้ หลักการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) และแผนผังการวิเคราะห์หน้าที่ (FAD) ร่วมกับทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐกรรม (TRIZ) เพื่อสรุปหลักการในการปรับปรุงที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของชุดเก็บขยะด้านหน้า กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาที่ได้นำเสนอในบทความนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้

คำหลัก หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนผิวน้ำ แผนภูมิก้างปลา การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ แผนผังการวิเคราะห์หน้าที่ ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐกรรม

Abstract

At the present, floating wastes are collected by human using large boat and dip net. Due to posture of motion causing fatigue, narrow canal unreachable by the boat and harmful poison waste, this research is aimed to design and build a robot for collecting floating wastes capable of collecting waste such as plastic bottles, plastic bags, leftovers foams and small tree branches. The robot size is 1x2x1 meter controlled via wireless communication, driven by paddle wheels and a rudder, consisting of two waste collectors; in the front and on both sides. The front waste collector is a flight conveyor and the side waste collector is a lifting basket. After waste collection test, it is found that the flight conveyor must be improved. The problem analysis starts from creating a Fishbone Diagram and listing user requirement for the front waste collector. After that

the Quality Function Deployment (QFD) and the Function Analysis Diagram (FAD) together with the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) are applied for conclusion of improvement that will increase performance of the front waste collector. Furthermore, the problem analysis proposed in this paper can also be applied for design and development of similar products.

Keywords: Surface Robot, Fishbone Diagram, Quality Function Deployment (QFD), Function Analysis Diagram (FAD), Theory of Inventive problem Solving (TRIZ).

1.บทนำ

ปัจจุบันวิทยาการก้าวหน้า ประชากรเพิ่มอย่างรวดเร็ว อัตราการใช้ที่ดินเพิ่มขึ้นเพื่อผลิตเครื่องอุปโภคบริโภค อาหาร ที่อยู่อาศัย เป็นเหตุให้เศษสิ่งเหลือใช้มีปริมาณมากขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาของขยะมูลฝอยปัญหาที่สำคัญของชุมชนซึ่งต้องจัดการและแก้ไข ปัญหาขยะทางแหล่งน้ำเองก็มีอัตราเพิ่มสูงขึ้น ทางสำนักงานสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานครที่รับผิดชอบในการแก้ไขกำจัดขยะ โดยการใช้แรงงานคนใช้สวิงตักขยะจากน้ำขึ้นมาเก็บไว้บนเรือซึ่งเสีย เวลา และแรงงานมาก อีกทั้งแหล่งน้ำหรือคลองบางแห่งมีลักษณะแคบยากต่อการนำเรือเข้าไปเก็บขยะ ขยะบางชนิดเองเป็นขยะที่อันตราย เช่น สารเคมี กระป๋องยาฆ่าแมลง เป็นต้น ซึ่งเป็นอันตรายกับคนเก็บขยะโดยตรง

ดังนั้นปัญหาเรื่องขยะตามแหล่งน้ำในกรุงเทพมหานคร สามารถแก้ไขด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยการประดิษฐ์หุ่นยนต์ให้สามารถเก็บขยะแทนมนุษย์ เพื่อลดความเสี่ยงอันตรายต่อเชื้อโรคและสารพิษต่างๆ ลดระยะเวลาในการทำงานให้สั้นลง ให้มีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่เข้าถึงลำคลองที่แคบได้ และมีราคาประหยัด งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ให้มีประสิทธิภาพในการเก็บขยะที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ และได้นำหลักการการวิเคราะห์ต่างๆมา ที่ประสบความสำเร็จในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์มาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาเพื่อพัฒนาชุดเก็บขยะให้มีประสิทธิภาพ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) [1] และทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐกรรม (TRIZ) [2] ได้ถูกนำมาใช้แก้ไขปัญหาในการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นภิสพร, พีรยุ และวรรณรัช [3] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ QFD เพื่อค้นหาคุณลักษณะผลิตภัณฑ์สำหรับการออกแบบอุปกรณ์เฝ้าระวังผู้ป่วย โดยใช้ QFD ในการออกแบบอุปกรณ์สำหรับการเฝ้าระวังผู้ป่วย ซึ่งงานวิจัยมีเป้าหมายในการออกแบบอุปกรณ์ให้มีรูปร่างและลักษณะการใช้งานที่ตรงต่อความต้องการของผู้ใช้งานการดำเนินงานวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูล เก็บข้อมูล ศึกษาความต้องการ ข้อผู้ใช้งานและทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค QFD โดยแยกออกเป็น 2 เมทริกซ์ คือ เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์และเมทริกซ์การออกแบบชิ้นส่วน ผลที่ได้จากการดำเนินงานวิจัยแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD คือ ข้อกำหนดคุณลักษณะของชิ้นส่วนซึ่งสามารถนำไปออกแบบอุปกรณ์ให้มีรูปร่างและการใช้งานที่ตรงกับความต้องการและถูกต้องต่อวิธีการพยาบาลผู้ป่วยในปัจจุบัน

ชาญณรงค์ และสุเทพ [4] นำเสนอการการออกแบบพัฒนาเครื่องเคลือบและขัดเงาเม็ดดินส่งกระสุน แบบเอ็ม 855 เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของพลังงานในการขับเคลื่อนหัวกระสุน และป้องกันการระเบิดในอาวุธยุทโธปกรณ์ โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพเพื่อสิ่งแวดล้อมเชื่อมโยงกับทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น ในการออกแบบเครื่อง และหาความปลอดภัยของเครื่องด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการยิงทดสอบได้ตามมาตรฐานของยูเอสและมาตรฐานนาโต้ เครื่องใช้งานได้อย่างปลอดภัยไม่มีการระเบิดขณะทำงาน ที่สำคัญสามารถลดต้นทุนในการวิจัย และเครื่องสามารถพัฒนาคุณภาพเม็ดดินส่งกระสุนแบบต่างๆได้

3.วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดขอบเขตให้หุ่นยนต์สามารถเก็บขยะบนผิวน้ำในลำคลอง โดยการควบคุมระยะไกลผ่านระบบไร้สาย ซึ่งจากการสำรวจพบว่าขยะที่พบได้บ่อยตามผิวน้ำในคลอง ได้แก่ ขวดพลาสติก ถุงพลาสติก เศษโฟม เศษกิ่งไม้ วิธีการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 1

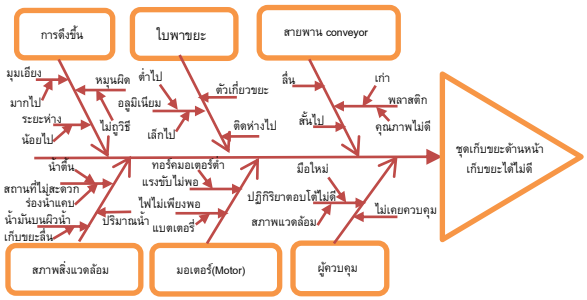
หุ่นยนต์ต้นแบบมีระบบขับเคลื่อนด้วยใบพัดบำบัดน้ำเสียและควบคุมทิศทางด้วยหางเสือ มีชุดเก็บขยะด้านหน้าและด้านข้าง ชุดเก็บขยะด้านหน้ามีลักษณะเป็นอุปกรณ์ลำเลียงแบบครีบกวาดเพื่อเก็บขยะด้านหน้า ส่วนชุดเก็บขยะด้านข้างเป็นตะกร้ายกขึ้น เพื่อช้อนขยะข้างลำตัวซ้ายและขวา ลงในตะกร้าซึ่งอยู่ตรงกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 1 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานงานวิจัย

3.1 วิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา

จากการทดสอบเก็บขวดน้ำพลาสติกในที่แคบ พบปัญหาชุดเก็บขยะด้านหน้า ทำงานได้ต่ำกว่าเป้าหมายที่คาดการณ์ไว้ จึงได้วิเคราะห์ปัญหาและปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของชุดเก็บขยะด้านหน้า โดยใช้แผนภูมิกางปลา (Fishbone Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นจึงได้ทำการกำหนดความต้องการในการใช้งานชุดเก็บขยะด้านหน้า (Requirement list) โดยต้องการให้ชุดเก็บขยะด้านหน้าสามารถเก็บขยะแบบโค้งมน และแบบเป็นแผ่นได้ ขยะต้องไม่หล่นจากสายพานก่อนลงตะกร้า ปริมาณขยะที่เก็บได้ต้องเพิ่มขึ้น และต้นแบบมีราคาถูก สาเหตุของปัญหาและความต้องการที่กำหนดขึ้นดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์หาชิ้นส่วน ที่มีผล กระทบต่อประสิทธิภาพของชุดเก็บด้านหน้า ในขั้นตอนต่อไป

รูปที่ 2 ต้นแบบหุ่นยนต์เก็บขยะ



รูปที่ 3 การวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิกางปลา (Fishbone Diagram)

3.2 การวิเคราะห์หาชิ้นส่วนที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพด้วย QFD

การวิเคราะห์ QFD ได้เริ่มจากการสร้างตาราง QFD Phase I, II และ III ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลจากความต้องการในการสร้างชุดเก็บขยะด้านหน้า มาพิจารณาพบว่า สิ่งที่มีผลการะทบต่อระบบของชุดเก็บขยะด้านหน้า ได้แก่ ประสิทธิภาพ ความสะดวก และความปลอดภัย ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 QFD Phase I

		Technical Requirement	วัสดุ							ประสิทธิภาพ							เศรษฐศาสตร์	
			น้ำหนัก	จำนวนชิ้นส่วน	จำนวนชนิดของวัสดุ	มีความทนทานต่อสนิม	อายุการใช้งาน	ทนต่อน้ำ	แข็งแรง	เก็บขยะแบบโค้งมน	เก็บขยะแบบแผ่น	พลังงานที่ใช้	การปรับมุมเอียง	การปรับความสูง	การปรับความเร็วสายพาน	ปริมาณขยะที่เก็บ	ราคาของวัสดุ	วัสดุมีความเหมาะสมกับงาน
Requirement list		IMP																
ประสิทธิภาพ	เก็บขยะแบบโค้งมนได้	**9**							3	9		1	3	3	3	9	1	3
	เก็บขยะแบบได้แผ่น	**9**							3		9	1	3	3	3	9	1	3
	ขยะไม่หล่นจากสายพาน	**9**							3	3	3		9	9	9	3		
	เก็บขยะได้ปริมาณเพิ่มขึ้น	**9**							1	3	3	3	3	1	9	9	9	3
ความสะดวก	ทำความสะอาดง่าย	**1**		3	1	3				1	1							1
	ซ่อมบำรุงรักษาง่าย	**1**	3	9		1	3			3	3	1		1			3	3
	ความง่ายในการติดตั้ง	**1**		3	3				3	1	1		3		1		3	9
	ง่ายต่อการขนย้าย	**1**	9							1	1					3		3
ความปลอดภัย	ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม	**1**			1			3				3					3	3
	ไม่เกิดการรั่วของกระแสไฟฟ้า	**3**			3			1				9					3	1
ระดับน้ำหนัก (Raw Score)			12	15	14	4	3	6	93	141	141	76	165	145	217	273	117	99
ระดับความสำคัญ (%Relsative)			0.79	0.99	0.92	0.26	0.2	0.4	6.11	9.27	9.27	5	10.85	9.53	14.27	17.94	7.69	6.5
ลำดับ (Rank)			13	11	12	15	16	14	9	5	6	10	3	4	2	1	7	8

เมื่อสร้างตารางเมทริกซ์ QFD Phase I และหาคะแนนความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการ กับข้อมูลลักษณะทางเทคนิค(Technical Requirement) ซึ่งได้แก่ วัสดุ ประสิทธิภาพและเศรษฐศาสตร์ จากนั้นคำนวณระดับน้ำหนัก ระดับความสำคัญ และลำดับได้ถูกนำไปใช้สร้างตาราง QFD Phase II ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 QFD Phase II

	Phase I relative weights	Effect factor of the part							
		ความตึงของสายพาน (Belt)	ความยางของสายพาน (Belt)	ความยาวของใบพาขยะ	ความกว้างของใบพาขยะ	มุมเอียงของ (Belt)	ความกว้างของชุดเก็บขยะด้านหน้า	แรงบิดมอเตอร์	พลังงานแบตเตอรี่
Technical Requirement	IMP								
1.ปริมานขยะที่เก็บ	17.94	9	3	9	9	9	9	3	9
2.การปรับความเร็วสายพาน	14.27	9	9	3	9	3	1	9	9
3.การปรับมุมเอียง	10.85	9	9	3	3	9	3	1	1
4.การปรับความสูง	9.53	9	9	1	1	9	3	1	1
5.เก็บขยะแบบโค้งมน	9.27	3	3	9	9	3			
6.เก็บขยะแบบแผ่น	9.27	3	3	9	9	3			
7.ราคาของวัสดุ	7.69	3	3	3	3				3
8.วัสดุมีความเหมาะสมกับงาน	6.5	1	1	3	3	1	3		3
9.แข็งแรง	6.11			3	3	1	3	1	
10.พลังงานที่ใช้	5		1				1	9	9
11.จำนวนชิ้นส่วน	0.99			1	1		1		1
12.จำนวนชนิดของวัสดุ	0.92	1	1	1	1				1
13.น้ำหนัก	0.79	3	3	3	3		3		3
14.ทนต่อน้ำ	0.4	1		1	1			3	1
15.มีความทนทานต่อสนิม	0.26			1	1				1
16.อายุการใช้งาน	0.2		1	1	1				3
ระดับน้ำหนัก (Raw Score)		557.5	454.6	464.8	550.4	451.2	283.1	254.9	403.1
ระดับความสำคัญ (%Relative)		16.3	13.29	13.59	16.1	13.19	8.278	7.455	11.79
ลำดับ (Rank)		1	4	3	2	5	7	8	6

ตารางเมทริกซ์ QFD Phase II แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลลักษณะทางเทคนิค กับปัจจัยที่มีผลกระทบกับชิ้นงาน (Effect factor of the part) ซึ่งเป็นผลที่วิเคราะห์ได้จากแผนภูมิก้างปลาข้างต้น ทำให้ทราบว่าปัจจัยใดมีผลกระทบมากที่สุดต่อประสิทธิภาพของชุดเก็บขยะ

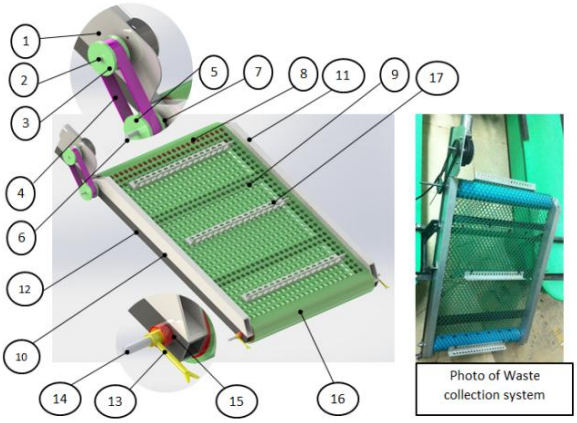
เมื่อแจกแจงส่วนประกอบของชุดเก็บขยะด้านหน้าพร้อมทั้งวิเคราะห์หน้าที่ (Function analysis) ของชิ้นส่วนดังแสดงในรูปที่ 4 แล้ว นำมาสร้างตาราง QFD Phase III ได้ดังแสดงในตารางที่ 3

ตาราง QFD Phase III แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลกระทบกับชิ้นงาน กับชิ้นส่วนที่เป็นองค์ประกอบของชุดเก็บขยะ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระดับความสำคัญแล้ว พบว่าสิ่งที่ต้องคำนึงถึงและต้องปรับปรุงก่อน ได้แก่

1. ใบพาขยะ ซึ่งมีคะแนนน้ำหนักความสัมพันธ์ 24.87%

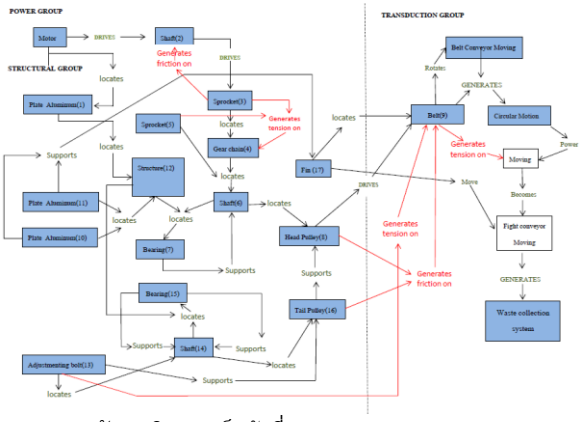
2. สายพาน ซึ่งมีคะแนนน้ำหนักความสัมพันธ์ 22.93%

นอกจากนี้ ที่หลังคาของบ้าน ในตารางที่ 3 ยังแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกและเชิงลบของชิ้นส่วนที่สนใจ ดังนี้



ก) ส่วนประกอบหลักของชุดเก็บขยะด้านหน้า

1.แผ่นอลูมิเนียม 2.เพลา
3.เฟืองโซ่ 4.โซ่
5.เฟืองโซ่ 6.เพลา
7.ลูกปืน 8.มู่เลย์ตัวขับ
9.สายพาน 10.แผ่นอลูมิเนียม
11.แผ่นอลูมิเนียม 12.โครงสร้าง
13.หางปลา 14.เพลา
15.ลูกปืน 16.มู่เลย์ตัวตาม
17.ใบพาขยะ



ข) แผนผังการวิเคราะห์หน้าที่ (Function Analysis Diagram)

รูปที่ 4 ชุดเก็บขยะด้านหน้า

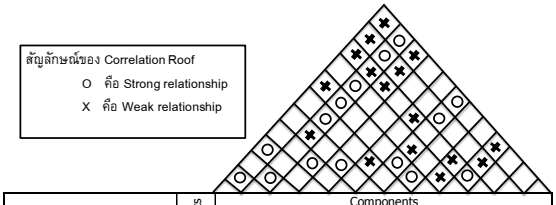
1. การเปลี่ยนแปลงใบพาขยะ จะขัดแย้งกับเฟืองโซ่ หางปลา โซ่ เพลา และมอเตอร์

2. การเปลี่ยนแปลงสายพาน จะขัดแย้งกับ มู่เลย์ตัวขับ มู่เลย์ตัวตาม หางปลา และโครงสร้าง

3.3 การวิเคราะห์การแก้ปัญหาเชิงประดิษฐกรรม (TRIZ)

การประยุกต์ใช้ตารางเมทริกซ์ความขัดแย้งทางเทคนิค 39 ข้อ สำหรับการออกแบบใบพาขยะและสายพาน ดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 QFD Phase III



	Phase II relative weights	Components											
		มอเตอร์(Motor)	เพลา(Shaft)	เฟืองโซ่(Sprocket)	แผ่นอลูมิเนียม (Plate Aluminum)	โซ่(Gear chain)	โครงสร้าง(Structure)	ลูกปืน(Bearing)	หางปลา(Adjustmenting bolt)	สายพาน(Belt)	ใบพาขยะ (Fin)	มู่เลย์ตัวขับ(Head Pulley)	มู่เลย์ตัวตาม(Tail Pulley)
Effect factor of the part	IMP												
1.ความลื่นของสายพาน (Belt)	16.3							1	3	9	3	3	3
2.ความกว้างของใบพาขยะ (Fin)	16.1						3				9		
3.ความยาวของใบพาขยะ (Fin)	13.59										9		
4.ความยางของสายพาน (Belt)	13.25						9		3	9	3	3	3
5.มุมเอียงของ (Belt)	13.19			1			3			9	9	3	3
6.พลังงานเบตเตอรี่	11.79	9				1	3			3			
7.ความกว้างของชุดเก็บขยะด้านหน้า	8.28		9				3		1	3	3	3	3
8.แรงขับมอตเตอร์	7.46	9	3		1	3		3		3	1	3	1
ระดับน้ำหนัก (Raw Score)		173.3	96.9	13.19	7.46	34.17	267.3	38.68	96.93	467.3	506.9	175.4	160.5
ระดับความสำคัญ (%Relative)		8.501	4.755	0.647	0.366	1.677	13.12	1.898	4.756	22.93	24.87	8.608	7.876
ลำดับ (Rank)		5	8	11	12	10	3	9	7	2	1	4	6

ในตารางที่ 4 ลักษณะสมบัติที่ด้อยลงของใบพาขยะ ได้แก่ รูปร่าง เพราะว่าใบพาขยะจะต้องเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป ซึ่งเป็นเทคนิคข้อที่ 12 และเนื่องจากความขัดแย้งของใบพาขยะกับชิ้นส่วนต่างๆ ที่ได้กล่าวไปแล้ว จึงได้ระบุความขัดแย้ง ระหว่างรูปร่าง กับ ความตึง/แรงดัน ความเร็ว แรง ความแข็งแรง และกำลัง

จากหลักการแก้ปัญหาของ TRIZ ส่วนใหญ่เป็นแนวทางข้อ 35 และข้อ 15 ซึ่งได้แก่ การเปลี่ยนสภาพของกายภาพหรือเคมี และการใช้หลักไดนามิกส์ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ความขัดแย้งในการเปลี่ยนแปลงใบพาขยะและหลักการแก้ปัญหาของ TRIZ

Phase III Components	QFD กับ TRIZ	ตาราง เมทริกซ์ ความขัดแย้งทาง เทคนิคของ TRIZ สิ่งที่ต้องปรับปรุง		ลักษณะสมบัติด้อยลงคือรูปร่าง	หลักการต่างๆ จากเครื่องมือ TRIZ นำมาแก้ปัญหา			
หางปลา	⇔	ความตึง แรงดัน(11)	เกิดความขัดแย้งทางเทคนิค	12	35	4	15	10
โซ่	⇔	ความเร็ว (9)		12	35	15	34	8
เฟืองโซ่	⇔	แรง (10)		12	13	28	15	12
เพลา	⇔	ความ แข็งแรง (14)		12	10	30	35	40
มอเตอร์	⇔	กำลัง (21)		12	29	14	2	40

ตารางที่ 5 ความขัดแย้งในการเปลี่ยนแปลงสายพานและหลักการแก้ปัญหาของ TRIZ

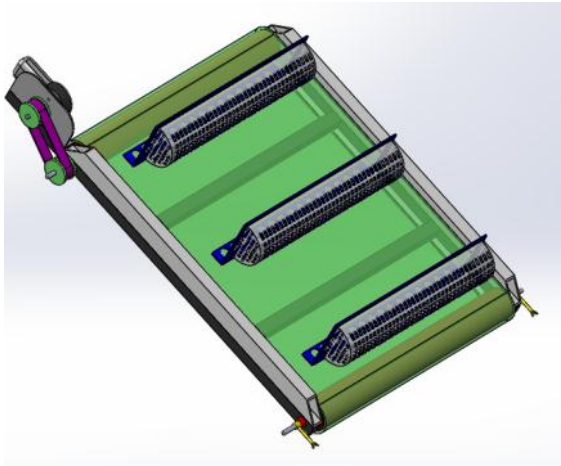
Phase III Components	QFD กับ TRIZ	ตาราง เมทริกซ์ ความขัดแย้งทาง เทคนิคของ TRIZ สิ่งที่ต้องปรับปรุง		ลักษณะสมบัติที่ด้อยลงคือพื้นที่ของวัตถุเคลื่อนที่	หลักการต่างๆ จากเครื่องมือ TRIZ นำมาแก้ปัญหา			
มู่เลย์ตัวขับ	⇔	ความยาวของ วัตถุที่เคลื่อนที่ (3)	เกิดความขัดแย้งทางเทคนิค	5	15	17	4	
มู่เลย์ตัวตาม	⇔	ความยาวของ วัตถุที่เคลื่อนที่ (3)		5	15	17	4	
หางปลา	⇔	ความตึง แรงดัน (11)		5	10	15	35	37
โครงสร้าง	⇔	รูปร่าง (12)		5				

ในตารางที่ 5 ลักษณะสมบัติที่ด้อยลงของสายพานได้แก่ พื้นที่ของวัตถุที่เคลื่อนที่ ซึ่งขัดแย้งกับความยาวของวัตถุที่เคลื่อนที่ ความตึง/แรงดัน และรูปร่าง ซึ่งจากหลักการแก้ปัญหาของ TRIZ ส่วนใหญ่เป็นแนวทางข้อข้อ 15 ได้แก่ การใช้หลักไดนามิกส์

4.สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์การออกแบบชุดเก็บขยะด้านหน้าของหุ่นยนต์เก็บขยะในน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บขยะของหุ่นยนต์เป็นหลัก โดยใช้แผนภูมิก้างปลา แผนผังการวิเคราะห์หน้าที่ร่วมกับวิธีการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ มาแก้ไขปัญหาการออกแบบ โดยผลการวิการวิเคราะห์ พบว่า สิ่งที่ต้องคำนึงถึงและต้องปรับปรุงเป็นอันดับแรกคือ ใบพาขยะและ สายพาน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนเหล่านี้จะมีความขัดแย้งกับชิ้นส่วนอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบของชุดเก็บขยะด้านหน้า ผลจากการใช้ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐกรรม ซึ่งนำมาช่วยแก้ไขความขัดแย้งทำให้ได้ข้อสรุปในการปรับปรุงชิ้นส่วน สิ่งที่ต้องปรับปรุง ได้แก่ การทำให้ใบพาขยะมีความยืดหยุ่นและเพิ่มองศาความยืดหยุ่น โดยใช้ตาข่ายจับปลาติดกับโครงสร้างรูปทรงกระบอกผ่าครึ่งและทำให้สายพานมีความยืดหยุ่นโดยการเปลี่ยนวัสดุสายพานจากตะแกรงพลาสติกเป็นแผ่นยางแทน ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 ชุดเก็บขยะด้านหน้าหลังปรับปรุงใบพาขยะและสายพาน



เอกสารอ้างอิง

[1] มณฑลี ศาสนนันทน์, การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อการสร้างสรรค์นวัตกรรมและวิศวกรรมย้อนรอย ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,พิมพ์ครั้งที่ 2, 2550

[2] ไตรสิทธิ์ เบญจบุณยสิทธิ์, การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์โดย TRIZ, กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 2550

[3] ชาญณรงค์ ตระกูลสรณคมน์, สุเทพ บุตรดี, การออกแบบและพัฒนาเครื่องเคลือบและ ขัดเงาเม็ดดินส่งกระสุน แบบเอ็ม 855, วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, ปีที่ 2 ฉบับที่ 2, 2553

[4] นภิสพร มีมงคล, พีรยุ จันทร์ส่อง, วรรณรัช สันติอมรทัต, การประยุกต์ใช้ QFD เพื่อค้นหาคุณลักษณะผลิตภัณฑ์สำหรับการออกแบบอุปกรณ์เฝ้าระวังผู้ป่วย, วารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น, ปีที่ 17 ฉบับที่ 4, 2555

กลุ่มที่ 8

Operations Management

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความแข็งแรงดึงของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304

Using Artificial Neural Network for Predicting Tensile Strength of AISI304 Stainless Steel

เฉลิมพล คล้ายนิล[1*] พงศกร หลีตระกูล[2] และจิณกมล ลุยจันทร์[3]
[1,2,3] สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
E-mail: chalermpol1@hotmail.com[*]

Chalermpol Klaynil[1*] Pongsakorn Leetrakul[2] Jinkamon Luijan[3]
[1,2,3] Department of Production Engineering Technology, Faculty of Industrial and Technology
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Huahin, Prachuapkhirikhan, 77110
E-mail: chalermpol1@hotmail.com[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาค่าความแข็งแรงดึงของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 กำหนดให้ความเร็วในการทดสอบแตกต่างกัน 4 ระดับ และชิ้นงานทดสอบเตรียมให้มีศูนย์รวมความเค้นแตกต่างกัน 12 รูปแบบ ผ่านการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง Zwick รุ่น Z020 โดยใช้ตัวแปรที่ต้องการออกแบบเป็นตัวป้อนเข้าหรืออินพุท ได้แก่ศูนย์รวมความเค้นรูปแบบต่างๆ ขนาดของรูเจาะ และความเร็วในการทดสอบ ส่วนเอาท์พุทหรือคำตอบที่ต้องการได้แก่ค่าความแข็งแรงดึง โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ ในการทำนายค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ผลการทดลองพบว่าชิ้นทดสอบที่สามารถรับแรงดึงได้สูงสุดคือชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์ ∅ 1 mm. ส่วนชิ้นทดสอบที่รับแรงดึงได้น้อยสุดคือ ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์ ∅ 3 mm. และผลการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความแข็งแรงดึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 พบว่าสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ โดยค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการฝึกสอนอยู่ที่ 1.63% และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการทำนายค่าความแข็งแรงดึงอยู่ที่ 1.15% ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการทดลองลง และสามารถทำนายค่าที่ยังไม่ได้มีการทดลองได้อย่างถูกต้อง

คำหลัก เหล็กกล้าไร้สนิม / ศูนย์รวมความเค้น / ความแข็งแรงดึง / โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

The objective of this research is to study the ultimate tensile strength of AISI 304 stainless steel. The test speed is identified into 4 difference levels and 12 difference forms of stress concentration which are tested by tensile testing machine, Zwick (Z020). Back-propagation artificial neural network is used to predict the error. The result of the experiment finds that the specimen that able to stand the highest tensile member is the specimen with single hole which the diameter of its hole is 1 mm. The specimen with offset hole is the specimen that able to stand the lowest tensile member, which the diameter of its hole is 3 mm. From using artificial neural network for predicting the ultimate tensile strength of AISI304 finds that it can predict properly which the average training error is 1.63% and the average error of the

predicted tensile strength is 1.15% that can reduce the experiment time and able to predict the untested experiment correctly.

Keywords: Stainless steel / Stress concentration / Ultimate tensile strength / Artificial neural network

1. บทนำ

โครงสร้างและชิ้นส่วนต่างๆ ในทางวิศวกรรม ที่ประยุกต์ไปใช้งานจำเป็นต้องเจาะรู ทำร่อง ทำบ่าเพื่อใช้ประโยชน์ เช่นการสวมสลักหรือสกรูเพื่อจับยึด ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นสาเหตุของจุดรวมความเค้น (Stress Concentration) เมื่อได้รับภาระที่กระทำภายใต้แรงดึงจะส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงของชิ้นส่วนที่ลดลง และเป็นสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งในปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) สามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เพราะมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ชิ้นส่วนไฟฟ้า และอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอาหาร เป็นต้น โดยก่อนที่จะได้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปในการนำไปใช้งานนั้น กระบวนการที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกลด้านต่างๆ ที่เหมาะสม และต้องรับต่อภาระกรรม (Load) ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัย และความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Model) ในการทำนายผลค่าความแข็งแรงดึงของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 โดยมุ่งเน้นศึกษาความสัมพันธ์ของศูนย์รวมความเค้นกับความแข็งแรงดึงของชิ้นทดสอบ ซึ่งชิ้นทดสอบผ่านการเตรียมให้มีจุดรวมความเค้นที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน ว่ามีผลกระทบต่อความแข็งแรงอย่างไร โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดแรกใช้เพื่อการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม และชุดสองใช้เพื่อทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมว่าสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำมากเท่าไร เพื่อจะได้ปรับเปลี่ยนค่าของการฝึกหัดทำให้การทำนายผลมีความแม่นยำมากขึ้นหรืออยู่ในช่วงความผิดพลาดที่ยอมรับได้ การทำนายผลของโครงข่ายประสาทเทียมในการทดลองมีวัตถุประสงค์หลักๆ คือเป็นเครื่องมือช่วยวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานทดสอบ สามารถทำนายค่าความแข็งแรงดึงที่ยังไม่ได้มีการทดลองได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะทำให้สามารถวางแผนการทดลองได้อย่างเหมาะสม และลดเวลาในการทดสอบ วิเคราะห์ผลความผิดพลาดจากการทดลอง (Experiment) กับการทำนายผล (Prediction) ค่าความแข็งแรงดึงโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ด้วยโปรแกรม MATLAB โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายคุณสมบัติทางกล เช่น [1]-[6]

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความแข็งแรงดึงของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของศูนย์รวมความเค้นรูปแบบต่างๆ ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึง และขั้นตอนที่สองทำการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความแข็งแรงดึง แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดแรกใช้เพื่อการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม และชุดสองใช้เพื่อทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมว่าสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำมากเท่าไร

2.1 วิธีการทดลอง

1. ชิ้นทดสอบมาตรฐาน ASTM ที่ผ่านกระบวนการปั๊มขึ้นรูป และมีการปรับเปลี่ยนค่าความเร็วที่ใช้ทดสอบแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 110 mm/min, 160 mm/min, 210 mm/min และ 260 mm/min ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ Zwick รุ่น Z020 วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติคเกรด AISI304 (Austenitic stainless steel AISI304) เป็นแผ่นบางมีความหนา 1 มิลลิเมตร โดยมีขนาดความยาว (L_t) =200 มิลลิเมตร ความกว้าง (b)=12.5 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด (L_o)=50 มิลลิเมตร รัศมีของบ่า (R)=25 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM E8 และมีการเตรียมชิ้นทดสอบให้มีศูนย์รวมของความเค้นที่แตกต่างกัน 12 รูปแบบ ได้แก่ รูเดี่ยวตรงศูนย์ รูเดี่ยวเยื้องศูนย์ รูคู่

ตรงศูนย์ รูคู่เยื้องศูนย์ สามรูตรงศูนย์ สามรูเยื้องศูนย์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน คือขนาด Ø 1 มิลลิเมตร และขนาด Ø 3 มิลลิเมตร

2. การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ใช้โปรแกรม MATLAB อินพุทคือศูนย์รวมความเค้นรูปแบบต่างๆ ขนาดของรูเจาะ และความเร็วในการทดสอบ ส่วนเอาท์พุทคือค่าความแข็งแรงดึง

3. ทำการ SIMULINK เพื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดระหว่างเอาท์พุต และเอาท์พุตที่ได้จากการ SIMULINK จำนวน 96 ชุด

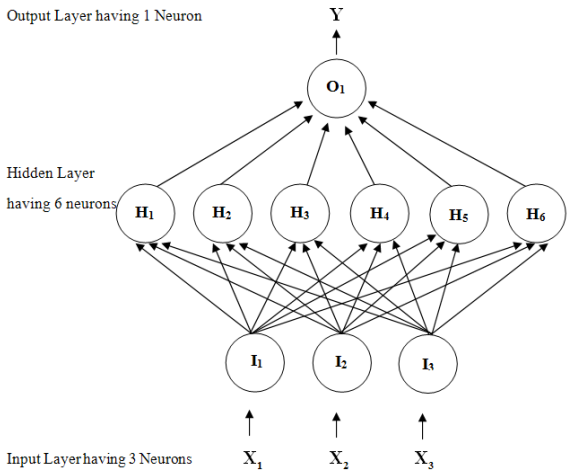
4. ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายผลค่าความแข็งแรงดึง โดยการป้อนอินพุตเข้าไปใหม่จำนวน 48 ชุด ที่ไม่ได้ทำทดลอง ทำการ SIMULINK เพื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดระหว่างเอาท์พุตที่ไม่ได้ทำการทดลอง และเอาท์พุตที่ได้จากการ SIMULINK

2.2 กำหนดเงื่อนไขการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

1. จำนวนโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

จุดที่มีผลต่อโครงข่ายประสาทเทียมอีกจุดหนึ่งคือจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการฝึกสอน และจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่มากไม่ได้เป็นตัวที่บอกว่าโครงข่ายประสาทเทียมจะมีประสิทธิภาพดี ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ เริ่มต้นที่ชั้นซ่อน 1 ชั้น จำนวนนิวรอนตั้งแต่ 2 นิวรอน ไปจนถึง 96 นิวรอน ดูผลการฝึกสอน ถ้าการฝึกสอนไม่สำเร็จจะเพิ่มชั้นซ่อนเป็น 2 ชั้น โดยกำหนดให้จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 มากกว่าจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 อยู่ 1 นิวรอน และเพิ่มไปทีละ 1 นิวรอน ไปจนถึงการฝึกสอนสำเร็จ และนำโครงสร้างต่ำสุดไปใช้งาน ค่าความผิดพลาดที่ใช้ฝึกหัด คือ 0.01

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมนั้นมีด้วยกันหลายแบบจำลอง และแบบจำลองที่ดีที่สุดเหมาะสมและได้รับความนิยมมากที่สุด คือแบบจำลองแบคโพรพาเกชัน (Backpropagation Model) [7] เนื่องจากว่าแบบจำลองแบคโพรพาเกชันไม่มีการเชื่อมโยงกันแบบย้อนกลับ (Feedback Connection) แต่อาศัยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งค่าความผิดพลาดนั้นคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยกำลังสองต่ำสุด (Least Mean Squared Error) ค่าความผิดพลาดเกิดจากการปรับค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งทำการปรับค่าจนกว่าค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการฝึกหัด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการฝึกหัด

ในงานวิจัยได้กำหนดอินพุทและเอาท์พุทที่ใช้ฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมดังนี้

X_1 = ศูนย์รวมความเค้นรูปแบบต่างๆ

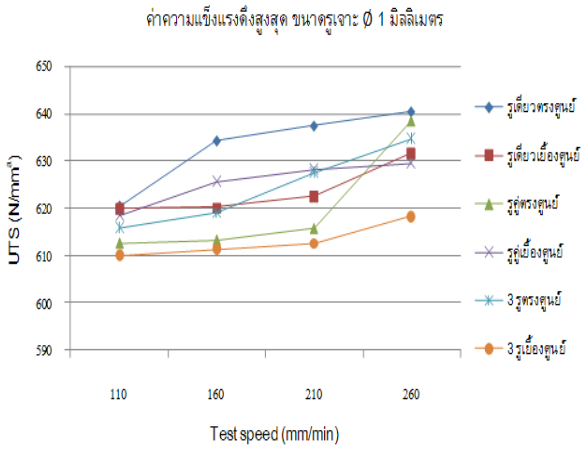
X_2 = ขนาดของรูเจาะ

X_3 = ความเร็วในการทดสอบ

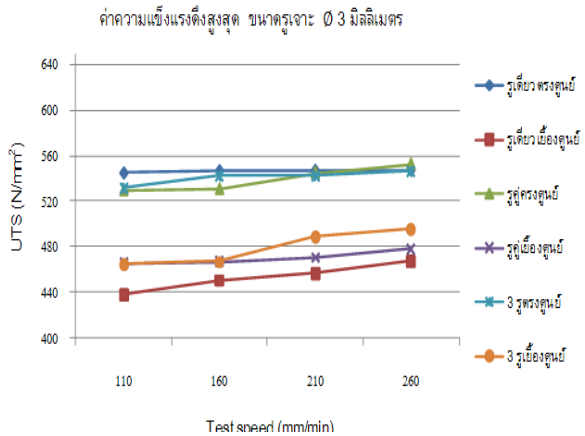
ส่วนเอาท์พุทเป็นผลกระทบของค่าตัวแปรในการทดลอง โดยค่าของเอาท์พุทมีทั้งหมด 1 ค่า ซึ่งค่าเอาท์พุทนี้มีโครงข่ายประสาทเทียมของแต่ละเอาท์พุทแต่มีโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมเหมือนกัน เอาท์พุทคือ Y= ค่าความแข็งแรงดึง เมื่อป้อนข้อมูลลงไปในส่วนของแบบจำลองแบคโพรพาเกชัน กำหนดหน่วยประสาทแต่ละชั้น กำหนดค่าความผิดพลาด และค่าการเรียนรู้ จากนั้นแบบจำลองแบคโพรพาเกชันจะทำการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมและถูกต้อง และแสดงผลของเอาท์พุทที่ได้รับการฝึกหัด ค่าน้ำหนักที่เหมาะสมและถูกต้องที่สุดนั้นเมื่อเสร็จสิ้นการฝึกหัดโปรแกรมจะทำการเก็บค่าถ่วงน้ำหนักไว้ใช้ต่อไป ส่วนระยะเวลาในการฝึกหัดจะขึ้นอยู่กับการตั้งค่าความผิดพลาด ค่าการเรียนรู้และขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่ทำการฝึกหัดซึ่งโครงข่ายประสาทเทียม

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

3.1 ผลการศึกษาความแข็งแรงดึงสูงสุด



รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด Ø 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด Ø 3 มิลลิเมตร

รูปที่ 2 และ รูปที่ 3 เป็นกราฟเปรียบเทียบแสดงผลการทดลองในการศึกษาผลกระทบของศูนย์รวมความเค้นในรูปแบบต่างๆ เมื่อชิ้นทดสอบผ่านการเจาะรูให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วในการดึงให้สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด (UTS) มีแนวโน้มสูงมากขึ้น เนื่องจากจุดครากตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่กลับส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และความสามารถในการรับแรงดึงจากการเจาะรูเพื่อทำให้เกิดศูนย์รวมความเค้นในรูปแบบต่างๆ จะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงดึง ถ้าพื้นที่หน้าตัดในการรับแรงดึงมีน้อย ความสามารถในการรับแรงดึงก็มีน้อยเช่นกัน ชิ้นทดสอบที่สามารถรับแรงดึงได้สูงสุดคือ ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ 1 มิลลิเมตร มีค่า UTS = 633.20 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ส่วนชิ้นทดสอบที่รับแรงดึงได้น้อยที่สุดคือ ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์ เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะขนาด 3 มิลลิเมตร มีค่า UTS = 453.44 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าชิ้นทดสอบที่เจาะรูตรงศูนย์จะสามารถรับแรงดึงได้ดีกว่าชิ้นทดสอบที่เจาะรูเยื้องศูนย์ เนื่องจากรูเยื้องศูนย์การกระจายตัวของความเค้นไม่สม่ำเสมอ เพราะเกิดศูนย์รวมความเค้นสูงขึ้นบริเวณขอบรูเจาะ ซึ่งพื้นที่บริเวณหน้าตัดด้านที่มีเนื้อที่น้อยกว่าเริ่มขาดก่อน โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน และจะขยายตัวไปยังพื้นที่บริเวณหน้าตัดขนาดใหญ่ ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงน้อย

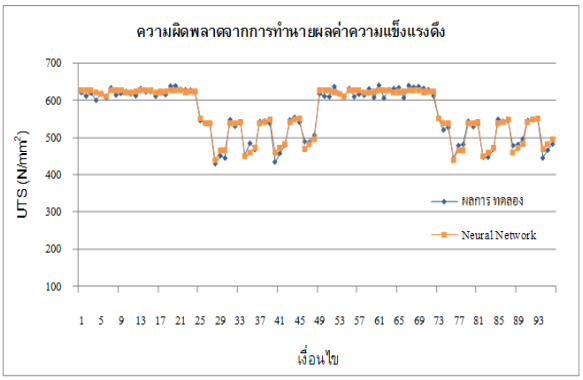
3.2 การวิเคราะห์การทำนายผลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

3.2.1 การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายผลค่าความแข็งแรงดึง

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความแข็งแรงดึง โดยโปรแกรม MATLAB/Simulink ผลปรากฏว่าสามารถทำนายค่าได้อย่างแม่นยำ คือมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.63% ดังตารางที่ 1 ส่วนผลการทำนายค่าที่ยังไม่ได้ทดลอง ปรากฏว่าสามารถทำนายค่าได้อย่างแม่นยำเช่นกันมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.15%

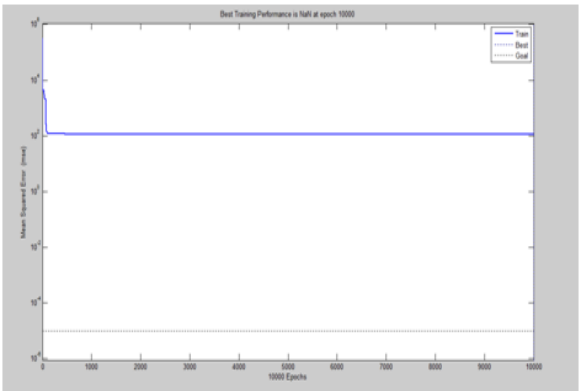
ตารางที่ 1 ค่าความผิดพลาดความแข็งแรงดึง

ค่าความผิดพลาดค่าความแข็งแรงดึง								
ชิ้นที่	Test speed (mm/min)	รูปแบบการเจาะ	ขนาดของรูเจาะ (mm)	ตำแหน่งการเจาะ	ค่า UTS (N/mm^2)	Neural network (N/mm^2)	ค่า Error	% Error
1	110	1	1	1	622.42	625.311	2.891	0.46
2	110	2	1	1	612.71	625.656	12.946	2.11
3	110	3	1	1	620.76	625.981	5.221	0.84
4	110	1	1	2	601.5	620.267	18.767	3.12
5	110	2	1	2	618.94	618.098	0.842	0.14
6	110	3	1	2	608.72	610.412	1.692	0.28
7	160	1	1	1	635.3	625.630	9.670	1.52
8	160	2	1	1	615.38	625.956	10.576	1.72
9	160	3	1	1	620.34	626.265	5.925	0.96
10	160	1	1	2	625.38	620.829	4.551	0.73
11	160	2	1	2	618.85	621.409	2.559	0.41
12	160	3	1	2	613.68	621.959	8.279	1.35
13	210	1	1	1	633.01	625.932	7.078	1.12
14	210	2	1	1	623.85	626.242	2.392	0.38
15	210	3	1	1	625.03	626.535	1.505	0.24
16	210	1	1	2	612.26	621.365	9.105	1.49
17	210	2	1	2	621.36	621.917	0.557	0.09
18	210	3	1	2	616.6	622.442	5.842	0.95
19	260	1	1	1	639.73	626.218	13.512	2.11
20	260	2	1	1	640.35	626.51	13.84	2.16
21	260	3	1	1	631.12	626.791	4.329	0.69
22	260	1	1	2	629.81	621.875	7.935	1.26
23	260	2	1	2	629.07	622.40	6.668	1.06
24	260	3	1	2	622.96	622.901	0.059	0.01
25	110	1	3	1	546.65	550.506	3.856	0.71
26	110	2	3	1	538.65	538.516	0.134	0.02
27	110	3	3	1	537.44	538.468	1.028	0.19
28	110	1	3	2	430.65	439.700	9.050	2.10
29	110	2	3	2	451.98	464.599	12.619	2.79
30	110	3	3	2	445.83	465.236	19.406	4.35
31	160	1	3	1	549.08	539.107	9.973	1.82
32	160	2	3	1	531.57	538.170	6.600	1.24
33	160	3	3	1	540.83	542.719	1.889	0.35
34	160	1	3	2	453.31	449.070	4.240	0.94
35	160	2	3	2	485.86	460.152	25.708	5.29
36	160	3	3	2	468.83	472.080	3.250	0.69
37	210	1	3	1	544.11	537.897	6.213	1.14
38	210	2	3	1	545.48	542.353	3.127	0.57
39	210	3	3	1	539.57	546.746	7.176	1.33
40	210	1	3	2	435.18	459.258	24.078	5.53
41	210	2	3	2	458.38	471.127	12.747	2.78
42	210	3	3	2	480.96	483.666	2.706	0.56
43	260	1	3	1	548.34	541.984	6.356	1.16
44	260	2	3	1	555.65	546.433	9.217	1.66
45	260	3	3	1	542.19	550.084	7.894	1.46
46	260	1	3	2	489.99	470.177	19.813	4.04
47	260	2	3	2	488.99	482.673	6.317	1.29
48	260	3	3	2	507.63	495.599	12.031	2.37
49	110	1	1	1	618.71	625.311	6.601	1.07
50	110	2	1	1	612.41	625.656	13.246	2.16
51	110	3	1	1	611.09	625.981	14.891	2.44
52	110	1	1	2	638.5	620.267	18.233	2.86
53	110	2	1	2	618.18	618.098	0.082	0.01
54	110	3	1	2	611.2	610.412	0.788	0.13
55	160	1	1	1	633.31	625.630	7.680	1.21
56	160	2	1	1	611.08	625.956	14.876	2.43
57	160	3	1	1	617.8	626.265	8.465	1.37
58	160	1	1	2	615.12	620.829	5.709	0.93
59	160	2	1	2	632.31	621.409	10.901	1.72
60	160	3	1	2	609.1	621.959	12.859	2.11
61	210	1	1	1	641.88	625.932	15.948	2.48
62	210	2	1	1	607.48	626.242	18.762	3.09
63	210	3	1	1	630.1	626.535	3.565	0.57
64	210	1	1	2	632.89	621.365	11.525	1.82
65	210	2	1	2	635.25	621.917	13.333	2.10
66	210	3	1	2	608.34	622.442	14.102	2.32
67	260	1	1	1	641.18	626.218	14.962	2.33
68	260	2	1	1	636.84	626.513	10.327	1.62
69	260	3	1	1	638.61	626.791	11.819	1.85
70	260	1	1	2	633.61	621.875	11.735	1.85
71	260	2	1	2	630.12	622.402	7.718	1.22
72	260	3	1	2	613.72	622.901	9.181	1.50
73	110	1	3	1	553.78	550.506	3.274	0.59
74	110	2	3	1	521.47	538.516	17.046	3.27
75	110	3	3	1	528.03	538.468	10.438	1.98
76	110	1	3	2	444.89	439.700	5.190	1.17
77	110	2	3	2	479.6	464.599	15.001	3.13
78	110	3	3	2	482.24	465.236	17.004	3.53
79	160	1	3	1	544.98	539.107	5.873	1.08
80	160	2	3	1	530.62	538.170	7.550	1.42
81	160	3	3	1	538.05	542.719	4.669	0.87
82	160	1	3	2	448.17	449.070	0.900	0.20
83	160	2	3	2	448.1	460.152	12.052	2.69
84	160	3	3	2	470.24	472.080	1.840	0.39
85	210	1	3	1	550.48	537.897	12.583	2.29
86	210	2	3	1	545.13	542.353	2.777	0.51
87	210	3	3	1	546.5	546.746	0.246	0.05
88	210	1	3	2	479.38	459.258	20.122	4.20
89	210	2	3	2	482.52	471.127	11.393	2.36
90	210	3	3	2	497.21	483.666	13.544	2.72
91	260	1	3	1	547.09	541.984	5.106	0.93
92	260	2	3	1	549.43	546.433	2.997	0.55
93	260	3	3	1	550.88	550.084	0.796	0.14
94	260	1	3	2	445.97	470.177	24.207	5.43
95	260	2	3	2	467.06	482.673	15.613	3.34
96	260	3	3	2	483.5	495.599	12.099	2.50
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย								1.63



รูปที่ 4 ความผิดพลาดจากการทำนายค่าความแข็งแรงดึง

จากรูปที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากผลการทดลองกับการฝึกสอน (Training) ให้กับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network model) มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.63%



รูปที่ 5 สมรรถนะการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

จากข้อมูลของ 3 อินพุท และ 1 เอาท์พุท จำนวน 96 ชุด จะถูกนำมาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจากการฝึกสอนพบว่าจำนวนนิวรอนที่ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมสำเร็จในชั้นซ่อน (Hidden Layer) ที่ 1 เท่ากับ 18 นิวรอน และชั้นซ่อนที่ 2 เท่ากับ 17 นิวรอน เพื่อให้ได้ค่าเอาท์พุทตรงกับอินพุทที่ป้อนเข้าไป โดยสมรรถนะของกระบวนการฝึกสอน ดังรูปที่ 5 มีการฝึกสอนจำนวน 10,000 รอบ

4. สรุปผลการทดลอง

1. ชิ้นทดสอบที่สามารถรับแรงดึงได้สูงสุดคือ ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์ Ø 1 มิลลิเมตร ส่วนชิ้นทดสอบที่สามารถรับแรงดึงได้น้อยสุดคือ ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์ Ø 3 มิลลิเมตร และผลการทำนายค่าความแข็งแรงดึงจากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายผลได้อย่างแม่นยำ ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.63%

2. งานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Multilayer Perceptron Network โดยวิธีการฝึกสอนแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back-Propagation Neural Networks) กฎการเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt Algorithm เนื่องจากมีเสถียรภาพ มีอัตราการฝึกสอนที่สั้นและใช้เวลาการฝึกสอนน้อย

3. จากผลการทดลองที่ได้นำเสนอ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด Multilayer Perceptron Network สามารถทำนายค่าที่ยังไม่ได้มีการทดลองได้อย่างถูกต้อง มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.15% ซึ่งจะทำให้สามารถวางแผนการออกแบบการทดลองได้อย่างเหมาะสม และลดเวลาในการทดสอบ มีความถูกต้องส่วนของกระบวนการฝึกสอน และการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม แสดงให้เห็นว่าถ้าทำการฝึกสอนข้อมูลทุกชุดจะได้คำตอบที่มีความถูกต้องแม่นยำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ สัญญาเลขที่ A29/2556

เอกสารอ้างอิง

[1] Mehmet S. O., Sedat K. Artificial neural network approach to predict the mechanical properties of Cu–Sn–Pb–Zn–Ni cast alloys, Materials and Design, vol.30 pp.764-769. 2009

[2] Xia-wei Y. Prediction of mechanical properties of A357 alloy using artificial neural network, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, vol. 23 pp.788-795. 2013

[3] Dipali P. Dhaval S. Experimentation and Its Prediction of Process Parameters Effects on Elongation in Tensile Test of AISI 1008 Steel Using ANN, Model Procedia Technology, vol.14 pp.282-289. 2014

[4] Necat A. Rasit K. Modeling of the prediction of tensile and density properties in particle reinforced metal matrix composites by using neural networks, Materials and Design, vol. 27 pp.625–631. 2006

[5] Muharrem Y. Metin Ertunc. H. The prediction of mechanical behavior for steel wires and cord

materials using neural networks, Materials and Design, vol.28 pp.599–608. 2007

[6] Kappatos V. Chamos A.N. Assessment of the effect of existing corrosion on the tensile behavior of magnesium alloy AZ31 using neural network, Materials and Design, vol. 31 pp.336–342. 2010

[7] นนทวัฒน์ ศรีหาคลัง และทรงตระกูล, การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ในการกัดงานด้วยเครื่องอีดีเอ็ม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2545

ผลการประเมินระดับการผลิตแบบลีนในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม กรณีศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ประเทศไทย

Lean Assessment Result for Manufacturing in Small and Medium Enterprises (SMEs): A Case Study of the Upper Northeast of Thailand.

ชาญชัย เหลาหา* ศีขรินทร์ สุขโต
หน่วยวิจัยกรีนแอนด์ลีน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ. ขอนแก่น 40002 E-mail: claoha27@yahoo.com*

Chanchai Laoha* Seekharin Sukto
Green and Lean Research Unit, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand. claoha27@yahoo.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ประเมินความเป็นลีนของระบบการผลิตในปัจจุบันของอุตสาหกรรมการผลิตในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม กรณีศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ประเทศไทย ผู้ประเมินเลือก 8 อุตสาหกรรมคือ Automotive Part Industry, Carpet Industry, Electrical and Electronics Industry, Garment Industry, Machinery Industry, Picture Frame industry, Rubber Industry และ Sanitary supply industry โดยใช้แบบประเมินระบบการผลิตในมุมมองของลีน (Perspective Lean) ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์เบื้องต้น (Analysis Tools) ของการดำเนินการผลิตแบบลีน การประเมินดำเนินการ 4 ขั้นตามแนวคิด PDCA cycle โรงงานทั้ง 10 โรงงานของ 8 อุตสาหกรรมมีอายุการดำเนินการเฉลี่ย 15.9 ปี มีจำนวนพนักงานเฉลี่ย 141.1 คน มีจำนวนเจ้ากิจการมาทำงานประจำเฉลี่ย 1 คน ผลการประเมินระบบการผลิตแบบลีนพบว่า 3 โรงงานอุตสาหกรรมมีอันดับคะแนนความเป็นลีนเฉลี่ยสูงสุดคือ Garment Industry มี 1.20 หรือร้อยละ 30, Machinery Industry มี 1.05 หรือร้อยละ29, และ Electrical and Electronics Industry มี 1.11 หรือร้อยละ 28, ค่าระดับคะแนนเฉลี่ยเครื่องมือของลีน (Mean) สูงสุดที่ 1.1 คือ Kanban system ต่ำสุดที่ 0.80 คือ Supplier responsibility, Multi skill และ Total Preventive Maintenance.

คำหลัก Lean Assessment, Lean Manufacturing, Lean Tools, SMEs.

Abstract

The purpose of research is to evaluate the leanness of manufacturing in small and medium-sized enterprises in place of the upper Northeast. The lean assessment are perspective lean, a preliminary analysis tool implementation of lean manufacturing. Evaluators select eight industries for Automotive Part Industry, Carpet Industry, Electrical and Electronics Industry, Garment Industry, Machinery Industry, Picture Frame industry, Rubber Industry and Sanitary supply industry located in upper Northeast. Ten factories have average 15.9 years of age and number of employees averaged 141.1. There was one owner to come working in average. Three industries was highest ranking as leanness that was Garment Industry of 1.20 or 30%, Machinery Industry of 1.05 or 29%, and the Electrical and Electronics Industry of

1.11 or 28% prospectively. The maximum point of lean techniques and tools up to 1.1 was Kanban system and minimum point was 0.80 that is supplier responsibility, multi skill and total preventive maintenance.

Keywords: Lean Assessment, Lean Manufacturing, Lean Tools, SMEs.

1. บทนำ

การประเมินแบบลีนจึงเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่สำคัญ และยังเป็นแนวทางวางแผนการสร้างระบบการผลิตแบบลีน รวมถึงการกำหนดแผนการฝึกอบรม การดำเนินการ การตรวจสอบระบบ และการปรับปรุงแก้ไข[1] เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ การผลิตแบบลีนสามารถช่วยให้วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม Small and Medium Enterprises (SMEs) ลดต้นทุนการผลิต เพิ่มยอดขาย [2]

ผลของการประเมินระบบการผลิตแบบลีน (Lean Assessment) สามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อวิเคราะห์จัดสรรทรัพยากรสนับสนุนการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด[3] และยังสามารถนำคะแนนดังกล่าวเป็นตัวชี้วัดการปรับปรุง ง่ายต่อการสื่อสารกับพนักงาน SMEs หลายแห่งต้องการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นแบบลีน แต่ไม่มั่นใจว่าจะเริ่มต้นอย่างไร? ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จของ SMEs คือความเป็นผู้นำ, การทำงานเป็นทีม, การวิจัยและพัฒนา, และวิสัยทัศน์ของผู้นำ [4]

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีเนื้อที่มากที่สุดของประเทศไทยประมาณ 168,854 ตารางกิโลเมตร หรือมีเนื้อที่ร้อยละ 33.17 เทียบได้กับหนึ่งในสามของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย ผู้ประกอบการ SMEs ทั้งประเทศมีอยู่ถึง 2.91 ล้านราย คิดเป็นสัดส่วนถึง 99% ของผู้ประกอบการทั้งประเทศ ส่วนใหญ่ดำเนินธุรกิจอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากถึง 25.9% เป็นกลุ่มการผลิตอุตสาหกรรม 17.9% [5]

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเป็นลีนของระบบการผลิตในปัจจุบันของอุตสาหกรรมการผลิตในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม กรณีศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ประเทศไทย

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lean Assessment ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อพัฒนาระบบการผลิต โดย [6], [7] กล่าวว่าการผลิตแบบลีนมีหลายมิติ พวกเขาสังเคราะห์การพัฒนาโครงสร้างโดยรวมก่อนหน้านี้ นอกจากการบูรณาการโครงสร้างการผลิตอุปกรณ์และกระบวนการบริหารจัดการภายใน, การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่, การจัดการซัพพลายเออ, ความสัมพันธ์กับลูกค้า, และการบริหารจัดการแรงงาน ในขณะที่ [8] ประยุกต์ใช้การจัดการเชิงระบบประกอบด้วยสามระดับได้แก่ระดับแรกประกอบด้วยความรับผิดชอบการบริหารจัดการ, การจัดการการผลิต, แรงงาน, เทคโนโลยีกลยุทธ์การผลิต จากนั้นระดับที่สองประกอบด้วย 20 เกณฑ์ของลีน และระดับที่สามประกอบด้วยคุณลักษณะของลีน ความสำคัญของการประเมินคือการพัฒนาในบริบทของลีน ผลการประเมินนำไปเป็นข้อมูลการปรับปรุงการผลิตในอนาคต

3. วิธีการ

การกำจัดความสูญเปล่าทั้ง 7 ประการ ต้องใช้เทคนิคและเครื่องมือระบบการผลิตแบบลีนอย่างมีประสิทธิผล

3.1 เกณฑ์การประเมิน

เกณฑ์การประเมินมีน้ำหนักความสำคัญที่เท่ากัน งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคและเครื่องมือการผลิตแบบลีนของ [9] พวกเขาพัฒนาแบบประเมินการผลิตแบบลีนสำหรับ SMEs ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย ซึ่งสอดคล้องกับ [10] ที่สำรวจเทคนิคและเครื่องมือของลีนใน SME ประเทศสหรัฐอเมริกา

เกณฑ์การประเมินการผลิตแบบลีนมีระบบการวัด (Measurement) ความเป็นลีนที่ครอบคลุมมุมมอง [11] ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1. Kanban system คือระบบการใช้บัตร ป้าย หรือกระดานบันทึกสั้น ๆ สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าตามจังหวะเวลา (Takt time)

3.1.2. Visual Management คือการสร้างระบบควบคุมการสื่อสารภายใน SMEs

3.1.3. Supplier Responsibility คือสิ่งที่ Supplier ร่วมดำเนินการเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า

3.1.4. 5 ส.คือความพร้อมของอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร วัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์

3.1.5. Operation Base Layout คือแผนการติดตั้งเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ และวัตถุต่างๆ เพื่อลดสิ่งรบกวนต่างๆ และลดระยะทางและแรงงานในการขนย้ายวัสดุ (Shortest Distance Traveled)

3.1.6. Line balancing คือการจัดงานให้กับสถานีงานต่างๆ ในโรงงานมีความสมดุล เวลาที่ใช้ในแต่ละสถานีงานเท่าๆกัน

3.1.7. การเปลี่ยนรุ่นการผลิตอย่างรวดเร็ว (Quick Changeover) คือการดำเนินการเกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนรุ่นการผลิต(Changeover) อย่างแท้จริง

3.1.8. Multi skill คือพนักงานหนึ่งคนมีทักษะที่หลากหลาย

3.1.9. Standard Operation Procedures (SOP) คือเอกสาร หรือรูปภาพที่แนะนำวิธีการปฏิบัติงานต่างๆ

3.1.10. Poka Yoke คือวิธีการทั้งหมดที่จะสร้างคุณภาพสู่กระบวนการ

3.1.11. TPM คือการกระทำโดยพนักงานทุกคน เพื่อปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรให้ได้ผลสูงสุด

3.1.12. Policy deployment คือการกำหนดวัตถุประสงค์/เป้าหมายและกลยุทธ์

3.1.13. Awareness of 7 Waste คือจิตสำนึกในการค้นหาและกำจัดความสูญเปล่าทั้ง 7 ประการ

3.1.14. Kaizen คือกิจกรรมการปรับปรุง (Improvement) โดยมุ่งการส่วนร่วมของพนักงานทุกคนบุคลากรทุกระดับ ร่วมกันแสวงหาแนวทางใหม่ ๆ อย่างต่อเนื่อง

3.2. การให้คะแนน

การประเมินแบบลีนนี้ได้นำระบบการให้คะแนน Malcolm Baldrige National Quality Award (MBNQA) ของสหรัฐอเมริกา [12] ดังรายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Scoring System.

Process	Performance
Approach (A)	0. No systematic approach to item requirements is evident. 1. The beginning of a systematic approach to the requirements of the item is evident. 2. An effective, systematic approach, responsive to the some requirements of the item, is evident. 3. An effective, systematic approach, responsive to the moderate requirements of the item, is evident. 4. An effective, systematic approach, responsive to the most requirements of the item, is evident.
Process	**Performance**
Deployment (D)	0. Little or no deployment of any systematic approach is evident. 1. The approach is in the early stages of deployment in most areas or work units, inhibiting progress in achieving the requirement of the item. 2. The approach is deployed, although some areas or work units are in early stages of deployment. 3. The approach is well deployed, although deployment may vary in some areas or work units. 4. The approach is well deployed, with no significant gaps.
Learning (L)	0. An improvement orientation is not evident; improvement is achieved through reacting to problems. 1. Early stages of a transition from

		reacting to problems to a general improvement orientation are evident.
	2.	The beginning of a systematic approach to evaluation and improvement of key process is evident.
	3.	A fact-based, systematic evaluation and improvement process and some organizational .
	4.	Fact-based, systematic evaluation and improvement and organizational learning, including innovation, are key management tools; there is clear evidence of refinement as a result of organizational-level analysis and sharing.
Integration (I)	0.	No organizational alignment is evident; individual areas or work units operate independently.
	1.	The improved approach is aligned with other areas or work units largely through joint problem solving.
	2.	The improved approach is in the early stages of alignment with some area or work units needs identified in response to the organizational profile and other process items.
	3.	The improved approach is aligned with moderate area or work units needs identified in response to the organizational profile and other process items.
	4.	The improved approach is integrated with most area or work units needs identified in response to the organizational profile and other process items.

3.3. การเลือกกลุ่มอุตสาหกรรมศึกษา

ตารางที่ 2 แสดงประเภทอุตสาหกรรมแต่ละจังหวัด

ตารางที่ 2 ประเภทอุตสาหกรรม

Location	Industry	# of Industry
Bueng Kan	Rubber Industry	2
Khon Kaen	Automotive Part Industry	1
	Carpet Industry	1
	Garment Industry	1
	Sanitary supply industry	1
Mahasarakham	Electrical and Electronics Industry	1
Nong Khai	Picture Frame industry	1
Udon Thani	Garment Industry	1
	Machinery Industry	1
รวม		10

3.4. ขั้นตอนการประเมิน

ขั้นตอน1) การวางแผน (P) การประเมินคือการติดต่อโรงงานอุตสาหกรรม ขั้นตอน2) ขั้นตอนการประเมิน (D) คือผู้ประเมินดำเนินการประเมินกระบวนการผลิตที่โรงงานอุตสาหกรรม ขั้นตอนที่ 3) การตรวจสอบผล (C) การประเมินคือผู้ประเมินตรวจสอบข้อมูลที่ได้รับสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การประเมินหรือไม่ 4) การสรุปผลการประเมิน (A) คือการวิเคราะห์ข้อมูลค่าระดับคะแนนที่ได้จากแบบประเมินระบบการผลิตทั้ง 14 เกณฑ์

3.5. การนำเสนอข้อมูล

ผู้ประเมินนำเสนอผลการประเมินแบบสถิติเชิงพรรณนาเป็นค่าเฉลี่ย ยกตัวอย่างเช่น Kanban system ใน SMEs คือในส่วนของ Approach ได้คะแนน 2, Deployment ได้คะแนน 1, Learning ได้คะแนน 0, และ Integration ให้คะแนน 0 จากนั้นนำมารวมกันและหารด้วย 4 จะได้คะแนนเฉลี่ย 0.75

4. ผลการประเมินและการอภิปราย

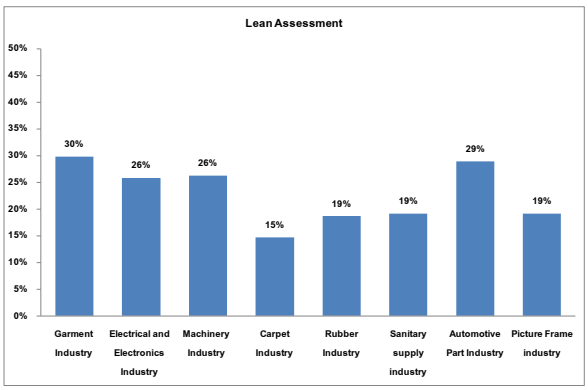
โรงงานทั้ง 10 โรงงานของ 8 อุตสาหกรรมมีอายุการดำเนินการเฉลี่ย 15.9 ปี มีจำนวนพนักงานเฉลี่ย 141.1 คน มีจำนวนเจ้ากิจการมาทำงานประจำเฉลี่ย 1 คน

รูปที่ 1 คือผลการประเมินความเป็นลีนของแต่ละอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมที่มีระดับความเป็นลีนเฉลี่ยสูงที่สุดร้อยละ 30 คือ Garment Industry ซึ่งจากการสอบถามความต้องการของผู้บริหาร SMEs ตัวอย่างทราบว่าต้องการพัฒนาระบบการผลิตให้มีความเป็นลีนมากกว่า 50%

อุตสาหกรรมที่มีระดับคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุดร้อยละ 15 คือ Carpet Industry

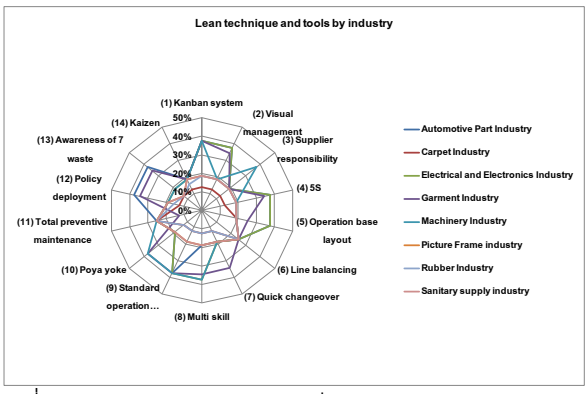
เทคนิคและเครื่องมือของลีนที่มีระดับคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุดร้อยละ 27 Kanban system และ Standard operation procedures คะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุดร้อยละ 18 คือ Kaizen

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นภาครวมของแต่ละ SMEs ในการใช้เทคนิคและเครื่องมือของลีนในปัจจุบัน Automotive Part Industry มีระดับคะแนนเฉลี่ยสูงสุดคือร้อยละ 38

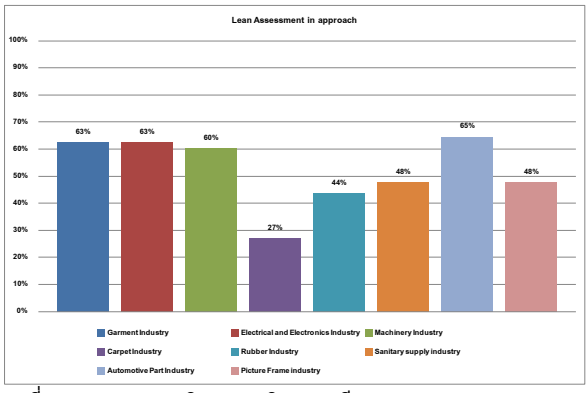


รูปที่ 1 ผลการประเมินการผลิตแบบลีนของแต่ละอุตสาหกรรม

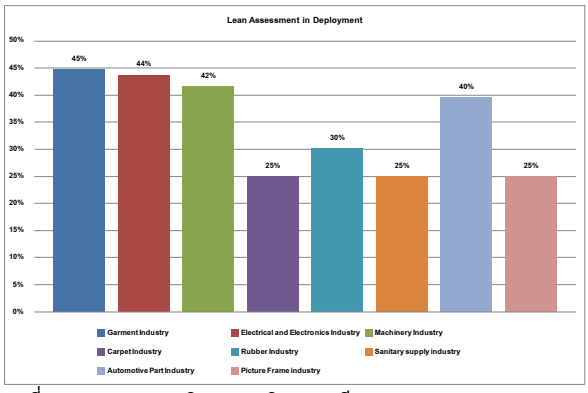
รูปที่ 3 คือขั้นตอนของ approach แสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรม Automotive Part มีระดับคะแนนเฉลี่ยสูงสุดคือร้อยละ 65 อุตสาหกรรม Carpet Industry มีระดับคะแนนเฉลี่ยต่ำสุดคือร้อยละ 27



รูปที่ 2 ผลการประเมินการผลิตแบบลีนของแต่ละอุตสาหกรรม



รูปที่ 3 ผลการประเมินการผลิตแบบลีนของแต่ละอุตสาหกรรม ขั้นตอนของ approach

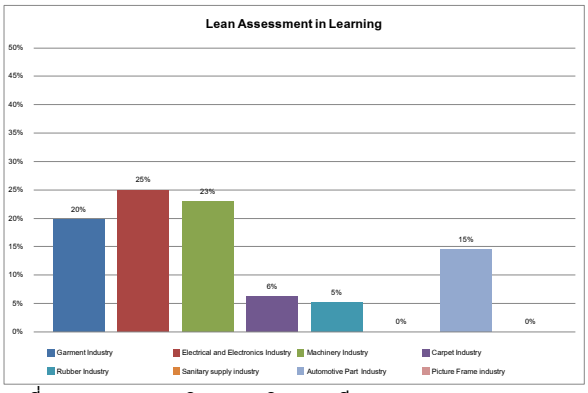


รูปที่ 4 ผลการประเมินการผลิตแบบลีนของแต่ละอุตสาหกรรม ขั้นตอนของ deployment

รูปที่ 4 คือขั้นตอนของ deployment แสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรม Garment มีระดับคะแนนเฉลี่ยสูงสุดคือร้อยละ 45 อุตสาหกรรม Carpet, Sanitary supply, และ Picture Frame มีระดับคะแนนเฉลี่ยต่ำสุดคือร้อยละ 25

รูปที่ 5 คือขั้นตอนของ learning แสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรม Electrical and Electronics มีระดับคะแนนเฉลี่ยสูงสุดคือร้อยละ 25 อุตสาหกรรม Sanitary supply, และ Picture Frame มีระดับคะแนนเฉลี่ยต่ำสุดคือร้อยละ 0

ขั้นตอนของ integration ไม่พบว่ามีอุตสาหกรรมใดสามารถดำเนินการให้ผู้ประเมินเห็นผลงานเชิงประจักษ์



รูปที่ 5 ผลการประเมินการผลิตแบบลีนของแต่ละอุตสาหกรรม ขั้นตอนของ learning

5. สรุป

การประเมินการผลิตแบบลีนเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นจุดเริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพิ่มผลผลิต อีกทั้งเป็นการหาโอกาศการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เทคนิคและเครื่องมือเทคนิคการผลิตแบบลีนทั้ง 14 รายการ เป็นเกณฑ์การวัดระดับความเป็นลีนในกรณีศึกษาของอุตสาหกรรมการผลิตเป็นอย่างดี

ผู้บริหารของ SMEs สามารถนำผลการประเมินการผลิตแบบลีนไปวางแผนในการเพิ่มผลผลิต โดยดำเนินการตามขั้นตอน approach, deployment, learning, และintegration ของแต่ละเทคนิคและเครื่องมือการผลิตแบบลีน และสามารถนำคะแนนที่ได้ไปตัดสินใจนำงบประมาณสนับสนุน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

เอกสารอ้างอิง

[1] Wikipedia, Lean manufacturing, ข้อมูลจาก http://en.wikipedia.org/wiki/Lean_manufacturing. (วันที่สืบค้นข้อมูล 24 มกราคม 2558)

[2] Trish Melton, The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries, Chemical Engineering Research and Design, vol.83,pp. 662-673, 2005.

[3] Bin Zhou, Lean principles, practices, and impacts: a study on small and medium-sized enterprises (SMEs), Annals of Operations Research, vol 1-18, 2012.

[4] Chavalit Nimlaor, Jirasek Trimetsoontorn and Wanno Fongsuwan, AEC Garment Industry Competitiveness: A Structural Equation Model of Thailand's Role. WORKFORCE 2005, 2010.

[5] Business Research in Export-Import Bank of Thailand, 2012, Thailand and the role of SMEs to the economy, ข้อมูลจาก http://www.exim.go.th/doc/newsCenter/38795.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 28 มิถุนาคน 2557)

[6] Toni L. Doolen, and Marla E. Hacker, A review of lean assessment in organizations: an exploratory study of lean practices by electronics manufacturers, Journal of Manufacturing systems, vol.24, pp 55-67, 2005.

[7] Shahram Taj, Applying lean assessment tools in Chinese hi-tech industries, Management Decision, vol. 43, no. 4, pp.628-643, 2005.

[8] S. Vinodh, and Suresh Kumar Chintha, Leanness assessment using multi-grade fuzzy approach, International Journal of Production Research, vol.49, no.2, pp. 431-445, 2011.

[9] Chanchai L., Seekharin S. Lean Assessment for Manufacturing of Small and Medium Enterprises: A Case Study of 2 Industrial groups in Northeast of Thailand, Proceedings of the 2nd International Conference on Economics, Finance and Management Outlooks; 2nd ICEFMO-89, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.52-60, Dec 20-21, 2014.

[10] Bin Zhou, "Lean principles, practices, and impacts: a study on small and medium-sized

enterprises (SMEs)," Annals of Operations Research, vol 1-18, 2012.

[11] Wilson, L., How to implement lean manufacturing, 1st edition, McGraw Hill Professional, pp.291 – 298, 2010.

[12] National Institute of Standards and Technology United States Department of Commerce, Criterion for Performance Excellence. 2011-2012 ข้อมูลจาก Available: http://www.nist.gov/baldrige/publications/upload/2011_2012_Business_Nonprofit_Criteria.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 2015 Jan 24)

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในโรงงานผลิตลูกชิ้น

Increased the Effective Production in Meatball Factory

บุษกร เกื้อบรรจง,รัตนาภรณ์ พรหมมา,วิศิษฏ์ศรี วิยะรัตน์,อนุชา วัฒนาภา*
ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
anucha.wat@kmutt.ac.th
Bussakorn Kueabunjong, Rathtanaporn Promma, Wisitsri Wiyaratn, Anucha Watanapa*
Department of Production Technology education, Faculty of Industrial Education and Technology,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand

บทคัดย่อ
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตอาหารแปรรูป โดยมีพื้นที่ในการจัดวางเครื่องจักรอย่างจำกัดซึ่งใช้หลักการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ(Systematic Layout Planning ; SLP) จากผลการศึกษาจึงได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงผังโรงงานใหม่ไว้ 3 วิธี ได้แก่ ผังโรงงานแบบ A คือ การเพิ่มเครื่องบดในสายการผลิต ผังโรงงานแบบ B คือการเพิ่มเครื่องผสมในสายการผลิต และผังโรงงานแบบ C คือ การปรับย้ายโต๊ะผึ่ง – โต๊ะบรรจุ ในสายการผลิต จากนั้นนำผลที่ได้จากทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างมีระบบทั้งผังโรงงานก่อนการปรับปรุงและผังโรงงานปรับปรุงแล้วแบบ A แบบ B และแบบ C มาสร้างแบบจำลองของกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรมอารีน่า เพื่อศึกษาหาความเป็นไปได้จากการวางผังโรงงานที่ปรับปรุงแล้วซึ่งจากการศึกษาพบว่า ผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมอารีน่ามีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการใช้ทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ ระบบ (Systematic Layout Planning: SLP) เมื่อได้นำเสนอวิธีการปรับผังโรงงาน ผู้บริหารได้ลงความเห็นว่า ผังโรงงานแบบ C เหมาะสมในการปรับแก้สายการผลิตของบริษัทมากที่สุด ซึ่งผังโรงงานแบบ C ใช้ระยะทางในกระบวนการผลิต 45 เมตร สามารถลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตลงได้ 8 นาทีและยังลดอัตราค่าใช้จ่ายการใช้ไฟฟ้าจากเดิม 173,399.99 บาท ลดลงเหลือเพียง 133,061.18 บาท คิดเป็นส่วนต่างได้เท่ากับ 40,338.82 บาทต่อเดือน จากผลการศึกษาพบว่า ผังโรงงานแบบ C สามารถลดระยะทางและเวลาในกระบวนการผลิตได้ ซึ่งมีต้นทุนในการแก้ไขปรับปรุงต่ำกว่าผังโรงงานแบบ A และ B.
คำหลัก หลักการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ / โปรแกรมอารีน่า / ผังโรงงาน

Abstract
The purpose of the research is to find out the causes affecting the efficiency of processed food within limited areas of placing machines through the Systematic Layout Planning (SLP). Due to the study, there were three types of plant layout improvement presented: layout A, B and C. Layout A was to add crusher machines in the production line; layout B was to increase mixer machines in the production line; layout C was to move the drying tables and containing tables in the production line. Then the results of SLP (both before and after using layout A, B, and C) were brought to build the model of the production process through Arena Program in order to find the possibility of plant layout improvement. It was found that the outcome of the use of Arena Program was relevant to the result of using SLP. When the presentation of plant layout improvement was given, the director expressed that layout C was the most suitable to

develop the production line of the factory which its distance was 45 meters long. This layout could reduce eight minutes of the production process time. Also, the cost of electricity was decreased from 173,399.998 baht to 133,061.18 baht in other word, it was decreased by 40,338.818 baht. In addition, the results showed that layout C could reduce the distance and time of the production process. Interestingly, the cost of layout C was less than layout A and B.

1. บทนำ

ปัจจุบันท่ามกลางสภาวะการแข่งขันทางธุรกิจเพิ่มมากขึ้น แต่ละบริษัทพยายามหากลยุทธ์ในการที่จะพัฒนาองค์กรของตนเพื่อเพิ่มศักยภาพในการประกอบธุรกิจให้สามารถแข่งขัน และเติบโตได้การเพิ่มอัตราการผลิตและการปรับปรุงการทำงานนั้นเป็นปัจจัยหลักสำหรับการดำเนินธุรกิจและการเจริญเติบโตทางอุตสาหกรรม เพื่อให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งรายอื่นได้ ผู้ประกอบการจึงมีความจำเป็นที่จะต้องผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าโดยมีต้นทุนต่ำและมีคุณภาพดี การลดของเสียในกระบวนการผลิตจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยให้ต้นทุนการผลิตลดลงได้โดยไม่จำเป็นต้องลดราคาสินค้าเพื่อแข่งขันกับคู่แข่งรายอื่นในอุตสาหกรรมเดียวกัน[1,2] การที่ผู้ผลิตควรคำนึงถึงผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีนั้น ทั้งนี้ปัจจัยหลักที่ช่วยให้ลูกค้าสามารถตัดสินใจเลือกสินค้า คือ ราคาและคุณภาพ จึงทำให้อุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบันจำเป็นจะต้องปรับปรุงการผลิตให้ต้นทุนสินค้าต่ำและมีคุณภาพที่สามารถแข่งขันในตลาดได้ องค์กรจะต้องมีการพัฒนาปรับปรุงตนเองอย่างต่อเนื่องเพื่อความอยู่รอดของธุรกิจและเพื่อให้มีความสามารถในการแข่งขันกับคู่แข่งในทางด้านการตลาดสูงขึ้น โดยปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ธุรกิจและอุตสาหกรรมนั้นประสบผลสำเร็จคือ การผลผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่เชื่อถือของผู้บริโภค ดังนั้นการปรับปรุงพัฒนาและการศึกษาหาปัจจัยในการผลิตที่เหมาะสมเพื่อนำไปสู่การควบคุมกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ จึงเป็นกิจกรรมที่องค์กรจะต้องพัฒนาอย่างต่อเนื่อง[1-3] จากการศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งจะเป็นแรงขับเคลื่อนสำคัญของประเทศ พบว่าเกิดปัญหาในกระบวนการผลิตคล้ายคลึงกัน ปัญหาที่พบคือการเกิดของเสียในกระบวนการผลิต และบริษัท ดิสโก้ โปรดักส์ฟู้ดส์ จำกัด พบปัญหาเช่นเดียวกันกับโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ จากการสัมภาษณ์กรรมการผู้จัดการบริษัท ในกระบวนการผลิตของบริษัทมีผลิตภัณฑ์แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ลูกชิ้น, ไก่ยอ, ไส้กรอก และจ๊อ คณะผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ในการวิจัยเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและหาแนวทางการแก้ไขเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตลูกชิ้นต่อไป

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ปรับปรุงการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ(Systematic Layout Planning: SLP)โดยประยุกต์นำโปรแกรมอารีน่า(Arena) มาเพื่อใช้จำลองสถานการณ์จริงกับ บริษัท ดิสโก้ โปรดักส์ฟู้ดส์ จำกัดในการวิจัยการปรับปรุงการวางผังโรงงานดังมีขั้นตอนต่อไปนี้

2.1 การวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning: SLP)

ในการการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ[3,4] (Systematic Layout Planning: SLP)ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินการไว้เป็น 4 ขั้นตอนตามลำดับดังนี้

- การเลือกทำเลที่ตั้งโรงงาน (Location)

เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้เป็นการปรับปรุงผังโรงงานเดิม ขั้นตอนนี้จึงไม่ต้องดำเนินการ จึงสามารถข้ามขั้นตอนนี้ไปได้

- การวางผังโรงงานตามแผนกงาน

ในขั้นตอนนี้ เป็นการดำเนินการเพื่อให้ได้รูปลักษณ์ของพื้นที่อย่างคร่าวๆ โดยแบ่งตามแผนกงานและไม่ได้คำนึงถึงรายละเอียดภายในแผนกว่าต้องมีอุปกรณ์แยกย่อยอะไรบ้าง ซึ่งในบางครั้งเรียกขั้นตอนนี้ว่าการวางผังอย่างหยาบ หรือการวางผังโรงงานแบบบล๊อค(Block layout)

- การวางผังโรงงานอย่างละเอียด (Detail Layout)

เนื่องจากขอบเขตของการวิจัยครั้งนี้เพื่อหาแนวทางใน

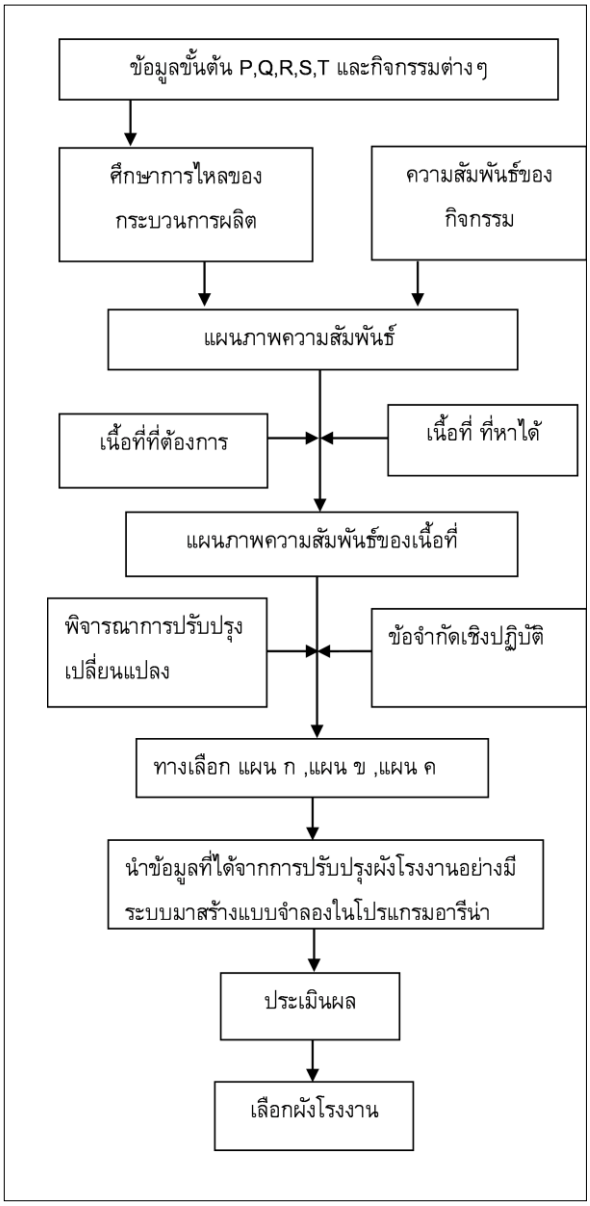
การปรับปรุงผังโรงงานในขั้นตอนนี้จะเน้นที่การกำหนดรายละเอียดของเครื่องมือและส่วนประกอบย่อยต่างๆซึ่ง

- การติดตั้ง และการติดตามผลงาน (Installation)

จากขอบเขตของงานวิจัยครั้งนี้หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงผังโรงงานแล้ว การนำผังดังกล่าวมาใช้จริงอาจมีความเสี่ยงอันเกิดจากการลงทุนปรับปรุงผังโรงงาน คณะผู้วิจัยจึงนำโปรแกรมอารีน่ามาจำลองสถานการณ์เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการประกอบการพิจารณาเพื่อนำไปใช้จริงโดยมีรายละเอียดดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

2.2 การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมอารีน่า

การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมอารีน่าเป็นการศึกษาปัญหาของระบบงานด้วยแบบจำลองซึ่งอยู่ในรูปแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยที่การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมอารีน่านี้เป็นที่นิยมใช้ที่สุดของการใช้แบบจำลองแก้ปัญหา เพราะเนื่องจากสามารถใช้ได้กับปัญหาของระบบงานได้หลายประเภทปัจจุบันเป็นเทคนิคที่ได้รับการเอาไปใช้อย่างกว้างขวาง หลักการที่ใช้การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมอารีน่าจะเป็นหลักการเดียวกับแบบปัญหาอื่นๆความจำเป็นที่สร้างเป็นแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์หรือไม่ ขึ้นอยู่กับความยุ่งยากในการคำนวณของปัญหานั้นๆโดยที่การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมอารีน่าจะต้องมีการคำนวณมีข้อมูลที่เป็นข้อมูลนำเข้าและ ผลลัพธ์จากแบบจำลอง และโดยปกติข้อมูลต่างๆในระบบงานจะเป็นข้อมูลซึ่งมีความผันแปรไม่แน่นอน และมีการแปรเปลี่ยนตามเวลาดังนั้นการจัดเตรียม และการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆรวมทั้งขั้นตอนต่างๆที่ใช้กับการจำลองปัญหานี้จึงต้องอาศัยวิธีการต่างๆในทางสถิติเข้าช่วยโปรแกรมอารีน่าเป็นแบบจำลองสถานการณ์ ซึ่งสามารถที่จะจำลองสถานการณ์ได้ใกล้เคียงกับระบบงานจริง และยังเป็นโปรแกรมที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบงานได้หลายประเภทไม่ว่าจะเป็นระบบงานบริการ หรือการผลิต นอกจากนี้โปรแกรมอารีน่ายังสามารถวิเคราะห์กระบวนการต่างๆได้เช่นระบบแถวคอย ระบบกระบวนการผลิต ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นโปรแกรมที่มีความซับซ้อนไม่มาก สามารถเข้าใจได้ง่ายสะดวกต่อการใช้งาน มีการแสดงภาพเคลื่อนไหว (Animation) ทำให้ระบบการจำลองสถานการณ์เข้าใจได้มากขึ้น



รูปที่ 1 แผนการเชิงปฏิบัติในการวางแผนผังโรงงานอย่างเป็นระบบ [4]

4. ผลการวิจัย

จากการได้เข้าไปศึกษาและวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ในส่วนของการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปพบว่าสายการผลิตใช้พนักงานทั้งหมด 16 คน มีสถานีการทำงานจำนวน 10 สถานี รวมเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง เฉลี่ยอัตราการผลิต 1500 กิโลกรัมต่อวันในปัจจุบัน กระบวนการผลิตภายในบริษัท มีการจัดวางเครื่องจักรแบบแยกแผนกตามลักษณะการวางผังแบบกระบวนการผลิต (Process Layout) ซึ่งลักษณะการวางเครื่องจักรในปัจจุบันนั้น เครื่องจักรจะมีขนาดใหญ่และยึดติดอยู่กับ

ที่ โดยพื้นที่บริเวณโรงงานจัดแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน โดยจัดแบ่งตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยสามารถแสดงรายละเอียดกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ การผลิตลูกชิ้นไก่ การผลิตไก่ยอ และการผลิตจ๊อไก่แสดงในรูปที่ 2

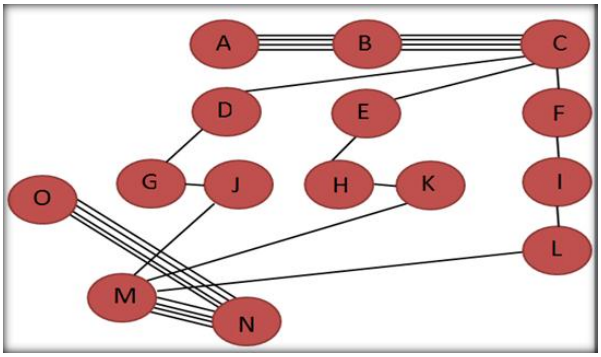
รูปที่ 2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูป

4.1ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระบวนการผลิต

ขั้นตอนการทำ From – To – Chart, Activity Relationship และการปรับปรุงผังโรงงานกำหนดตัวอักษรเป็นสัญลักษณ์แทนกิจกรรมแต่ละกิจกรรม A = บด, B = ชั่งวัตถุดิบ,C = ผสม,D = ปั้นรูป (ลูกชิ้นไก่), E = ปั้นรูป (ไก่ยอ),F = ออกไส้ (จ๊อไก่),G = พักน้ำอุ่น (ลูกชิ้นไก่), H = พักน้ำอุ่น (ไก่ยอ),I= นึ่ง(จ๊อไก่), J = ช็อกน้ำเย็น (ลูกชิ้นไก่), K = ช็อกน้ำเย็น (ไก่ยอ), L = ตัดแต่ง (จ๊อไก่),M = ผึ่งลม,N =บรรจุ,O = เคลื่อนย้ายไปจัดเก็บ

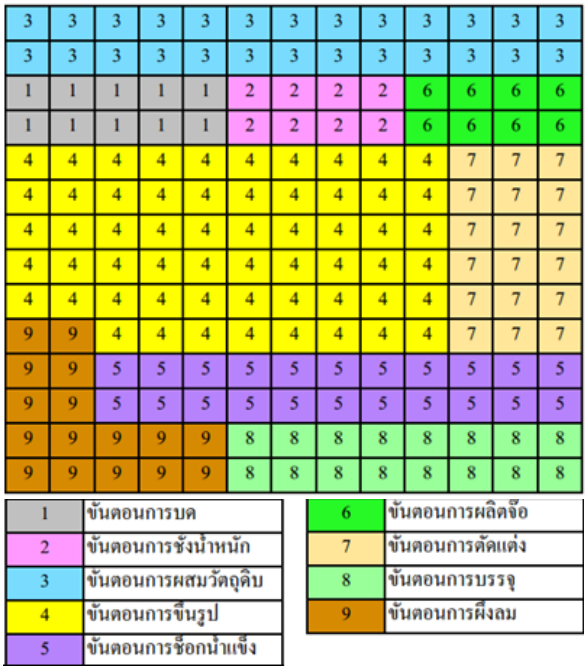
ตารางที่ 1 การผ่านกระบวนการผลิตแต่ละผลิตภัณฑ์

Product	Per day	Routing
ลูกชิ้นไก่	20	A - B - C - D - G - J – M – N – O
ไก่ยอ	5	A – B – C – E – H – K – M – N - O
จ๊อไก่	5	A – B – C – F – I – L- M – N - O



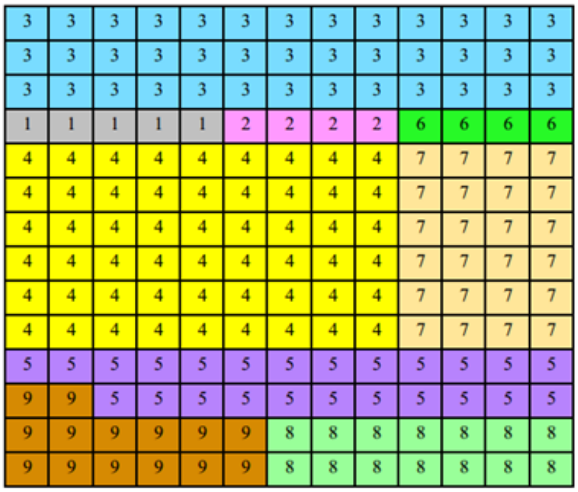
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรม

ผลการศึกษาโรงงานและทำการเก็บข้อมูล และนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์สายการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปมีดังนี้ ระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งกระบวนการผลิตลูกชิ้น 33.05 เมตร ใช้ระยะเวลารวม 227.94 นาที ระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งกระบวนการผลิไก่ยอ 35.72 เมตร ใช้ระยะเวลารวม 351.68 นาที และระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งกระบวนการผลิตจ๊อไก่ 36.46 เมตร ใช้ระยะเวลารวม 430.74 นาทีหลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลและรูปแบบการจัดวางผังเดิม ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการจัดวางผังโรงงาน (แบบเดิม)

รูปที่ 5 แสดงการจัดวางผังโรงงาน (แบบปรับปรุงA)



รูปที่ 6 แสดงการจัดวางผังโรงงาน (แบบปรับปรุง B)

รูปที่ 7 แสดงการจัดวางผังโรงงาน (แบบปรับปรุงC)

ผลจากการวิเคราะห์ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตไปยังบริษัททั้งหมด 3 แนวทาง รูปที่5-7 และผลเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 2-3ดังนี้

1) แนวทางการปรับปรุงผังโรงงานแบบ Aปรับปรุงโดยการเพิ่มเครื่องบดในกระบวนการผลิต

2) แนวทางการปรับปรุงผังโรงงานแบบ B ปรับปรุงโดยการเพิ่มเครื่องผสมในกระบวนการผลิต

3) แนวทางการปรับปรุงผังโรงงานแบบ C ปรับปรุงโดยกาปรับย้ายโต๊ะผึ่งลม – โต๊ะบรรจุ

ตารางที่ 2 แสดงเวลาในการรอคอยของเข้ากระบวนการผลิต (วินาที)

การรอคอย	ก่อนปรับปรุง (วินาที)	หลังปรับปรุงแบบ A (วินาที)	หลังปรับปรุงแบบB (วินาที)	หลังปรับปรุงแบบC (วินาที)
ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นไก่	18.94	14.26	16.29	15.68
ผลิตภัณฑ์ยอไก่	7.42	15.53	31.89	22.44
ผลิตภัณฑ์จ๊อไก่	756.49	346.58	418.22	450.66

ตารางที่ 3 แสดงระยะทางในกระบวนการผลิต

	ก่อนปรับปรุง (เมตร/รอบ)	แบบA (เมตร/รอบ)	แบบB (เมตร/รอบ)	แบบC (เมตร/รอบ)
ระยะทางทั้งหมด	50	53	60	45

จากการนำเสนอแนวทางการปรับปรุง ผู้บริหารได้พิจารณานำแนวทางการปรับปรุงแบบ C เพื่อมาปรับใช้ในกระบวนการผลิต โดยแนวทางการปรับปรุงแบบ C ใช้ต้นทุนในการปรับผังโรงงานน้อยเหมาะสำหรับโรงงานซึ่งมีข้อจำกัดของพื้นที่ในการทำงานทำการปรับปรุงผังโรงงานใหม่(แผนการปรับปรุงแบบ C) ทำให้ระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งกระบวนการผลิตลูกชิ้น 30.92 เมตร ใช้ระยะเวลารวม 227.41 นาที ระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งกระบวนการผลิตไก่ยอ 33.19 เมตร ใช้ระยะเวลารวม 351.61 นาที และระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งกระบวนการผลิตจ๊อไก่ 34.23 เมตร ใช้ระยะเวลารวม 405.87 นาที เมื่อปรับปรุงผังโรงงานโดยการปรับย้าย

ตามแนวทางการปรับปรุงแบบ Cทำให้ระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งกระบวนการผลิตลูกชิ้น 28.06 เมตร ใช้ระยะเวลารวม 227.33 นาที ระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งกระบวนการผลิตไก่ยอ 29.86 เมตร ใช้ระยะเวลารวม 345.05 นาที และระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งกระบวนการผลิตจ๊อไก่ 31.8 เมตร ใช้ระยะเวลารวม 395.61 นาที โดยการปรับปรุงพื้นที่ในกระบวนการผลิต คือ การปรับย้ายโต๊ะผึ่งลมและโต๊ะบรรจุ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงต่ำทำได้ง่าย

4. อภิปรายผลการศึกษา

จากการทำ SLP ได้ออกมาเป็นแบบปรับปรุงผังแบบปรับปรุง C โดยจากการทำ SLP ผังเดิม จะได้ระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งกระบวนการเท่ากับ 36.46 เมตรใช้ระยะเวลารวม 430.74 นาทีส่วนแบบปรับปรุง C ระยะทางในการเคลื่อนที่ลดลงเหลือ 31.8 เมตร ซึ่งลดลงจากเดิม 4.66 เมตรโดยทำการปรับปรุงพื้นที่ในบริเวณโต๊ะผึ่งลม – โต๊ะบรรจุ ซึ่งใช้ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงต่ำทำได้ง่าย ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุประยะทางการเคลื่อนที่และเวลาการทำงานของกระบวนการผลิต

รายการ	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)
ผังเดิม	36.46	430.74
ผังโรงงานแบบC	31.80	395.61
ผลต่าง	4.66	35.13

5. สรุป

ผลจากการได้ศึกษาข้อมูล พบปัญหาที่เกิดขึ้นคือการรอคอยของวัตถุดิบในกระบวนการผลิตและเส้นทางในการขนส่งทับซ้อนกัน ดังนั้นทางบริษัทจึงมีความต้องการที่จะแก้ไขเส้นทางในกระบวนการขนส่งระหว่างแผนก ซึ่งต้องมีการจัดระบบตามหลัก SLP โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลการทำงานทั้งกระบวนการผลิต เป็นข้อมูลพื้นฐานของการจัดวางผังใหม่ตามหลักความสำคัญของระบบงานและวิเคราะห์เส้นทางการเดินทางของการขนส่งวัตถุดิบเพื่อให้สอดคล้องกับการวางผังโรงงานจากการนำข้อมูลที่เก็บได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อทำการวางผังโรงงานโดยวิธีการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ(SLP)และทำ การออกแบบผังโรงงานเพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลและปัญหาของบริษัทจากนั้นจึงทำการจำลองผังโรงงานโดยใช้โปรแกรมอารีน่า (Arena) ในการจำลองผังโรงงานแบบปรับปรุงทั้งหมด โดยแนวทางการปรับปรุงผังโรงงานแบบ C ปรับปรุงโดยการปรับย้ายโต๊ะผึ่งลม – โต๊ะบรรจุจะเป็นแนวทางที่นำไปปรับใช้จริงซึ่งจะใช้เวลาในการทำงานทั้งหมด 395.61 นาที และใช้ระยะทางในการทำงานทั้งหมด 35.13 เมตรเมื่อกระบวนการผลิตสามารถลดอัตราการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตอาหารแปรรูปสามารถคำนวณได้ดังนี้

ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต มีอัตราการใช้ไฟฟ้า 2705.68 หน่วย เมื่อคิดเป็นราคาค่าใช้จ่ายต่อวันเท่ากับ 6669.23 บาท เมื่อครบ 26 วันทำการ บริษัทต้องจ่ายค่าไฟฟ้ารวมค่าทำเนียม 208 บาท คิดเป็นเงินทั้งหมด 173,399.99 บาท เมื่อทำการปรับปรุงผังโรงงานบริษัทมีอัตราการใช้ไฟฟ้า 2703.00 หน่วย คิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อวันเท่ากับ 5,109.74 บาท เมื่อครบ 26 วันทำการ บริษัทต้องจ่ายค่าไฟฟ้ารวมค่าทำเนียม 208 บาท คิดเป็นเงินทั้งหมด 133,061.18 บาท เห็นได้ว่าค่าไฟฟ้าในกระบวนการผลิตในระยะเวลา 26 วัน สามารถลดค่าใช้จ่ายในการทำงานได้ 40,338.82 บาท

เอกสารอ้างอิง

[1] ผศ.ชัยนนท์ ศรีสุภินานนท์,การออกแบบผังโรงงงานเพื่อเพิ่มผลผลิต ฉบับปรับปรุง,สัมนักพิมพ์ยูเอ็ดยูเคชั่น, 2537

[2].วันชัย ริจิรวนิช, การออกแบบผังโรงงาน,สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2541.

[3].Pomchai Promsolote, An Application of Systematic Layout Planning for Reducing Work-in Process, Material Handling Distance and Number of Workers in Car-Seat Assembly Factory, KMUTT Production Engineering, 2009,pp.1-108

[4] A. Watanapa and W. Wiyaratn, Systematic layout planning to assist plant layout: case study pulley factory," 2 nd International conference on Mechanical and Industrial, , MIMT, vol. 1, pp. 550-552, February 2011.

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการติดตั้งเพลาสกรูและเคลือบผิวเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกน

Valuation analysis of screw axle installation and coating in axial flow pump

มนัส ศรีสวัสดิ์[1*] วิฑูรย์ อบรม[1] มานพ พิพัฒหัตถกุล[2] ทรงธรรม เหล่าสุวรรณ[2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต [2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 E-mail: manus717171@gmail.com*

Manus Sriswat[1*] Witoon Obrom[1], Manop Pipathattakul[2], Songtam Laosuwan[2]
Department of Manufacturing Engineering,[1] Department of Mechanical Engineering,[2]
Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology,
Pathumwan District, Bangkok, 10330. E-mail: manus717171@gmail.com*

บทคัดย่อ

จากการศึกษาทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกน (AFP) ด้วยเพลาสกรูและเคลือบผิว พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสูบน้ำได้ถึงร้อยละ 45 – 80 เมื่อเทียบกับ AFP โดยที่ระยะยกน้ำ (H) 1.5 เมตร ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที ให้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ร้อยละ 70 ซึ่งการดัดแปลงเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกนส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำสูงขึ้น แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการดัดแปลงเพิ่มขึ้นเช่นกัน จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากการดัดแปลงเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกนว่าคุ้มค่าสำหรับการลงทุนหรือไม่ จากการทดลองพบว่า เครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกนที่ไม่มีการการดัดแปลง ในเวลา 8 ชั่วโมง (1 วันทำงาน) สามารถสูบน้ำได้ 700 ลูกบาศก์เมตร สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 3.17 ลิตร เครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกนที่มีการติดตั้งเพลาสกรู (AFP1) และเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกนที่มีการติดตั้งเพลาสกรูและเคลือบผิว (AFP2) สูบน้ำได้ 700 ลูกบาศก์เมตร ใช้เวลา 4.9 ชั่วโมง และ 3.89 ชั่วโมง ตามลำดับ สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.1 ลิตร และ 1.71 ลิตร ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราห์ความคุ้มค่าพบว่า AFP1 และ AFP2 จะคืนทุนค่าดัดแปลงใน 40 วัน และ 54 วัน ตามลำดับ โดยในการใช้งาน 1 ปี (สูบน้ำวันละ 700 ลูกบาศก์เมตร) AFP1 จะสามารถประหยัดค่าน้ำมันได้ 12,900 บาท/ปี และ AFP2 จะสามารถประหยัดค่าน้ำมันได้ 12,936 บาท/ปี โดย AFP2 มีการเคลือบผิวซึ่งนอกจากทำให้น้ำสามารถไหลได้ดีขึ้นแล้วยังช่วยป้องกันการเกิดสนิมและการเสียดสีส่งผลให้มีอายุของท่อสูบน้ำนานขึ้นถึง 2 ปี เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าที่อายุการใช้งาน 2 ปี สามารถประหยัดค่าน้ำมันได้ 18,192 บาท/ปี (อ้างอิงราคาน้ำมันเบนซิน 95 = 37.36 บาท/ลิตร วันที่ 17-12-2557)

คำหลัก เครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกน, เพลาสกรู, การเคลือบ

Abstract

The results from improving efficiency of axial flow pump (AFP) by using screw axle and coating revealed that this methods increased an efficiency in flow pump which was 45 – 80 percent compared to AFP. The experimental condition of head (H) at 1.5 m. and velocity of 3,000 rpm occurred the highest efficiency which was 70 percent. The modified flow pump occurred the higher in efficiency for normal flow pump but it cost in high value in modifying. Therefore, it needed to analyze the valuation of an increasing in investment compared to higher efficiency of modified flow pump that it could value for investment or not. The results revealed that

non-modified flow pump which used 8 hours (1 day work) could pump water into 700 square meters and used fuel of 3.17 liters. Axial flow pump which used screw axle installation (AFP1) and axial flow pump which used screw axle installation and coating (AFP2) could pump water into 700 square meters and used time of 4.9 hours and 3.89 hours, respectively and used fuel of 2.1 liters and 1.71 liters, respectively. We used the data from experiment to analyze valuation and it revealed that AFP1 and AFP2 paid back within 40 and 54 days, respectively. For 1 year work (pump water 700 square meters/day), AFP1 could save the fuel price into 12,900 baht/year and AFP2 could save the fuel price into 12,936 baht/year. The AFP2 which used coating could improve in water flow and prevent rust and friction; it increased in life time of tube pump into 2 years. When analyzed the valuation that used 2 years work, it could save the fuel price into 18,192 baht/year (according to price of benzene 95 = 37.36 baht/liters (17-12-2014))

Keywords: axial flow pump, screw axle, coating

1. บทนำ

เครื่องสูบน้ำเป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้กับของไหลเพื่อให้เกิดการไหลไปยังตำแหน่งที่ต้องการด้วยอัตราการไหลที่กำหนด ซึ่งเครื่องสูบน้ำที่นิยมใช้สำหรับงานทางด้านการเกษตร เป็นเครื่องสูบน้ำ แบบไหลตามแนวแกน (Axial Flow Pump: AFP) หรือที่ เรียกกันทั่วไปว่า “ท่อพญานาค” โดยคุณลักษณะของ AFP ให้อัตราการไหลได้มาก ที่ระยะยกน้ำ (เฮด) ต่ำ สามารถเลือกใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าหรือ เครื่องยนต์ ได้ตามความเหมาะสมของพื้นที่ใช้งาน อีกทั้ง ยังมีน้ำหนักเบาสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย

โดยจากงานวิจัยเรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกนด้วยเพลาสกรูและเคลือบผิว [1] ซึ่งมีการติดตั้งเพลากรูและเคลือบผิวด้วยสารเคลือบอีพอกซี่เซรามิคเพิ่มเข้าไปในท่อพญานาคขนาด 5 นิ้ว พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการสูบน้ำจากท่อเดิมโดยเฉลี่ยได้ถึง ร้อยละ 45 – 80 ที่ 3,000 rpm และ เฮด 1.5 เมตร

แต่จากการติดตั้งเพลาสกรูและเคลือบผิวด้วยสารเคลือบอีพอกซี่เซรามิค มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการเคลือบผิว งานวิจัยนี้จึงเป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการติดตั้งเพลาสกรูและเคลือบผิวเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกนเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการสูบน้ำที่เพิ่มขึ้น ว่าคุ้มค่าในการจะลงทุนในการติดตั้งหรือไม่

2. การทดลองและผลการเพิ่มประสิทธิภาพ

2.1 ทฤษฎี อุปกรณ์และการทดลอง

ประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำที่ใช้เครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกน (Axial Flow Pump: AFP) ขึ้นอยู่กับกำลังของของไหลที่ AFP ทำได้ (Fluid power, Pout) โดยคำนวณได้จากสมการที่ 1 [9]

$$P_{out} = \rho g \dot{Q} H \text{ (kW)} \qquad (1)$$

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ, kg/m^3

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก = 9.81 m/s^2

$\dot{Q}$ = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำ, m^3/s

H = เฮดที่เครื่องสูบน้ำทำงาน, m

AFP ที่นำมาทดลองใช้เครื่องยนต์เบนซิน Honda GX160 ขนาด 5.5 แรงม้า เป็นต้นกำลัง ดังนั้นสามารถคำนวณกำลังงานที่ระบบสูบน้ำใช้ เนื่องจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือเป็นกำลังงานที่จ่ายให้กับระบบสูบน้ำ (P_{in}) ได้ดังสมการที่ 2 [9]

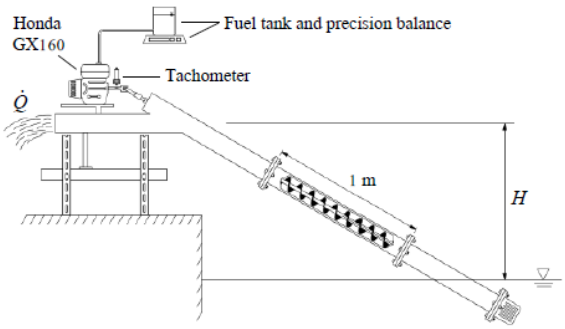
$$P_{in} = \dot{m} \times HHV \text{ (kW)} \qquad (2)$$

$\dot{m}$ = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง, kg/s

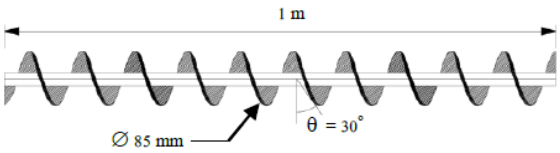
HHV = ค่าพลังงานความร้อนสูงของเชื้อเพลิง = 47,300 kJ/kg

โดยประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำ (Efficiency of pumping system, η_{sys}) คำนวณได้จากสมการที่ 3 [9]

$$\eta_{sys} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \ (\%) \qquad (3)$$



รูปที่ 1 Schematic diagram ของระบบสูบน้ำ ด้วย AFP



รูปที่ 2 ขนาดของเพลาสกรู

รูปที่ 3 การติดตั้งระบบสูบน้ำ ด้วย AFP

รูปที่ 4 การเคลือบผิววัตถุด้วยสารเคลือบผิว

การเพิ่มประสิทธิภาพของ AFP ด้วยเพลาสกรูและเคลือบผิว มีชุดอุปกรณ์การทดลอง ดังรูปที่ 1 โดย AFP มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว (0.12 เมตร) ยาว 3.6 เมตร ใช้ใบพัดแบบ Axial flow ชนิด 3 ใบ ที่มีมุมองศาใบพัด 35 องศา ใช้เครื่องยนต์เบนซิน Honda GX160 ขนาด 5.5 แรงม้าเป็นต้นกำลัง ในขณะที่เพลาสกรูทำจากเหล็กกล้าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 85 มิลลิเมตร มีมุมองศาของเพลาสกรู 30 องศา ความยาวรวม 1 เมตร ดังรูปที่ 2 โดยเพลาสกรู ถูกติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของท่อทางด้านดูด

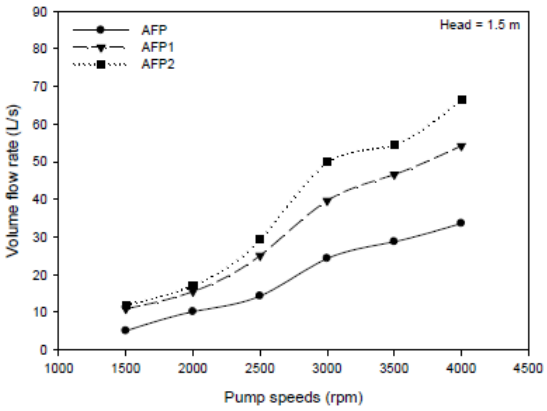
ในการทดลองให้ AFP ทำงานที่ระยะยกน้ำหรือเฮด (H) เท่ากับ 1, 1.5 และ 2 เมตร โดยในแต่ละเฮด ปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ 1,500, 2,000, 2,500, 3,000, 3,500 และ 4,000 rpm ตามลำดับ โดยใช้ Tachometer วัดความเร็วรอบ ในขณะที่อัตราการไหลเชิงปริมาตร ($\dot{Q}$) ของ AFP ได้จากการตวงวัด ปริมาณของน้ำ ที่ปลายท่อทางด้านจ่าย และจับเวลาจำนวนทั้งสิ้น 4 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย ส่วนการวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน ได้จากการชั่งมวลของน้ำมัน ก่อนการทำงานของ AFP และนำมาชั่งหลังจาก AFP ทำงานเป็นระยะเวลา 30 นาที ในแต่ละความเร็วรอบ โดยใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตัล จากนั้นทำการคำนวณกำลังของของไหลที่ AFP ทำได้ (Fluid power, P_{out}) จากสมการที่ (1) คำนวณกำลังงานที่ระบบสูบน้ำใช้เนื่องจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือเป็นกำลังงานที่จ่ายให้กับระบบสูบน้ำ (P_{in}) จากสมการที่ (2) และคำนวณประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำ (Efficiency of pumping system, η_{sys}) ได้จากสมการที่ (3)

โดยการทดลองเริ่มจากเครื่องสูบน้ำปกติ ที่ไม่มีการติดตั้งเพลาสกรูและไม่มีการเคลือบผิว (AFP) ทำการติดตั้งระบบสูบน้ำด้วย AFP ดังรูปที่ 3 เมื่อทดลองเก็บข้อมูลตามเงื่อนไขต่างๆ ตามที่กำหนดแล้ว จึงนำ AFP มาทำการติดตั้งเพลาสกรูความยาว 1 เมตร ที่ตำแหน่งกึ่งกลางท่อทางด้านดูด (AFP1) แล้วทำการทดลองตามเงื่อนไขเดิมอีกครั้งจากนั้นนำ AFP1 มาทำการเคลือบผิวส่วนประกอบต่างๆ (AFP2) ซึ่งขั้นตอนก่อนการเคลือบผิวจะเป็นการยิงทราย เพื่อทำความสะอาดพื้นผิวและเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะผิวของสารเคลือบจากนั้นทำการเคลือบผิวด้านในท่อ, เพลาสกรู และใบพัดด้วยสารเคลือบผิว Bauer Evercote 308 epoxy resin ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นนำ AFP2 มาทดลองตามเงื่อนไขเดิมอีกครั้ง แล้วจึงทำการเปรียบเทียบผลการทดลอง ของ AFP, AFP1 และ AFP2

2.2 ผลการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยขอนำเสนอผลการทดลองที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือระดับยกน้ำ 1.5 เมตร เท่านั้น

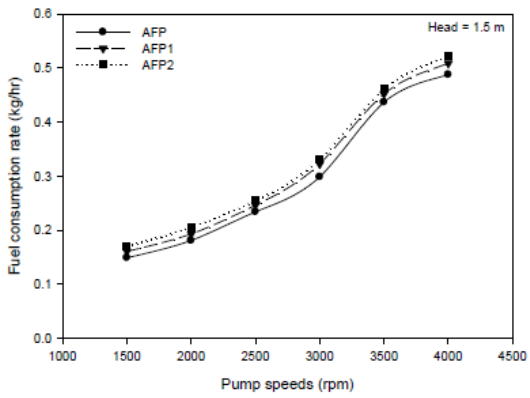
ผลที่ได้จากการทดลอง เมื่อพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงปริมาตร ($\dot{Q}$) ที่เครื่องสูบน้ำสามารถทำได้ ที่ความเร็วรอบต่างๆ ในแต่ละค่าเฮด โดยที่เฮด 1.5 m. ได้อัตราการไหลเชิงปริมาตรสูงที่สุดดังแสดงในรูปที่ 5



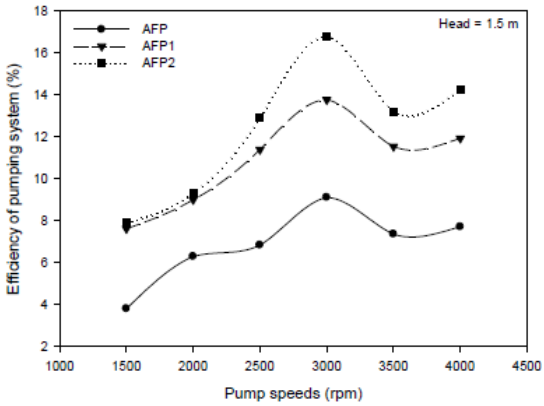
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความเร็ว รอบของ AFP, AFP1 และ AFP2 ที่เฮด 1.5 เมตร

เมื่อเปรียบเทียบ $\dot{Q}$ ระหว่าง AFP, AFP1 และ AFP2 จะเห็นได้ว่าเครื่องสูบน้ำที่มีการติดตั้งเพลาสกรูและเคลือบผิว สามารถให้ $\dot{Q}$ ได้สูงกว่าในทุกๆ ความเร็วรอบเนื่องจากเพลาสกรู มีส่วนช่วยในการถ่ายทอดกำลังให้กับของไหล อีกทั้งการเคลือบผิวยังช่วยลดการสูญเสียพลังงานในการไหลเนื่องจากความเสียดทาน โดยจะเห็นได้ว่าเพลาสกรูส่งผลในการเพิ่มอัตราการไหล ในอัตราส่วนที่มากกว่าการเคลือบผิว ในขณะที่การเคลือบผิวค่อนข้างที่จะส่งผลน้อยในช่วงความเร็วรอบ 1,500 – 2,000 rpm เนื่องจากมีความเร็วในการไหลต่ำแต่จะค่อยๆ ส่งผลเพิ่มมากขึ้น เมื่อความเร็วรอบสูงกว่า 2,000 rpm เนื่องจากมีความเร็วในการไหลสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ($\dot{m}$) ของ AFP, AFP1 และ AFP2 ที่เฮด 1.5 m. ดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าเมื่อเครื่องสูบน้ำทำงานที่ความเร็วรอบสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ต้องการปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นตาม โดยAFP1 และ AFP2 มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน มากกว่า AFP ในทุกๆ ความเร็วรอบ เนื่องจากมีภาระการทำงานที่เพิ่มขึ้น ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากน้ำหนักของตัวเพลาสกรูเองและภาระในการขับเคลื่อนของไหลที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการถ่ายทอดพลังงานของเพลาสกรู รวมถึงการสูญเสียพลังงานในการไหลที่ลดลง เนื่องจากการเคลือบผิว โดยอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของ AFP1 และ AFP2 ค่อนข้างที่จะให้ผลที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเคลือบผิว นอกจากมีส่วนช่วยในการเพิ่มอัตราการไหลให้กับระบบสูบน้ำแล้ว ในขณะเดียวกันยังคงให้ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่ใกล้เคียงกับเครื่องสูบน้ำที่ไม่ได้เคลือบผิว



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันและความเร็วรอบของ AFP, AFP1 และAFP2 ที่เฮด 1.5 เมตร



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำกับความเร็วรอบของ AFP, AFP1 และ AFP2 ที่เฮด 1.5 เมตร

จากรูปที่ 7 แสดงประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำ (η_{sys}) ที่ความเร็วรอบต่างๆ ที่เฮด 1.5 m. จะเห็นได้ว่าเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกนที่นำมาทดลองให้ประสิทธิภาพสูงในช่วงความเร็วรอบ 2,500 – 3,500 rpm โดย AFP มีประสิทธิภาพสูงสุดคิดเป็น ร้อยละ 10.15 เพลาสกรูและการเคลือบผิวส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำเพิ่มสูงขึ้นโดย AFP1 และ AFP2 มีประสิทธิภาพสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 13.75 และ 16.79 ที่ 3,000 rpm และ เฮด 1.5 เมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำ ที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยของ AFP1 และ AFP2 ดังแสดงในรูปที่ 15 เห็นได้ว่า AFP1 และ AFP2 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำให้สูงขึ้นจากเดิมโดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 45 – 80 เมื่อเทียบกับ AFP

3. การวิเคราะห์ความคุ้มค่า

3.1 ราคาวัสดุและอุปกรณ์

เนื่องจาก ในการดัดแปลงเครื่องสูบน้ำ เพื่อให้ได้คุณลักษณะตามที่ต้องการนั้นมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น เช่น การแยกส่วนท่อเพื่อติดตั้งเพลาสกรู, การพ่นทราย, สารเคลือบผิว, การเคลือบผิวเป็นต้น ดังนั้น จำเป็นต้องมีการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีข้อมูลต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าอุปกรณ์ของท่อสูบน้ำและราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

รายการ	ราคา (บาท)
1. ราคาเครื่องสูบน้ำ	4,000
2. ค่าดัดแปลงเครื่องสูบน้ำและเพลาสกรู	1,500
3. ค่าเคลือบผิวท่อและค่าสารเคลือบ (เคลือบผิวจากโรงงาน)	5,000
4. ค่าเชื้อเพลิง (ราคาน้ำมันเบนซิน 95 วันที่ 17-12-2557)	37.36

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. AFP เป็นเครื่องสูบน้ำตามปกติที่ไม่มีการติดตั้งเพลาสกรูและไม่มีการเคลือบผิว
2. AFP1 เป็นเครื่องสูบน้ำที่มีการติดตั้งเพลาสกรู
3. AFP2 เป็นเครื่องสูบน้ำที่มีการติดตั้งเพลาสกรูและเคลือบผิว

โดยให้ AFP, AFP1 และ AFP2 ทำงานภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน คิดเวลาทำงานในการสูบน้ำ 8 ชั่วโมงต่อวัน และปริมาณสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงได้จากการทดลองและคำนวณจากสมการที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำที่สูบได้และอัตาการสิ้นเปลืองนั้นใน 1 วัน

รายการ	ปริมาณน้ำที่สูบได้ (m^3 / วัน)	ปริมาณสิ้นเปลืองน้ำมัน (Litre / วัน)
AFP	700	3.17
AFP1	1,142	3.42
AFP2	1,437	3.52

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อติดตั้งเพลาสรูเพิ่มเข้าไป (AFP1) สามารถเพิ่มปริมาณน้ำที่สูบได้เพิ่มขึ้นคิดเป็น 163 % แต่สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเพียง 1.08 % และ AFP2 สามารถเพิ่มปริมาณน้ำที่สูบได้เพิ่มขึ้นคิดเป็น 205 % แต่สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเพียง 1.11 % เมื่อเปรียบเทียบกับ AFP

ถ้าเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันของ AFP 1 และ AFP 2 ที่ใช้ในการสูบน้ำเท่ากับ AFP (700 m^3 / วัน) พบว่าสามารถประหยัดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้ 1.07 และ 1.46 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณสิ้นเปลืองน้ำมันต่อปริมาณน้ำที่สูบได้ใน 1 วัน

รายการ	ปริมาณสิ้นเปลือง	ส่วนต่างปริมาณสิ้นเปลือง

	น้ำมัน (Litre / วัน)	น้ำมัน (Litre / วัน)
AFP	3.17	0
AFP1	2.1	-1.07
AFP2	1.71	-1.46

เมื่อนำปริมาณสิ้นเปลืองน้ำมันมาคำนวณเป็นมูลค่าที่ราคาน้ำมันเบนซิน 95 วันที่ 17-12-2557 คือ 37.36 บาท/ลิตร พบว่า AFP1 สามารถประหยัดค่าน้ำมันได้เดือนละ 1,200 บาท และ AFP2 สามารถประหยัดค่าน้ำมันได้ถึง 1,620 บาทต่อเดือน ดังแสดงในตามรางที่ 4

ตารางที่ 4 มูลค่าของราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถลดได้

รายการ	มูลค่าปริมาณสิ้นเปลืองน้ำมัน (บาท / วัน)	มูลค่าที่สามารถลดได้ (บาท / วัน)	มูลค่าที่สามารถลดได้ (บาท / เดือน)
AFP	118	-	-
AFP1	78	40	1,200
AFP2	64	54	1,620

เมื่อนำมูลค่าที่สามารถลดได้ต่อวันมาคิดเวลาคืนทุน พบว่า AFP1 จะคืนทุนในเวลาประมาณ 38 วัน และ AFP2 จะคืนทุนในเวลาประมาณ 120 วัน เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายเคลือบผิวสูง ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระยะเวลาคืนทุนของการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่ม

รายการ	ค่าใช้จ่ายในการดัดแปลง (บาท / ชุด)	จำนวนเงินค่าน้ำมันที่ประหยัดได้เมื่อเทียบกับ AFP ใน 1 วัน (บาท / วัน)	ระยะเวลาคืนทุนเทียบกับ AFP (วัน)
AFP	0	0	0
AFP1	1,500	40	≈ 38
AFP2	6,500	54	≈ 120

เมื่อนำมาเปรียบเทียบทางเศรษฐศาตร์ของโครงการที่มีอายุเท่ากันโดยวิธีเทียบเท่าปัจจุบัน ที่อัตราดอกเบี้ย 7 % ต่อปี ของลูกค้ารายย่อยชั้นดี (Minimum Retail Rate) MRR (อ้างอิงข้อมูลจาก ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์ มีผลบังคับใช้วันที่ 20 เมษายน 2548) โดยมีเงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่าเมื่อใช้งานไป 2 ปี AFP2 จะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด คือ 54,719.82 บาท ตลอดอายุการใช้งาน 2 ปี (1 วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง) AFP1 มีต้นทุนค่าใช้จ่ายรองลงมาคือ 55,830.14 บาท ตลอดอายุการใช้งาน 2 ปี (1 วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง) และ AFP มีต้นทุนค่าใช้จ่ายสูงที่สุด คือ 80,454.64 บาท ตลอดอายุการใช้งาน 2 ปี (1 วัน ทำงาน 8 ชั่วโมง)

ตารางที่ 6 รายการค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

รายการค่าใช้จ่าย	AFP	AFP1	AFP2
ราคาอุปกรณ์ (บาท)	4,000	5,500	10,500
ค่าใช้จ่ายต่อปี (ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง)	42,480	28,080	23,040
มูลค่าซาก (บาท)	400	500	500
อายุ (ปี) (อ้างอิงจากระยะเวลารับประกันของทางร้านค้า คือ 6 เดือน)	2	2	2

4. สรุปผลการทดลอง

1. จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าพบว่า การติดตั้งเพลาสกรูและเคลือบผิวเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกนคุ้มค่าในการลงทุน

2. จากการเปรียบเทียบทางเศรษฐศาตร์พบว่า AFP2 มีต้นทุนค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด คือ 54,719.82 บาท ซึ่งใกล้เคียงกับ AFP1 คือ 55,830.14 บาท ซึ่งต่างกันเพียง 1,110.32 บาท แต่ AFP2 นั้นมีขั้นตอนการดัดแปลงยุ่งยากกว่า ทางผู้ลงทุนอาจตัดสินใจเลือก AFP1 แต่ในทางกลับกัน AFP2 ที่มีการเคลือบผิวจะส่งผลให้ตัวท่อและอุปกรณ์มีอายุการใช้งานยาวนานยิ่งขึ้นเนื่องจากสารเคลือบจะไปป้องกันการเกิดการกัดกร่อนและการสึกหรอของอุปกรณ์ และมีการบำรุงรักษาง่ายขึ้น [7] ส่งผลให้ในระยะยาว AFP2 จะคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่า AFP1

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ภายใต้โครงการ “วิจัยและพัฒนาคุณภาพเครื่องสูบน้ำเพื่อเพิ่มสมรรถนะให้สูงขึ้นสำหรับภาคการเกษตร”

เอกสารอ้างอิง

[1] มานพ พิพัฒหัตถกุล, ทรงธรรม เหล่าสุวรรณ, มนัส

ศรีสวัสดิ์, และ วิฑูรย์ อบรม "การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกนด้วยเพลาสกรูและเคลือบผิว" วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 2558.

[2] ธนาพล สุขชนะ และ ชัยยันต์ ใจบุญมา "การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำแบบไหลตามแนวแกนด้วยเพลาสกรู" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 2553.

[3] มานพ พิพัฒหัตถกุล และ วีนัส ทัดเนียม "การเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องสูบแบบไหลตามแนวแกนที่มีและไม่มีเพลาสกรู" วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 24(3), เมษายน 2556, หน้า 41 – 47.

[4] มานพ พิพัฒหัตถกุล และวีนัส ทัดเนียม "ผลกระทบของมุมเพลาสกรูที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องสูบแบบไหลตามแนวแกน" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27, 2556.

[5] Xiaorui Cheng, Rennian Li "Parameter equation study for screw centrifugal pump" Procedia Engineering, Volume 31, 2012, Pages 914-921.

[6] M.A. El Samanody, Ashraf Ghorab, Mamdoh Aboul Fitoh Mostafa "Investigations on the performance of centrifugal pumps in conjunction with inducers" Ain Shams Engineering Journal, Volume 5, Issue 1, March 2014, Pages 146-156.

[7] Jeremie, M. "Coating Technology Increases Pump Performance" Belzona Polymerics Ltd, Claro Road, Harrogate, North Yorkshire HG1, 2008.

[8] ปฐนัธ มีบุญเกิด และ จำลอง ปราบแก้ว "การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของปั๊มแรงเหวี่ยงขนาดใหญ่ก่อนและหลังการเคลือบภายในเรือนปั๊มและใบพัดด้วยสารเซรามิค" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27, 2556.

[9] A.T. Sayers "Hydraulic and Compressible Flow Turbo machines" Singapore: McGraw-Hill, 1992.

การพัฒนาระบบการจัดการเริ่มต้นของธุรกิจอสังหาริมทรัพย์และรับเหมาก่อสร้าง

The Development of Primary Systematic Management of Real Estate Business and Construct Contractor.

วริญญา จันทิมา* และ สุวรรณี อัศวกุลชัย
สาขาวิชาวิศวกรรมธุรกิจ บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400 E-mail: witcherywarin@gmail.com*

Warinya Jantima* and Suwannee Adsavakulchai
Department of Business Engineering, Graduate School,
University of the Thai Chamber of Commerce, Din Daeng, Bangkok 10400, E-mail: witcherywarin@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการจัดการเริ่มต้นของธุรกิจอสังหาริมทรัพย์และรับเหมาก่อสร้าง กรณีศึกษาของบริษัท XYZ จากการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการทางธุรกิจ โดยการประยุกต์ใช้ระบบวางแผนทรัพยากรองค์กร (Enterprise Resource Planning: ERP) เป็นเครื่องมือ เพื่อกำหนดกลยุทธ์และแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการธุรกิจให้สามารถแข่งขันได้ ผลวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานสำหรับองค์กรที่จะนำ ERP มาใช้พบว่า รูปแบบระบบ ERP ที่สามารถนำมาใช้ภายในองค์กรมีอยู่ 2 รูปแบบได้แก่ ซื้อ/เช่า ERP สำเร็จรูปที่มีอยู่แล้วมาปรับใช้ในองค์กร และการพัฒนา ERP ขึ้นมาใหม่ด้วยตนเองจากการเปรียบเทียบทั้งสองรูปแบบ ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสีย โดยสรุปเสนอให้เลือกทำการพัฒนา ERP ขึ้นมาใช้ภายในองค์กร เนื่องจากสามารถปรับให้เข้ากับธุรกิจได้ทุกรูปแบบและราคาถูกกว่า และในส่วนของการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจพบว่า กระบวนการซื้อ ขาย และเช่าอสังหาริมทรัพย์ สามารถลดขั้นตอนการแจกจ่ายงานในกระบวนการ ทำให้ลดระยะเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพ คิดเป็นร้อยละ 16.67 ส่วนกระบวนการรับเหมาก่อสร้างลดขั้นตอนการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 20 อีกทั้งกระบวนการออกแบบงานด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม สามารถทำการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงาน เพื่อให้มีความผิดพลาดน้อยที่สุดในกระบวนการก่อสร้างต่อไป

คำหลัก การพัฒนาระบบ, ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์, รับเหมาก่อสร้าง

Abstract

This paper aims to develop the primary systematic management case study in XYZ Co., Ltd. which has started the business in the real estate and construction. The methodology in this paper is to analyze the business processes for increasing the business efficiency using the Enterprise Resources Planning (ERP) as a tool. Moreover, to determine the strategies and set up the guideline for competitive advantage. The analytical results demonstrated that there are two approaches to apply ERP for the company. The first approach is to buy or rent the commercial-in-the shelf of ERP and the other is to development ERP by the organization itself. However, the both approached had advantage and disadvantage. After comparison, the development ERP by the organization itself is has been chosen due to it can apply in the organization all approaches and economically. According to Business Process Analysis,

it clearly states that purchasing, selling and renting a real estate advance on assignment of individuals. It is less time-consuming and increase the efficient system computed a summary statistic as 16.67%. In addition, it can minimize the prime contractors wasting time and increase 20% growth in efficiency. Functioning architectural and engineering design has refined efficiency for the farthest look at drawbacks of process.

Keywords: primary systematic management, real estate business, constructs, ERP

1. บทนำ

บริษัท XYZ เป็นบริษัทที่ดำเนินกิจกรรมอุตสาหกรรมประเภทอสังหาริมทรัพย์และการรับเหมาก่อสร้าง ปัญหาโดยรวมของบริษัท คือ การจัดการและบริหารการวางตำแหน่งของงานไม่เป็นระบบ ขอบเขตและอำนาจในการตัดสินใจที่ไม่ชัดเจน ถึงแม้ว่าบริษัทได้นำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ร่วมในการดำเนินงาน แต่ก็เป็นเพียงบางส่วน เช่น แผนกการเงินและบัญชี การส่งเสริมการขายและการโฆษณา แต่ก็ยังใช้วิธีการเขียนด้วยมือซึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการทำงาน และข้อมูลสารสนเทศของบริษัทได้สร้างขึ้นมาเพื่อนำมาใช้ในแต่ละส่วนของแผนกแยกกันไป โดยมุ่งเน้นความรวดเร็ว ความสะดวกในแต่ละแผนกเท่านั้น ข้อมูลจึงมีลักษณะเป็นเอกเทศต่อกัน ทำให้การเชื่อมต่อและการไหลของข้อมูลไปได้ช้า เนื่องจากข้อมูลกระจัดกระจายอยู่ในแต่ละแผนก เกิดความซ้ำซ้อนของข้อมูล การดึงข้อมูลในแต่ละแผนกมาใช้ร่วมกันเป็นไปได้ นอกจากนั้นข้อมูลที่เกิดขึ้นในแต่ละแผนกถูกประมวลผลเป็นช่วงๆ (Batch Processing) เช่น อาทิตย์ละครั้งหรือเดือนละครั้ง ทำให้ไม่สามารถตอบสนองได้แบบ Real Time และในการจัดเก็บข้อมูลในลักษณะการกระจายตัวนั้นทำให้เมื่อถึงเวลามีข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) เกิดขึ้นในองค์กร หรือมีข้อมูลเพิ่มมากขึ้นจากข้อมูลเก่า จะเป็นอุปสรรคที่ยากในการจัดการกับปัญหาของข้อมูลที่มีการขยายตัวเพิ่มขึ้น

จากปัญหาดังกล่าว บริษัท XYZ จำเป็นต้องหาวิธีการที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถเชื่อมโยงกระบวนการทางธุรกิจทุกขั้นตอนเข้าด้วยกันอย่างมีระบบ สามารถจัดกระบวนการจัดการสินค้าคงคลังให้ได้มีประสิทธิภาพสูงสุด และมีกำไรสูงสุด ดังนั้นการนำเอา ERP เข้ามาใช้จะเป็นขั้นตอนของการทำให้เกิดกิจกรรมการปฏิรูปองค์กร ซึ่งก็คือการยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันขององค์กร ในด้านต่างๆ เช่นความสามารถในการรับรู้สภาพโดยรวมแบบทันที ชในการตัดสินใจอย่างรวดเร็ว การทันต่อเหตุการณ์ ทั้งนี้เป็นการเตรียมพร้อมตอบรับสถานการณ์ที่มีการแข่งขันสูง ซึ่งเมื่อเกิดปัญหาต่างๆ เกิดขึ้นในองค์กรนั้นไม่สามารถรอได้ ต้องเตรียมแก้ไข ตอบรับและตัดสินใจโดยเร่งด่วน

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการวางแผนการจัดการทรัพยากรองค์กร (ERP) เข้ามาใช้ในบริษัท XYZ รวมถึงการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางธุรกิจให้ทันสมัยและก้าวหน้า และมีความสามารถด้านการพัฒนาสินค้า การบริการและธุรกิจแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพ

2. รูปแบบวิธีการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

2.1 ศึกษาการบริหารจัดการรูปแบบปัจจุบันของบริษัทที่ทำการศึกษาตั้งแต่การศึกษาโครงสร้างการบริหารจัดการภายในองค์กร เพื่อพิจารณาขั้นตอนการไหลของข้อมูล

2.2 นำข้อมูลที่ได้มาศึกษาวิเคราะห์กระบวนการทางธุรกิจ และเปรียบเทียบทิศทาง ความเป็นไปได้ ข้อดีข้อเสียระหว่างการพัฒนา ERP ขึ้นมาใช้เองในองค์กร และการนำERP สำเร็จรูปมาใช้และความเสี่ยงของการนำการบริหารจัดการ ERP เข้ามาใช้แทนระบบการจัดการปัจจุบัน

2.3 นำเสนอข้อมูลที่ได้จากการศึกษา และสรุปผลด้วยการบรรยายเชิงพรรณนา

3. ผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ปัญหาแล้วจะเห็นได้ว่า

3.1 การบริหารจัดการรูปแบบปัจจุบันของบริษัทธุรกิจรับเหมาก่อสร้างและอสังหาริมทรัพย์ เป็นธุรกิจที่มีความเฉพาะตัว การใช้ ERP เข้าช่วยในการบริหารงานและกระบวนการการทำงานขององค์กร สามารถควบคุมงบประมาณ ควบคุมต้นทุน ลดการทำงานซ้ำซ้อน อีกทั้งสามารถเรียกดูข้อมูลโครงการแบบ Real Time เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถสร้างข้อได้เปรียบในทางการแข่งขันในธุรกิจประเภทนี้ได้มากยิ่งขึ้น โดยสรุปส่วนประกอบของระบบ ERP ที่ควรมีของบริษัท XYZ แสดงในภาพที่ 1

3.2 การศึกษาระบบ ERP สำเร็จรูปจาก 3 บริษัท แสดงผลในตารางที่ 1

3.3 ราคาและรายละเอียดของการพัฒนาจาก Framework สำเร็จรูป (Mendix และ Zend) แสดงผลในตารางที่ 2 และ 3

3.4 การศึกษาระบบ ERP ที่จะพัฒนาใช้เองภายในองค์กรการคำนวณต้นทุนในการพัฒนา ERP ตามหลักการต้นทุนและค่าแรงของ Software Engineer

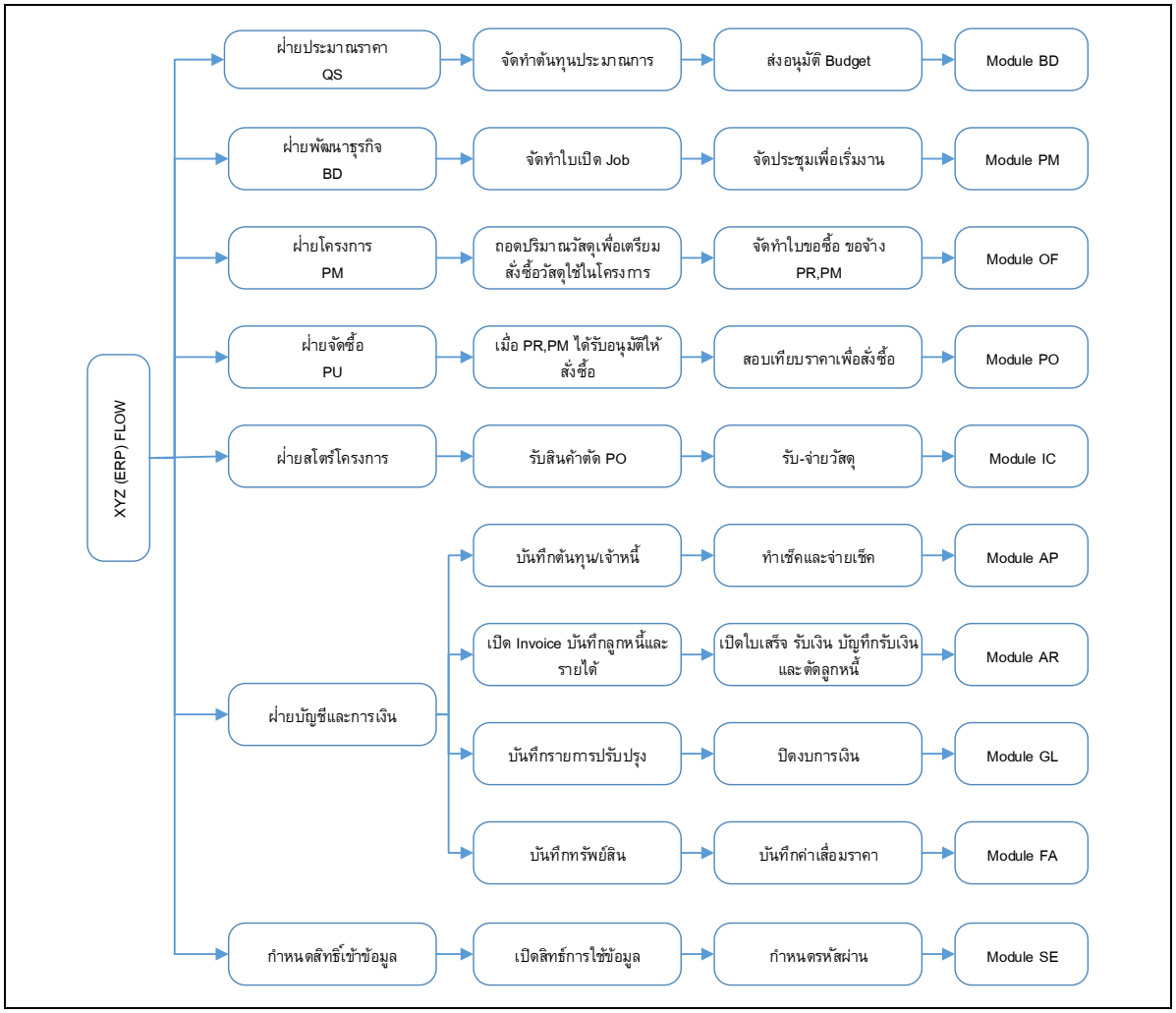
- ผู้พัฒนาโปรแกรมของบริษัท XYZ จำนวน 3 คน ค่าตอบแทนเงินเดือน เดือนละ 15,000 บาท
- ระยะเวลาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ERP ของบริษัท XYZ ในการคำนวณคือ 2 ปี 1 เดือน 10 วัน หรือประมาณ 25.33 เดือน โดยคิดเป็น 26 เดือน

ต้นทุนในการพัฒนา Software ERP

= ค่าแรง x เวลา + ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์

= [(15,000x3) x 26] + [(35x3x30)x26]

= 1,251,900 บาท



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของระบบ ERP ที่ควรมีของบริษัทXY

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการซื้อ/เช่า ERP Software สำเร็จรูป

	บริษัท ABC	บริษัท DEF	บริษัท GHI
Package	ABC.CBS 1 Server Standard,ABC.CBS 1 Server + 5 Licenses	FORMULA SQL 12 MODULES +BI+Mobile Approve	Summary Software ERP, Implement ERP, Software Real Estate, Implement Real Estate
Price (Package)	เริ่มต้นที่ 229,000++	เริ่มต้นที่ 530,000++	เริ่มต้นที่ 750,000++, สำหรับเช่าเริ่มต้นที่ 80,000++ และ 20,000++/เดือน (5 User)
Service MA	การตอบปัญหาทางโทรศัพท์, อีเมลล์, บริการ Remote ช่วยเหลือ, On-site service, Update program, Database Service, Edit From	มี Contact Point ดูแลประจำบริษัท, Upgrade Program, Network Service	Onsite Service, Pre Workshop Training, Customize, Edit/New From, Edit/New Report, GHI Consultant (Office), Customer (Office)
Price (Service MA)	เริ่มต้นที่ 1,000++ และ 15% ของราคาซอฟแวร์ เริ่มนับหลังจากติดตั้งโปรแกรม	เริ่มต้นที่ 100,000++/ปี	เริ่มต้นที่ 7,500++
Training	7 วัน 8Module and Pre-Analysis 1 วัน	การใช้งานโปรแกรม Formula SQL 5 วัน	GHI ERP Package Implement
On-Site Installation	1 วัน	-	Only package standard (Free)
ข้อจำกัด	ไม่สามารถให้บริการCustomize และเจาะจงให้บริการ ERP Software เฉพาะงานด้านการรับเหมาก่อสร้างเท่านั้น	ไม่ให้บริการ Customize โปรแกรม ERP Software เพิ่มได้เพราะเจาะจงด้านใดด้านหนึ่งของธุรกิจเท่านั้น	สามารถทำการ Customize ERP Software ได้ โดยจะทำการประเมินราคาจริงที่จะเพิ่มขึ้นตามความต้องการของลูกค้า และขนาดของงาน

ตารางที่ 2 ราคาและรายละเอียดในการพัฒนาระบบ ERP จาก Framework สำเร็จรูป

	Item	Detail	Price
Mendix	**Community:** Get started with prototypes, demos and small apps	- Apps with up to 10 App Users - Unlimited sandboxes - Community Support - Public Cloud	Free (Start instantly No credit card required)
	BASIC: Single Enterprise App	- One App with your choice of App Users - Add app monitoring, back-up, resource management and enterprise support - Public Cloud	Starts at $1,650 per month
	PRO: Multi-App Bundles	- 5 App Bundle with your choice of App Users - Add multi-app management, deployment, support and SLA options - Public/Private Cloud or On-Premise Deployment	Starts at $2,450 per month
	ENTERPRISE: For Enterprise Wide Deployment	- Any number of Apps and App Users - Scale to any enterprise need - Public/Private Cloud or On-Premise Deployment	Enterprise Agreement
Zend	**Zend Server with Z-Ray**	- **Small Business Edition**	$185/server/month
	Zend Server with Z-Ray	- **Developer Edition - Enterprise**	$80/user/month

3.5 ข้อดีและข้อเสียระหว่างการซื้อ/เช่า ERP Software สำเร็จรูป กับการพัฒนา ERP ใช้เองภายในองค์กร แสดงผลในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อดีและข้อเสียระหว่างการซื้อ/เช่า ERP Software สำเร็จรูปกับการพัฒนา ERP ใช้เองภายในองค์กร

การซื้อ/เช่าERP Software สำเร็จรูป	**การพัฒนาERP ใช้เองภายในองค์กร**
<u>ข้อดี</u>	<u>ข้อดี</u>
- สามารถเลือกระดับการลงทุนได้ ตามความสามารถของโปรแกรมและองค์กร	- ลด Cost of Ownership เนื่องจากสามารถเลือก และพัฒนา ERP ที่มีฟังก์ชั่นเหมาะสมกับบริษัท
- มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การเพิ่มfeatureใหม่ๆ	- ฟังก์ชั่นการดำเนินงานของ ERP ตรงและใกล้เคียงกับธุรกิจขององค์กรมากที่สุด
- มีค่าบริการบำรุงรักษา หรือบริการอื่นๆ	- ออกแบบซอฟต์แวร์ให้ง่ายต่อการใช้งาน
โปรแกรมอยู่ในตลาดมานาน มีลูกค้าเป็นจำนวนมาก ลดความเสี่ยงกับการเจอBug ของโปรแกรมขณะใช้งาน	- มีความยืดหยุ่น ปรับแก้ไขได้ตามความต้องการลดค่าใช้จ่ายการจ้างบุคลากรภายนอกมา Training การใช้ ERP Software
<u>ข้อเสีย</u>	<u>ข้อเสีย</u>
- โปรแกรมมีราคาค่อนข้างสูงมาก	- ใช้เวลานานในการพัฒนาตั้งแต่เริ่มแรกจนครบทุกกระบวนการ
- การ Implement และการ Maintenance โปรแกรมมีค่าใช้จ่ายที่สูง	- พัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้นมาเองมักจะพบกับความล้มเหลวในการนำระบบ ERP ในการออกแบบระบบไม่ครบถ้วน
- ต้องปรับตัวเข้าหาโปรแกรม เนื่องจากการปรับเปลี่ยนโปรแกรมเพื่อให้เข้ากับงานเป็นเรื่องยาก ใช้เวลานาน ค่าใช้จ่ายสูง ผู้ผลิตบางรายไม่สามารถCustomize ตามที่ต้องการได้ผู้ใช้ต้องปรับการทำงานให้เป็นไปความสามารถของโปรแกรมเท่านั้น อาจมีผลกระทบกับการทำงานตามโครงสร้างองค์กร	- ผู้ประกอบการที่ขาดความรู้เรื่องเทคโนโลยีใหม่ๆ มากพออาจทำให้ระบบที่ได้ล้าหลัง ไม่ทันสมัย และไม่รองรับอนาคตอาจสิ้นเปลืองทั้ง เงิน เวลา และบุคลากรตลอดจนค่าใช้จ่ายทั้งทางตรงและทางอ้อม

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลกระบวนการทางธุรกิจ

ผลการวิเคราะห์กระบวนการทางธุรกิจก่อนการปรับปรุง (As Is Process) ของบริษัท XYZ แสดงในตารางที่ 4 และส่วนกระบวนการธุรกิจหลังการปรับปรุง (To Be Process) เฉพาะส่วนที่มีการปรับปรุง แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 กระบวนการทางธุรกิจก่อนการปรับปรุง (As Is Process) ของบริษัท XYZ

กระบวนการหลัก	**กิจกรรมย่อย**
กระบวนการประชาสัมพันธ์โครงการ	- จัดทำแผนการประชาสัมพันธ์ทำการประชาสัมพันธ์โครงการแก่ผู้สนใจ
กระบวนการซื้อ, ขายและเช่า	- ติดต่อประสานงาน, รับงาน
อสังหาริมทรัพย์	- ประเมินความเป็นไปได้ของโครงการ
	- ประเมินความเป็นไปได้ของเจ้าของ(Credit)
	- จัดทำเอกสารสัญญา
	- วางงานและวางแผนงานแจกจ่ายงาน
กระบวนการออกแบบงานด้าน	- ออกแบบทางสถาปัตย์และโครงสร้าง
สถาปัตยกรรมและวิศวกรรม	- ถอด BOQ สถาปัตย์และโครงสร้าง
	- ทำการรวมแบบ
	- จัดทำเอกสารให้ลูกค้าขอใบอนุญาตก่อสร้าง
กระบวนการจัดซื้อ/จัดจ้าง	- จัดประกวดราคา
	- จัดทำการเปรียบเทียบการจัดซื้อ/จัดจ้าง(ระยะเวลาส่งมอบ, ราคา)
	- จัดซื้อ/จัดจ้างจัดการประชุม และสรุปวาระการประชุม
กระบวนการรับเหมาก่อสร้าง	- จัดทำคลังสินค้า Site งาน และบัญชี Site งาน
	- ดำเนินการก่อสร้าง
	- ควบคุมคุณภาพการก่อสร้าง
	- ควบคุมเวลาการก่อสร้างและเสนอแผนควบคุมความปลอดภัย
	- จัดทำเอกสารและส่งเอกสารสรุปการก่อสร้าง งบประมาณและอุปกรณ์ที่เบิกใช้ ให้บริษัท

	ใหญ่ทุกๆ 1 เดือน
กระบวนการทางการเงิน	- จัดทำผังการเปรียบเทียบความเคลื่อนไหวทางการเงิน
	- ส่งมอบงานตามงวดงานและเก็บเงินตามงวด

ตารางที่ 5 กระบวนการธุรกิจหลังการปรับปรุง (To Be Process) ของบริษัท XYZ

กระบวนการหลัก	**กิจกรรมย่อย**
กระบวนการประชาสัมพันธ์โครงการ	ไม่มีการปรับปรุง
กระบวนการซื้อ, ขายและเช่า	- ติดต่อประสานงาน, รับงาน
อสังหาริมทรัพย์	- ประเมินความเป็นไปได้ของโครงการ
	- ประเมินความเป็นไปได้ของเจ้าของ(Credit)
	- จัดทำเอกสารสัญญา และตรวจสอบความถูกต้อง
	- วางงานและวางแผนงาน
กระบวนการออกแบบงานด้าน	- ออกแบบทางสถาปัตย์และโครงสร้าง
สถาปัตยกรรมและวิศวกรรม	- ถอดBOQ สถาปัตย์และโครงสร้าง
	- ทำการรวมแบบ และตรวจสอบความถูกต้องของแบบ
	- จัดทำเอกสารให้ลูกค้า
	- ขอใบอนุญาตก่อสร้าง
กระบวนการจัดซื้อ/จัดจ้าง	ไม่มีการปรับปรุง
กระบวนการรับเหมาก่อสร้าง	- จัดทำคลังสินค้าSite งาน และบัญชีSite งาน
	- ดำเนินการก่อสร้าง
	- ควบคุมคุณภาพการก่อสร้าง เวลาการก่อสร้างและเสนอ
	- แผนควบคุมความปลอดภัย
	- จัดทำเอกสารสรุปงานก่อสร้าง
กระบวนการทางการเงิน	ไม่มีการปรับปรุง

3.7 ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลกระบวนการทางธุรกิจ

ผลจากการปรับ การลดขั้นตอน และเวลาในการปฏิบัติงาน (เฉพาะส่วนที่มีการปรับปรุงกระบวนการ) แสดงในตารางที่ 6 และการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และความถูกต้องของการดำเนินงานแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ผลที่ได้จากการปรับปรุงในการการลดขั้นตอน และเวลาในการปฏิบัติงาน

กระบวนการหลัก	**กิจกรรมย่อย**
กระบวนการซื้อขายและเช่าอสังหาริมทรัพย์	1. ติดต่อประสานงานรับงาน
	2. ประเมินความเป็นไปได้ของโครงการ
	3. ประเมินความเป็นไปได้ของเจ้าของ(Credit)
	4. จัดทำเอกสารสัญญา และตรวจสอบความถูกต้อง
	5. วางงานและวางแผนงาน

ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
จำนวนขั้นตอน	เวลารวม (วัน)	จำนวนขั้นตอน	เวลารวม (วัน)
6	6	5	5

กระบวนการหลัก	**กิจกรรมย่อย**
กระบวนการรับเหมาก่อสร้าง	1. จัดทำคลังสินค้า Site งาน และบัญชี Site งาน
	2. ดำเนินการก่อสร้าง

3. ควบคุมคุณภาพการก่อสร้างเวลาการก่อสร้าง และเสนอแผนควบคุมความปลอดภัย
4. จัดทำเอกสารสรุปงานก่อสร้าง

ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
จำนวนขั้นตอน	เวลารวม (วัน)	จำนวนขั้นตอน	เวลารวม (วัน)
5	ขึ้นอยู่กับชนิดของงานและสเกลของงานนั้นๆ	4	ขึ้นอยู่กับชนิดของงานและสเกลของงานนั้นๆ

<u>หมายเหตุ</u> กระบวนการรับเหมาก่อสร้าง เวลาขึ้นอยู่กับสเกลของงานประเภทของงานมูลค่าและความยากง่ายในการทำงาน เพราะฉะนั้นจึงไม่สามารถกำหนดระยะเวลาที่แน่นอนได้

ตารางที่ 7 การเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และความถูกต้องของการดำเนินงาน

กระบวนการหลัก	**กิจกรรมย่อย**
กระบวนการซื้อขายและเช่าอสังหาริมทรัพย์	1. ติดต่อประสานงาน, รับงาน 2. ประเมินความเป็นไปได้ของโครงการ 3. ประเมินความเป็นไปได้ของเจ้าของ 4. จัดทำเอกสารสัญญา และตรวจสอบความถูกต้องของเอกสารสัญญา 5. วางงานและวางแผนงาน

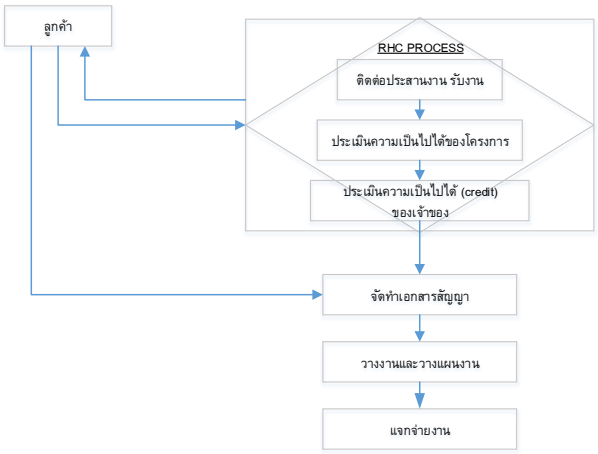
ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
จำนวนขั้นตอน	เวลารวม (วัน)	จำนวนขั้นตอน	เวลารวม (วัน)
6	6	5	5

กระบวนการหลัก	**กิจกรรมย่อย**
กระบวนการออกแบบงานด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม	1. ออกแบบทางสถาปัตย์และโครงสร้าง 2. ถอดBOQ สถาปัตย์และโครงสร้าง 3. ทำการรวมแบบ และตรวจสอบความถูกต้องของแบบ 4. จัดทำเอกสารให้ลูกค้า 5. ขอใบอนุญาตก่อสร้าง

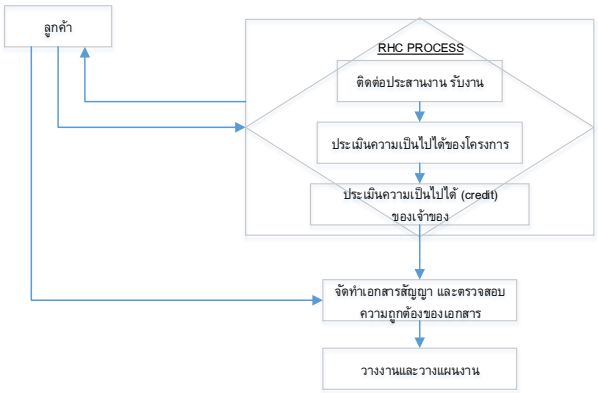
ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
จำนวนขั้นตอน	เวลารวม (วัน)	จำนวนขั้นตอน	เวลารวม (วัน)
5	90	5	90

หลังจากปรับกระบวนการทางธุรกิจของบริษัท XYZ แล้ว จะแสดงให้เห็นว่า Flow ของการทำงานมีการเปลี่ยนแปลงไปตามการปรับปรุง โดยตัวอย่าง Flow ก่อนและหลังการปรับปรุงแสดงในภาพที่ 2

<u>ก่อนการปรับปรุง</u>



<u>หลังการปรับปรุง</u>



ภาพที่ 2 ตัวอย่างเปรียบเทียบ Flow กระบวนการซื้อ, ขายและเช่าอสังหาริมทรัพย์ก่อนและหลังการปรุงปรุง

3.8 ความเสี่ยงในการนำ ERP ไปปฏิบัติใช้ที่ไม่ประสบความสำเร็จของบริษัท XYZ

ในการนำ ERP ปฏิบัติใช้ในองค์กรมีทั้งที่ประสบความสำเร็จและล้มเหลว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพร้อมและความร่วมมือของบริษัทที่ต้องการจะนำ ERP เข้าไปปฏิบัติใช้ในองค์กรเป็นหลัก โอกาสในการที่บริษัท XYZ จะนำ ERP ไปปฏิบัติใช้โดยไม่ประสบความสำเร็จ ได้แก่

1. ผู้บริหารไม่ให้ความสำคัญ และไม่มีความรู้เรื่อง ERP ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหานี้ด้วยวิธีการขอความร่วมมือจากผู้บริหารและทำความเข้าใจในเรื่อง ERP ให้กับผู้บริหารองค์กรเป็นอันดับแรก โดยเฉพาะการนำ ERP เข้ามาใช้นั้น เพื่อปฏิรูปการทำงานขององค์กรและวางรากฐานอย่างมั่นคง ไม่ใช้ให้ฝ่ายสารสนเทศเป็นผู้ผลักดัน
2. มีบุคลากรไม่เพียงพอในการพัฒนา ERP Software เนื่องจากเทคโนโลยีที่ในการพัฒนา ERPมีประมาณ4-5 สาขาวิชา ซึ่งบางครั้งบุคลากรที่มีอยู่ภายในองค์กรอาจไม่มีความเชี่ยวชาญในทุกๆ สาขาวิชา จึงจำเป็นต้องแก้ไปปัญหานี้โดยการจ้างผู้ชำนาญการพิเศษในสาขาอื่นๆ เข้ามาเป็นตัวช่วยในการพัฒนา ERP เป็นครั้งคราว (Outsourcing)
3. การพัฒนา ERP Software ใช้เวลาการพัฒนานาน มีต้นทุนสูง หากการนำไปปฏิบัติใช้ล่าช้ากว่ากำหนดยิ่งทำให้ต้นทุนของการพัฒนาสูงขึ้นกว่าที่ตั้งเป้าหมายไว้ ดังนั้นปัญหานี้สามารถแก้ได้โดยทำการวางแผนงานพัฒนา ERP Software ไว้ล่วงหน้าเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด
4. ผู้บริการยังคงใช้รูปแบบการบริหารโดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมสรุปรายเดือน ทำให้เห็นว่ามีความพยายามต่ำในการเข้าถึงข้อมูลหลังนำ ERP เข้ามาใช้ในองค์กร ทำให้ขาดความก้าวหน้าในการใช้ข้อมูลจาก ERP ในลักษณะ Real Time เพื่อการตัดสินใจ ดังนั้นจึงควรมีการกระตุ้นการใช้ ERP Software ภายในองค์กรเพื่อแก้ปัญหานี้ และจะส่งผลให้มีการใช้งานERP สูงขึ้นภายในองค์กร

4. สรุปผลการศึกษา อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการพัฒนาระบบการจัดการเริ่มต้นของธุรกิจอสังหาริมทรัพย์และรับเหมาก่อสร้างโดยการนำเอาระบบ ERP เข้ามาใช้ในองค์กร ทำให้ระบบการปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถรวมแต่ละแผนกเข้าด้วยกันภายในองค์กร อีกทั้งสามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับองค์กรที่ทำธุรกิจในลักษณะเดียวกันได้โดยสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

- เสนอให้บริษัท XYZ พัฒนา ERP Software ขึ้นมาใช้เองภายในองค์กร เนื่องจากมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนมีการเพิ่มการ Customize ในส่วนอื่นๆ เพิ่มเติม เช่นส่วนของการจัดการอสังหาริมทรัพย์ เป็นต้นต้นทุนต่ำกว่ารูปแบบอื่นๆ

- การนำ ERP เข้ามาปรับปรุงกระบวนการ ช่วยให้มีระยะเวลาในการปฏิบัติงานสั้นลง และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ดังนี้
  - กระบวนการซื้อ ขาย และเช่าอสังหาริมทรัพย์ ลดขั้นตอนการแจกจ่ายงานในกระบวนการ โดยใช้เทคโนโลยีในการกำหนดผู้รับงานได้ทันที หลังจากการวางงานและวางแผนงานเสร็จ เพื่อให้เหมาะกับงานนั้นๆสามารถลดระยะเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพ คิดเป็นร้อยละ 16.67
  - กระบวนการรับเหมาก่อสร้าง ลดขั้นตอนโดยรวมเอากระบวนการการควบคุมคุณภาพงานก่อสร้าง ควบคุมเวลาในการก่อสร้างและทำแผนควบคุมความปลอดภัยเข้าด้วยกัน ลดเวลาในการสรุปเอกสารงานก่อสร้าง สามารถดูรายงานสรุปงานก่อสร้างและความคืบหน้าได้วันต่อวัน เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 20
  - กระบวนการออกแบบงานด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม กระบวนการนี้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานเท่านั้น ไม่สามารถทำการลดเวลาในการทำงานได้ เนื่องจากเป็นงานที่ต้องใช้ระยะเวลาสูง และความรอบคอบเป็นอย่างมาก จึงทำการเพิ่มการตรวจสอบความถูกต้องของการรวมแบบทางวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม เพื่อให้มีความผิดพลาดน้อยที่สุดในกระบวนการก่อสร้างต่อไป

4.1. ข้อเสนอแนะในเชิงกลยุทธ์

บริษัท XYZ สามารถนำกลยุทธ์ในการพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างบริษัทที่ร่วมมือกัน (Partner) เพื่อศึกษากระบวนการการทำงาน เนื่องจากบริษัท XYZ มี Partner อยู่แล้ว และในกรณีที่มีบริษัทที่ร่วมมือกันที่นำ ERP ไปในองค์กรอยู่แล้ว บริษัท XYZ ควรที่จะเข้าไปขอคำแนะนำ เพื่อช่วยสร้างความเข้าใจให้กับคนในองค์กรในเรื่องของ ERP มากขึ้น

บริษัท XYZ สามารถนำกลยุทธ์ทางด้านการขยายตลาดใหม่ จากภาคเหนือลงไปภาคอื่นๆ เนื่องจากบริษัท XYZ เป็นบริษัทที่ครบวงจรในด้านธุรกิจอสังหาริมทรัพย์และรับเหมาก่อสร้างอยู่เป็นทุนเดิม จึงมีความพร้อมที่จะขยายไปสู่ตลาดอื่นมากขึ้น อีกทั้งบริษัท XYZ ยังสามารถนำข้อมูลที่ได้จากระบบ ERP มาวิเคราะห์และทำนายถึงความต้องการทางอสังหาริมทรัพย์ของผู้บริโภค เพื่อตีตลาดให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลานั้นๆ

4.2. ข้อเสนอแนะอื่นๆ

เนื่องจากในงานค้นคว้าอิสระนี้ เป็นการค้นคว้าที่มีการรวบรวมข้อมูลและแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดการสารสนเทศในธุรกิจรับเหมาก่อสร้างและอสังหาริมทรัพย์ที่เพิ่งเริ่มต้น ปัจจัยที่ได้นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มีการศึกษายืนยันให้เข้ากับบริบทของการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นเมื่อสถานการณ์ซอฟต์แวร์หรือสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไป หรือมีปัจจัยใหม่ๆ ที่น่าสนใจเกิดขึ้น เช่น มีซอฟต์แวร์ใหม่ๆ เกิดขึ้น มีการพัฒนาของระบบสารสนเทศที่ไปไกลกว่าเดิม จะส่งผลให้ผลของการวิจัยเปลี่ยนแปลงไป จึงควรที่จะทำการวิจัยซ้ำอักครั้งหนึ่ง เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของ ERP Software จากปัจจัยอื่นๆ ที่มีเพิ่มเติมเข้ามาในช่วงเวลานั้นๆ หรือในช่วงเวลาที่ต่างกัน และเพื่อให้ผลของการศึกษาค้นคว้านี้มีความทันสมัยและสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ต่อไป

ในด้านประสิทธิภาพของ ERP Software หลังจากมีการนำ ERP Software เข้ามาใช้ในองค์กรอย่างจริงจังแล้ว ควรที่จะมีการประเมินผลผู้ใช้ในองค์กรว่า มีการยอมรับเทคโนโลยี ERP Software มากน้อยเพียงใด อีกทั้งเทคโนโลยีใหม่นี้มีความเข้ากันได้กับระบบงานเก่าหรือไม่ เนื่องมาจากการนำเอา ERP Software เข้าไปใช้กับธุรกิจทำให้สภาพแวดล้อมทางธุรกิจภายในองค์กรเปลี่ยนแปลงไป เป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้การนำระบบไปใช้งานเกินการประสบความสำเร็จหรือล้มเหลวได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณี อัศวกุลชัย กรรมการและที่ปรึกษาการค้นคว้า ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. กาญจนา กาญจนสุนทร ประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์ กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ อีกทั้งขอบคุณผู้ให้ข้อมูลทุกท่าน ทั้งจากองค์กรกรณีศึกษา คือ บริษัท เรียลฮับ จำกัด และครอบครัว

เอกสารอ้างอิง

[1] กาญจนา สมุหวิญญ. เปิดเกมธุรกิจด้วย ERP. IT &

E-Manufacturing, สิงหาคม 2547

[2] ตรีทศ เหล่าศีริหงษ์ทอง และ มุนินทร์ ลพบุรี. ประโยชน์และอุปสรรคของ ERP ภายในองค์กร. ส่งเสริมเทคโนโลยี เล่มที่ 180, 2548 (หน้า 109-114).

[3] เตชิด คิดรุ่งเรือง. ERP หัวใจอุตสาหกรรมสิ่งทอไทยหลังเลิกระบบโควตา เทคนิค Technic Magazine เครื่องกลไฟฟ้า-อุตสาหกรรม ปีที่ 21 เล่ม 204, 2548 (หน้า 156-158).

[4] ธีรวัฒน์ อรุโณศรีสกุล. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจเลือกซื้อระบบวางแผนทรัพยากรองค์กรเพื่อสนับสนุนกิจกรรมทางโลจิสติกส์.การบริหารงานโลจิสติกส์ - การประมวลผลข้อมูล. วิทยานิพนธ์ (วท.ม.) - จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

[5] นพวรรณ รักยุติธรรมกุล. การศึกษาการนำซอฟต์แวร์ ERP มาประยุกต์ใช้งานในองค์กรไทย. การบริหารเทคโนโลยี. วิทยานิพนธ์ (วท.ม.)- มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2544

[6] นพศักดิ์ ตันติสัตยานนท์. การบูรณาการระบบบริหารทรัพยากรองค์กร (ERP) บนระบบบริหารจัดการการสอนและฝึกอบรมคอมพิวเตอร์แบบออนไลน์.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550

[7] ปราณี ชะวรรณ์.คุณประโยชน์และข้อจำกัดของ ERP. E-Leader ปีที่ 15 เล่มที่ 10, 2003 (หน้า 98-100).

[8] ปรีชา พันธุมสินชัย.ERP เผยวิธีทำจริง.กรุงเทพฯ: TLAPS, 2547.

[9] วสุวัฒน์ ปันวรนุชกุล. เตรียม ERP เผื่ออนาคต.E-Leader ปีที่ 15 เล่มที่ 7, 2003 (หน้า 84-88).

[10] รภัสสิทธิ์ ชินภัทรจีรัสถ. ปัจจัยสำคัญของความล้มเหลวในการนำระบบ ERP มาใช้ในองค์กร. ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ปีที่ 29 ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน 2554)

การพัฒนาระบบการขนถ่ายภายในคลังสินค้า กรณีศึกษา : บริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

Developing Material Handling System in Warehouse Case Study : Autoparts Manufacturing Company

วันชัย ลีลากวีวงศ์* สุวัฒน์ เณรโต โอรส พินิจรัตนพันธ์ ฐิติวัฒน์ แน่นหนา ธนาณัติ กล้าหาญ
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ. นครปฐม 73000 E-mail: lwanchai@su.ac.th*
ภาควิชาการจัด*การโลจิสติกส์* คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม นครปฐม

Wanchai Leelakaweewong* Suwat Nanetoe Oros Pinitrattanapan Thitiwat Nanna Thananut Garhun
Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology , Silpakorn University, Amphor Muang , Nakornpathom 73000 E-mail: lwanchai@su.ac.th*
Department of Logistics Management, Faculty of Management Science, Nakhon Pathom Rajabhat University, NakhonPathom

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดผังภายในคลังจัดเก็บและการขนถ่ายสินค้า โดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์สนับสนุนการตัดสินใจเปรียบเทียบแบบผังคลังสินค้า โดยเริ่มการสำรวจปัญหา เก็บข้อมูลการขนถ่าย พื้นที่ที่ใช้ในการจัดเก็บสินค้า วิธีการจัดเก็บสินค้าและวิธีการปฏิบัติงานของพนักงาน จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลและหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการขนถ่ายด้วยการปรับปรุงผังโรงงานอย่างเป็นระบบ

ผลการศึกษาการปรับปรุงผังคลังสินค้า จากการประเมินแบบผังโดยการให้ค่าน้ำหนักปัจจัยภายใต้ข้อกำหนด 8 ประการ จะได้ว่าแบบผังที่เหมาะสมที่สุดคือ แบบผังที่ 2 ซึ่งมีค่าระยะทางการขนถ่ายวัสดุลดลงจาก 610 เมตร เป็น 565 เมตร คิดเป็น 7.38% มีการใช้พื้นที่ลดลงจาก 2,072.74 ตารางเมตร เป็น 1,432.77 ตารางเมตร คิดเป็น 30.88% และมีต้นทุนค่าแรงเฉลี่ยต่อปีลดลง 22,239 บาท จากการประเมินแบบจำลองสถานการณ์โดยการให้ค่าน้ำหนักปัจจัย พบว่าแบบผังที่ 2 มีคะแนนเท่ากับ 2 มีคะแนนเท่ากับ 238 คะแนน ซึ่งมากกว่าคะแนนของแบบผังก่อนการปรับปรุง 75 คะแนน คิดเป็น 46.01%

คำหลัก ระบบขนถ่าย คลังสินค้า ชิ้นส่วนยานยนต์

Abstract

The purpose of this research was to designed layout within warehouse and Material Handle with simulation using decision support comparison chart of the warehouse. The first, explore the issue storage area used to store goods how to store many goods and employees performance then analyze the data and find ways to improve the Material Handle more efficiently by improving plant layout system.

The results showed that evaluate planning by providing the weight factors under 8 ways to get the appropriate layout, it is a chart of the two which is the range of materials handling reduced from 610 meters to 565 meters, equivalent to 7.38 % there is the area of 2072.74 square meters, a decrease of

1432.77 square meters, equivalent to 30.88 % average labor costs reduce per year of the assessment 22,239 baht and simulation by providing the weight factor. Layout 2 showed a score of 238 points, the more points the layout before the update 75 points equal to 46.01 %

Keywords: Material Handle Warehouse Autoparts

1.บทนำ

ปัจจุบันการบริหารสินค้าคงคลังนับว่าเป็นสิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ผู้บริหารจะต้องนำมาพิจารณาในการดำเนินธุรกิจ ทั้งนี้เพราะการมีสินค้าคงคลังที่มีปริมาณมากเกินไป ส่งผลให้มีต้นทุนจมในปริมาณที่สูง ซึ่งธุรกิจทางด้านชิ้นส่วนยานยนต์นี้ถือว่าเป็นธุรกิจที่มีการขยายตัวที่สูงและมีอัตราการแข่งขันที่สูงมากเช่นกัน ดังนั้น บริษัทจำเป็นต้องพัฒนาตัวเองเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์การส่งมอบสินค้าให้ทันเวลาและการลดต้นทุนการผลิตทุกๆ ด้านรวมไปถึงการมีสินค้าคงคลังในปริมาณที่เหมาะสม โดยใช้หลักการศึกษาการทำงาน เข้ามาประกอบในการวิเคราะห์ปรับปรุงการวางผังคลังสินค้าและ ใช้การจำลองเพื่อประเมินเลือกแบบที่เหมาะสมที่สุด

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อจัดผังภายในคลังสินค้าสำหรับสินค้าและการขนส่งสินค้า

3. วิธีการวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลการจัดส่งสินค้าของโรงงานที่ศึกษา

3.2 วิเคราะห์การไหลของวัตถุดิบภายในคลังสินค้า

3.3 วางผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning)

3.4 สร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจเลือกแผนผังคลังสินค้าที่เหมาะสม

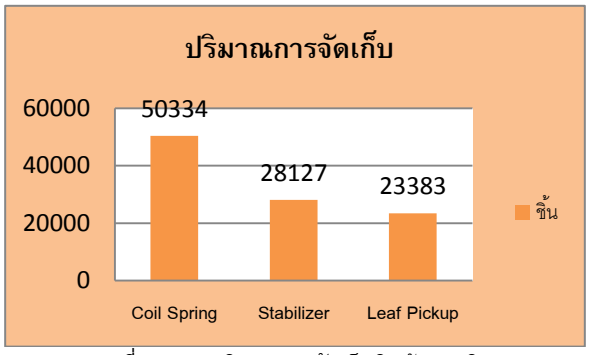
3.5 ประเมินผลเลือกแนวทางการปรับปรุงคลังสินค้าที่เหมาะสม

3.6 สรุปผลการดำเนินงาน

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาข้อมูล

จากการศึกษาผังคลังสินค้าและสร้างแบบจำลองสถานการณ์ปัจจุบันมีสินค้าจัดเก็บทั้งหมด 3 ชนิด คือ แหนบรถกระบะ (Leaf Pickup),เหล็กกันโคลง (Stabilizer),คอยล์สปริง (Coil Spring) โดยมีปริมาณการจัดเก็บและสัดส่วน คือ คอยล์สปริง (Coil Spring) มีการจัดเก็บอยู่ที่ 50,334 ชิ้น ในส่วนของเหล็กกันโคลง (Stabilizer) มีการจัดเก็บอยู่ที่ 28,127 ชิ้น และ แหนบรถกระบะ (Leaf Pickup) มีการจัดเก็บอยู่ที่ 23,383 ชิ้น ซึ่งคอยล์สปริง (Coil Spring) มีการจัดเก็บที่สูงสุดคิดเป็นร้อยละ 49 ของสินค้าทั้งหมด แสดงปริมาณการจัดเก็บสินค้า 3 ชนิด



รูปที่ 1 แสดงปริมาณการจัดเก็บสินค้า 3 ชนิด

ตารางที่ 1 พื้นที่และปริมาตรของภาชนะที่ใช้ในการจัดเก็บ

ประเภทสินค้า	รูปภาชนะ	กว้าง x ยาว x สูง	ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)
คอยล์สปริง		1.2 x1.4 x 1	1.68
แหนบรถกระบะ		1.1 x1.5 x 0.7	1.65
เหล็กกันโคลง		1.05 x1.51 x 1.56	1.59

4.2 ผลการวิเคราะห์ระบบการทำงาน ของกระบวนการจัดส่งสินค้า โดยใช้การศึกษาเวลาทำงานและการเคลื่อนที่

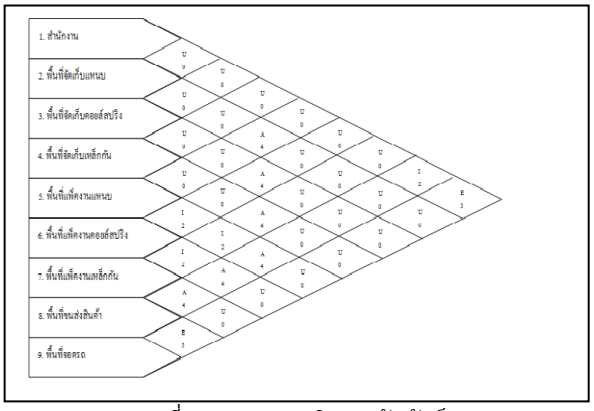
การจับเวลาการทำงานจึงได้ทำการหาเวลามาตรฐานทั้ง 3 ชนิด จึงได้ออกมาเป็นแผนภูมิการไหลของกระบวนการ (Flow Process Chart) และนำมาเขียนเป็นแผนผังการไหล (Flow Diagram) ก่อนการปรับปรุง

รูปที่ 2 แสดงแผนผังการไหลของผังก่อนการปรับปรุง (Flow Diagram)

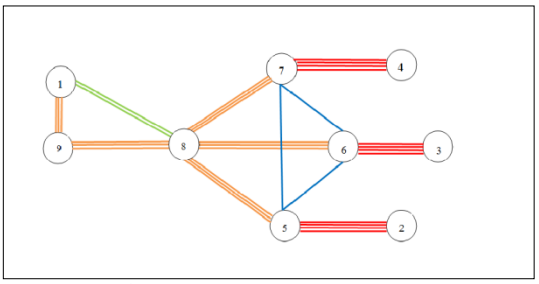
จากรูปที่ 2 พบว่า แผนผังการไหลของผังก่อนการปรับปรุงในส่วนของแหนบรถกระบะ โดยมีขั้นตอน คือ พนักงานนำใบสั่งสินค้าจากสำนักงานไปส่งยังจุดแพ็คงาน จากนั้นพนักงานไปตักสินค้ามายังจุดแพ็คสินค้าและตักสินค้าไปยังจุดจัดส่งสินค้าและเมื่อลูกค้ามาถึงจึงมีการตักสินค้าจากจุดจัดส่งสินค้าขึ้นรถ โดยใช้ระยะทางการไหลรวมทั้งหมด 175 เมตร

4.3 ผลการออกแบบแผนผังคลังสินค้า

จากผลการศึกษาแผนผังการไหล (Flow Diagram) ทำให้ทราบว่ามีระยะการขนถ่ายและเวลาโดยแบ่งงานออกได้แบ่ง 9 สถานีดังรูปที่ 3 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์



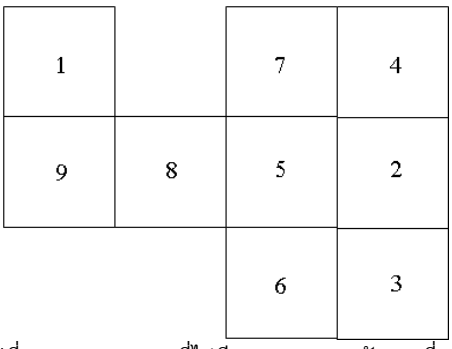
รูปที่ 3 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์



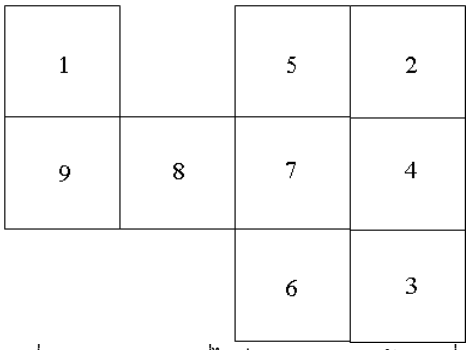
รูปที่ 4 แสดงแผนภาพความสัมพันธ์ของกิจกรรม

หลังจากได้แผนภูมิความสัมพันธ์ของกิจกรรมและแผนภาพความสัมพันธ์ของกิจกรรมแล้ว ทำการออกแบบแผนภาพที่ไม่มีขนาด (Dimensionless diagram) ซึ่งช่วยในการหาความสัมพันธ์ระหว่างแผนภูมิและแผนกงานได้เป็นอย่างดี ผังภายในคลังสินค้าที่ออกแบบมีทั้งหมด 2 แผนผัง ดังต่อไปนี้

1.แผนภาพที่ไม่มีขนาด

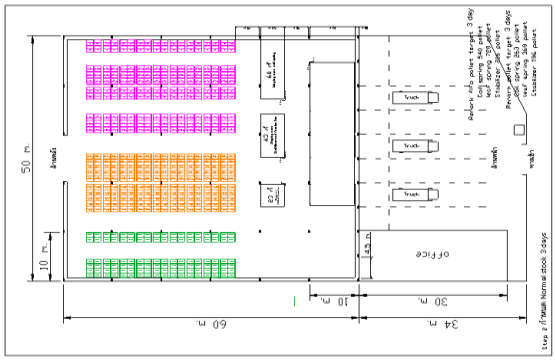


รูปที่ 5 แสดงแผนภาพที่ไม่มีขนาดของแผนผังแบบที่ 1

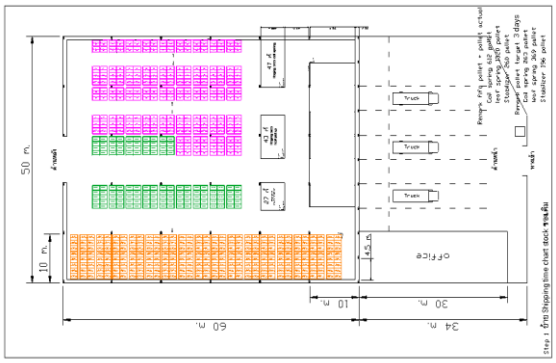


รูปที่ 6 แสดงแผนภาพที่ไม่มีขนาดของแผนผังแบบที่ 2

2. แผนภาพแบบละเอียด



รูปที่ 7 แสดงแผนผังแบบที่ 1



รูปที่ 8 แสดงแผนผังแบบที่ 2

จากนั้นทำการวิเคราะห์ระยะทางในการไหลในแต่ละแบบ ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงระยะทางการไหลที่เปลี่ยนแปลง

กระบวนการไหล	ก่อน (เมตร)	แบบที่ 1 (เมตร)	แบบที่ 2 (เมตร)
พนักงานนำใบจัดสินค้า ไปใส่กล่องหน้างาน	172.5	152.5	152.5
ตักชิ้นงานตามใบจัดสินค้า	175	205	145
ตักชิ้นงานไปที่จุดจัดส่งสินค้า	132.5	65	65
ตักชิ้นงานขึ้นรถ	130	202.5	202.5
รวม	610	625	565

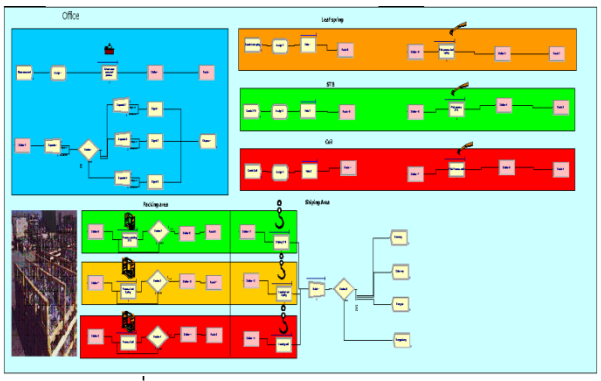
แล้วทำการวิเคราะห์พื้นที่ทั้งหมดภายในคลังสินค้าในแต่ละแบบ ได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการใช้พื้นที่ภายในคลังสินค้า ก่อน – หลัง การปรับปรุง

ที่	รูปแบบแผนผัง	พื้นที่ที่ใช้ (ตารางเมตร)	พื้นที่ว่าง (ตารางเมตร)
1	ก่อนปรับปรุง	2,072.74	927.26
2	ผังแบบที่ 1	1,218.87	1,781.13
3	ผังแบบที่ 2	1,432.77	1,567.23

4.4 ผลการออกแบบและสร้างแบบจำลองสถานการณ์

จากการศึกษาสามารถสรุปเป็นแผนผังเพื่อสะดวกต่อการคำนวณและการวิเคราะห์พื้นที่และเวลาได้ ดังนี้



รูปที่ 9 แสดงแผนผังลูกศรการผลิต (Arrow Diagram)

จากรูปที่ 9 พบว่า สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ โดยส่วนแรกจะเป็นจำนวนสินค้าที่มีอยู่ภายใน

คลังสินค้า ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของสำนักงานมีหน้าที่คอยส่งยอดการสั่งของลูกค้ามาในแต่ละลูกค้า ส่วนที่สามจะเป็นการแพ็คสินค้าส่วนนี้มีหน้าที่รับสินค้าในการตักจากกระบวนการ ส่วนที่สี่จะเป็นจุดขนส่งสินค้ามีหน้าที่รับสินค้าจากการแพ็คมาพักไว้เพื่อรอการขนส่งขึ้นรถบรรทุกสินค้าและเมื่อรถมารับสินค้าก็จะเป็นการสิ้นสุดกระบวนการ

เมื่อจำลองสถานการณ์ผังแบบที่ 1 และผังแบบที่ 2 สามารถเปรียบเทียบกัน

ตารางที่ 4 การจำลองสถานการณ์การตักสินค้า

ที่	ประเภทสินค้า	ก่อนปรับปรุง (รอบ)	แบบที่ 1 (รอบ)	แบบที่ 2 (รอบ)
1	คอยล์สปริง	198.13	197.24	207.58
2	แหนบรถกระบะ	349.14	264.35	339.75
3	เหล็กกันโคลง	186.11	187.21	201.44

ตารางที่ 5 วิเคราะห์ต้นทุนต่อปี

แผนผังแบบที่	ต้นทุนค่าแรง	ต้นทุนการขนถ่าย	รวม
1	+7089	+324	-7,413
2	-21,267	-972	-22,239

*หมายเหตุ + หมายถึง ระยะทางการไหลที่เพิ่มขึ้น
- หมายถึง ระยะทางการไหลที่ลดลง

จากตารางที่ 5 พบว่า รูปแบบที่ 1 จะมีต้นทุนต่อปีเพิ่มขึ้นจากรูปแบบก่อนการปรับปรุง เป็นจำนวนเงิน 7,413 บาทต่อปีและแบบที่ 2 จะมีต้นทุนต่อปีลดลงจากรูปแบบก่อนการปรับปรุง เป็นจำนวนเงิน 22,239 บาทต่อปี

4.5 ผลการประเมินแบบผังคลังสินค้า

หลังจากได้แผนผังโรงงานทั้ง 2 แบบ จึงทำการประเมินผลผังโรงงาน

ตารางที่ 6 การประเมินแบบผังโดยการให้ค่าน้ำหนักปัจจัย

ที่	ปัจจัย	น้ำหนัก	ก่อนปรับปรุง	แบบที่ 1	แบบที่ 2
1	ระยะทางในการเคลื่อนที่	15	15 C	30 B	45 A
2	พื้นที่ทั้งหมดในการจัดเก็บ	14	14 C	42 A	28 B
3	ต้นทุนที่เปลี่ยนแปลง	13	26 B	13 C	39 A
4	ง่ายแก่การควบคุม	13	39 A	13 C	26 B
5	ประสิทธิภาพในการตักสินค้า	13	26 B	13 C	39 A
6	ความปลอดภัยในการทำงาน	13	39 A	13 C	26 B
7	สามารถเปลี่ยนแปลงจากเดิมง่าย	12	0 D	12 C	24 B
8	การใช้ประโยชน์พื้นที่ทางสูง	10	10 C	30 A	20 B
9	ความพอใจของเจ้าหน้าที่	10	20 B	10 C	30 A
	รวม	100	189	176	277

เกณฑ์การให้คะแนน

A คือ ผังที่ได้ผลเหมาะสมที่สุดและดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 3
B คือ ผังที่ได้ผลเหมาะสมระดับปานกลาง มีค่าเท่ากับ 2
C คือ ผังที่ได้ผลเหมาะสมระดับน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 1
D คือ ผังที่ไม่มีการเปลี่ยน มีค่าเท่ากับ 0

จากตารางที่ 6 พบว่า การให้ค่าน้ำหนักปัจจัยของแบบผังคลังสินค้า แบบผังที่ 1 มีคะแนนเท่ากับ 176 คะแนน ซึ่งเท่าน้อยกว่าคะแนนของแบบผังก่อนการปรับปรุง 13 คะแนน คิดเป็น 6.87% และแบบผังที่ 2 มีคะแนนเท่ากับ 277 คะแนน ซึ่งมากกว่าคะแนนของแบบผังก่อนการปรับปรุง 88 คะแนน คิดเป็น 46.56%

5. สรุป

ทำผลการศึกษาการปรับปรุงผังคลังสินค้า จากการประเมินแบบผังโดยการให้ค่าน้ำหนักปัจจัยภายใต้ข้อกำหนด 8 ประการ จะได้ว่าแบบผังที่เหมาะสมที่สุดคือ

แบบผังที่ 2 ซึ่งมีค่าระยะทางการขนถ่ายวัสดุลดลงจาก 610 เมตร เป็น 565 เมตร คิดเป็น 7.38% มีการใช้พื้นที่ลดลงจาก 2,072.74 ตารางเมตร เป็น 1,432.77 ตารางเมตร คิดเป็น 30.88% และมีต้นทุนค่าแรงเฉลี่ยต่อปีลดลง 22,239 บาท จากการประเมินแบบจำลองสถานการณ์โดยการให้ค่าน้ำหนักปัจจัย พบว่าแบบผังที่ 2 มีคะแนนเท่ากับ 1359.25 คะแนน ซึ่งมากกว่าคะแนนของแบบผังก่อนการปรับปรุง 55.5 คะแนน คิดเป็น 4.26%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม

เอกสารอ้างอิง

[1] วัชรินทร์ สิทธิเจริญ, การศึกษางาน, กรุงเทพฯ :โอเดียนสโตร์, 2547

[2] รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ, คู่มือการสร้างแบบจำลอง ด้วยโปรแกรม Arena, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด, 2551

[3] นวรัตน สระบัว, การออกแบบและการจัดการคลังสินค้า, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547

[4] สุลภัส เครือกาญจนา, เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานด้วย ไคเซ็น : Kaizen, กรุงเทพฯ : สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2550.

[5] W.David Kelton, Randall P.Sadowski and David T.Sturrock,2007,Simulation with Arena, 4th ed., McGraw-Hill, New York, pp.268-280

[6] W.David Kelton, Randail P.Sadowski, David T.Sturrock, Simulation with Arena Third Edition, Singapore: The McGraw-Hill Co mpanies, 2003

การประยุกต์ใช้ความน่าเชื่อถือเพื่อหาอายุการใช้งานของชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สำคัญ

The Applied Reliability of Mean Time Between Failure for Critical Component

วันชัย ลีลากวีวงศ์* สุขุม โฆษิตชัยมงคล สุริยกาล ชุมแสง ณัฐพงษ์ ทาเอื้อ
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ. นครปฐม 73000 E-mail: lwanchai@su.ac.th*

Wanchai Leelakaweewong* Sukhum Kositchaimongkol Suriyakal chumsaeng Nuttapong Thaauer
Department of Industrial Engineering and Management,Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Silpakorn University, Muang, Nakornpathom, 73000, E-mail: lwanchai@su.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าอายุเฉลี่ยของชิ้นส่วนอุปกรณ์ก่อนการเสียหาย(Mean Time Between Failure: MTBF) ในอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลหนักตามหลักของกิจกรรมการบำรุงรักษาบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือ (Reliability Centered Maintenance) โดยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลประวัติการซ่อมของรถเครนสี่ล้อยาง แล้ววิเคราะห์ความสำคัญของชิ้นส่วนอุปกรณ์ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weight Average) และนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความเสียหายเพื่อหาชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงด้วยวิธีการวิเคราะห์คุณลักษณะความเสียหายและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis) จากนั้นคำนวณหารอบอายุการใช้งานที่เหมาะสมโดยใช้วิศวกรรมความน่าเชื่อถือ (Reliability Engineering)

ผลการศึกษาพบว่าแนวทางการประยุกต์ใช้กิจกรรมการบำรุงรักษาบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือมีอะไหล่ที่สำคัญทั้งหมด 35 รายการ และเมื่อวิเคราะห์อะไหล่ที่มีความเสี่ยง (Risk Piority Number : RPN) มากกว่า 18 พบว่า อะไหล่ที่มีความเสี่ยง 7 รายการคือ มอเตอร์สตาร์ท, ไดร์ชาร์จ, เซฟตี้ตัวตัดร็อกแบบกลม, สลิงรอกเล็ก ,สลิงรอกใหญ่ , คอมเพรสเซอร์ และกระบอกปั๊มแยก มีค่า RPN 27 , 18 , 24 , 24 , 24 , 24 และ 18 ตามลำดับ พร้อมทั้งหาอายุเฉลี่ยก่อนการเสียหาย 3,151 4,665 2,810 2,040 1,706 4,275 และ 3,300 ชั่วโมง ตามลำดับ

คำหลัก ความน่าเชื่อถือ ชิ้นส่วนที่สำคัญ อายุเฉลี่ยก่อนการเสียหาย

Abstract

The purpose of this research was to find the Mean Time Between Failure in Heavy Machinery Industrial is operated in Reliability Centered Maintenance Activity. Beginning , gathering for repairing data of Rough Terrain Crane then analyzed critical component in Weight Average Method. The data of weight average method , which was analyzed the failure of component, have the risk for Failure Mode and Effects Analysis. After that calculate the lifetime of suitable for Reliability Engineering.

The result of this research, Reliability Centered Maintenance Activity had critical component 35 list then analyzed the lifetime average for the risk of component (Risk Piority Number : RPN >18) had 7 lists such as Starter Motor, Alternator, Limit Switch, Wire Rope Sling Small Pulley, Wire Rope Sling, Big Pulley

and Seat Fuel Filter. RPN were 27 , 18 , 24 , 24 , 24 , 24 and 18 by Sequence. Mean Time Between Failure respectively were 3,151 4,665 2,810 2,040 1,706 4,275 and 3,300 by Sequence

Keywords: Reliability, Critical Component Mean, Time Between Failure

1.บทนำ

ธุรกิจบริการให้เช่าเครื่องจักรทันสมัยและได้รับมาตรฐานหลากหลายประเภท เช่น เครื่องจักรเพื่อการยกย้ายในงานก่อสร้าง เครื่องจักรเพื่อการเคลื่อนย้ายในโรงงาน เครื่องจักรเพื่องานโยธา เครื่องจักรเพื่อการขนส่ง เป็นต้น เครื่องจักรหนักจึงควรถูกต้องมาตรฐานและมีความน่าเชื่อถือ เพื่อให้ลูกค้าที่บริการได้รับความไว้วางใจ จากการวิจัย พบว่า การซ่อมของเครื่องจักรในกรณีเครื่องจักรเสียยังมีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกปี อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการซ่อมและบำรุงรักษามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น[1] การควบคุมการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ในการผลิตให้มีประสิทธิภาพเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญและส่งผลโดยตรงต่อการดำเนินไปอย่างต่อเนื่องของกระบวนการ การยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์[2] ปริมาณผลผลิต ความปลอดภัย รวมถึงความน่าเชื่อถือของอุตสาหกรรม

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาอะไหล่ที่มีความสำคัญและมีผลต่อการใช้งานของรถเครนสี่ล้อยาง

3. วิธีการวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลเครื่องจักร/ระบบ

3.2 แบ่งปัญหาการซ่อมออกเป็นระบบย่อย

3.3 วิเคราะห์ความสำคัญของชิ้นส่วนอุปกรณ์ในแต่ละระบบย่อยที่เลือก

3.4 วิเคราะห์คุณลักษณะความเสียหายและผลกระทบของชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สำคัญ

3.5 หาอายุชิ้นส่วนอุปกรณ์โดยใช้หลักการวิศวกรรมความน่าเชื่อถือ[3]

3.6 สรุปผลการดำเนินงาน

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาข้อมูล

เครื่องจักรสามารถแบ่งออกเป็น 7 ประเภท และมีประวัติการซ่อมดังนี้

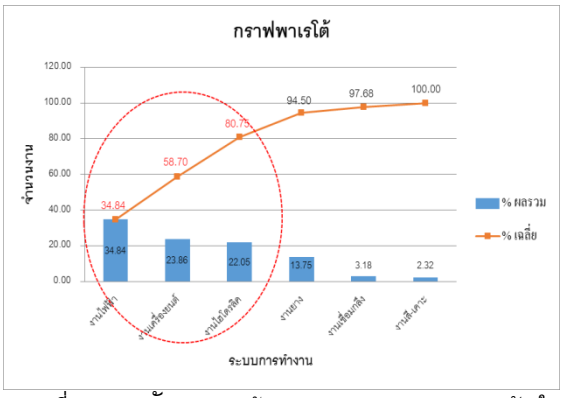
ตารางที่ 1 ประเภทรถปริมาณรถและปริมาณงานซ่อม

ประเภทเครื่องจักร	ปริมาณรถ	ปริมาณงานซ่อม
TS	8	79
TB	7	414
RC	119	3375
CC	19	413
EX	13	524
LT	64	983
TT	8	175

จากตารางที่ 1 พบว่า เครื่องจักรประเภท RC มีปริมาณการซ่อมมากที่สุด จึงทำการเลือกเครื่องจักรประเภทนี้ในการปรับปรุงแก้ไข

4.2 ผลการศึกษาสาเหตุการซ่อม

การแจ้งซ่อมของรถ RC ขนาด 25 ตัน ที่แบ่งตามระบบ ได้ดังนี้



รูปที่ 1 แสดงปัญหาการแจ้งซ่อมของรถ RC ขนาด 25 ตัน ในระยะเวลา 3 ปี

จากรูปที่ 1 พบว่า จากการแจ้งซ่อมระบบรถ RC ขนาด 25 ตัน 80 เปอร์เซ็นต์มี งานไฟฟ้า งาน

เครื่องยนต์ งานไฮโดรลิกส์ เท่ากับ 34.84, 23.86 และ 22.05 ตามลำดับ

4.3 ผลการวิเคราะห์ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สำคัญ

การวิเคราะห์ชิ้นส่วนงานของระบบ งานไฟฟ้า งานไฮดรอลิกส์ และงานเครื่องยนต์ จะทำการเลือกพิจารณาเฉพาะชิ้นส่วนที่มีความสำคัญก่อน ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ตารางที่ 2 เกณฑ์การแบ่งกลุ่มความสำคัญของชิ้นส่วนอุปกรณ์

การแบ่งกลุ่มความสำคัญของชิ้นส่วนอุปกรณ์	ค่าเฉลี่ย	ความสำคัญ
ได้รับการเอาใจใส่ในการบำรุงรักษาเป็นอย่างดี (สำคัญมาก)	≥ 2.75	A
ได้รับการเอาใจใส่ในการบำรุงรักษาพอสมควร (สำคัญปานกลาง)	2.01-2.74	B
ได้รับการเอาใจใส่ในการบำรุงรักษาน้อย (สำคัญน้อย)	≤ 2.00	C

ตารางที่ 3 การแบ่งกลุ่มความสำคัญของชิ้นส่วนอุปกรณ์ของรถเครนสี่ล้อยางขนาด 25 ตัน

ระบบการทำงาน	จำนวนชิ้นส่วนในลำดับ		
	A	B	C
ระบบไฟฟ้า	12	1	0
ระบบไฮโดรลิกส์	13	0	0
ระบบเครื่องยนต์	10	3	1

4.4 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะความเสียหายและผลกระทบที่ตามมา (Failure Mode and Effects Analysis :FMEA) [5] ของชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สำคัญ

เมื่อทำการวิเคราะห์ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สำคัญด้วย FMEA แล้วผู้วิจัยได้เลือกชิ้นส่วนที่มีค่า RPN มากกว่า 18 มาทำการแก้ไขได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ชิ้นส่วนอุปกรณ์สำคัญที่นำมาแก้ไข

ชิ้นส่วนอุปกรณ์	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	RPN
1 มอเตอร์สตาร์ท	เกิดจากออโตเมติกไม่ยิงไปขับล้อช่วยแรงหรือเฟืองสึกหรอ	27
2 ไดร์ชาร์จ	เกิดจากแปรงถ่านหมดสภาพ	18
3 เซฟตี้ตัวตัดร็อกแบบกลม	เกิดจากชุดสปริงในตัวเซพตี้ชำรุด	24
4 สลิงรอกเล็ก	เกิดจากสลิงหมดสภาพการใช้งาน แตกเกินมาตรฐาน	24
5 สลิงรอกใหญ่	เกิดจาก สลิงหมดสภาพการใช้งาน แตกเกินมาตรฐาน	24
6 คอมเพชรเซอร์	เกิดจากหน้าคลัชไม่ทำงาน	24
7 กระบอกปั๊มแยก	เกิดจากปั๊มแยกสึกหรอ	18

จากตารางที่ 4 พบว่า ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สำคัญที่เลือกนำมาแก้ไขมี 7 รายการ ได้แก่ มอเตอร์สตาร์ท , ไดร์ชาร์จ, เซฟตี้ตัวตัดร็อกแบบกลม, สลิงรอกเล็ก , สลิงรอกใหญ่, คอมเพชรเซอร์ ,กระบอกปั๊มแยก ซึ่งมีค่า RPN เท่ากับ 27 , 18 , 24 , 24 , 24 , 24 และ 18 ตามลำดับ

4.5 ผลการหาอายุชิ้นส่วนอุปกรณ์โดยวิศวกรรมความน่าเชื่อถือ

4.5.1 ผลการรวบรวมช่วงเวลาความเสียหายของชิ้นส่วนอุปกรณ์

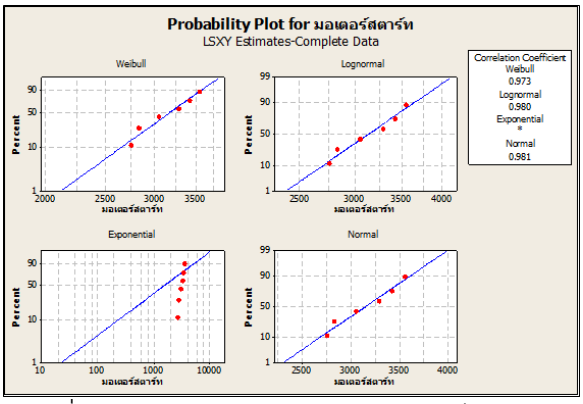
ตารางที่ 5 ช่วงเวลาความเสียหาย (TTF) ของชิ้นส่วนอุปกรณ์ (หน่วย : ชั่วโมง)

ชิ้นส่วน	ลำดับที่	จำนวนชั่วโมง
1. มอเตอร์สตาร์ท	1	2754
	2	2832
	3	3057
	4	3289
	5	3422
	6	3554

ตารางที่ 5 ช่วงเวลาความเสียหาย (TTF) ของชิ้นส่วนอุปกรณ์ (หน่วย : ชั่วโมง) (ต่อ)

ชิ้นส่วน	ลำดับที่	จำนวนชั่วโมง
2.ไดร์ชาร์จ	1	3976
	2	4112
	3	4205
	4	5413
	5	5564
3.เซฟตี้ตัวตัดร็อก	1	1931
	2	2137
	3	2394
	4	2586
	5	2909
	6	3415
	7	4218
4.สลิงรอกเล็ก	1	1132
	2	1386
	3	1793
	4	2135
	5	2403
	6	2662
	7	3805
5.สลิงรอกใหญ่	1	1363
	2	1372
	3	1882
	4	2403
6.คอมเพชรเซอร์	1	4019
	2	4117
	3	4393
	4	4566
7.กระบอกปั๊มแยก	1	2534
	2	3082
	3	3488
	4	4096

4.5.2 ผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของช่วงเวลาความเสียหายของชิ้นส่วนอุปกรณ์และสถิติที่ใช้ในการทดสอบภาวะสารูปสนิทดี (Goodness of Fit Test) [4] สามารถแบ่งได้ตามแต่ละรูปแบบของการแจกแจง



รูปที่ 2 ความน่าจะเป็นของข้อมูลช่วงเวลาความเสียหายของมอเตอร์สตาร์ท

จากรูปที่ 2 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่ามากสุดที่เข้าใกล้ 1 คือ รูปแบบการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ข้อมูลรอบความเสียหายของมอเตอร์สตาร์ท เป็นการแจกแจงแบบปกติ

เมื่อวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของช่วงเวลาความเสียหายของชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่เหลือและสถิติที่ใช้ในการทดสอบภาวะสารูปสนิทดี(Goodness of Fit Test) ได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 รูปแบบการกระจายของช่วงเวลาความเสียหายและสถิติที่ใช้ทดสอบของแต่ละชิ้นส่วน

ชิ้นส่วนอุปกรณ์	รูปแบบการกระจาย
1 มอเตอร์สตาร์ท	การแจกแจงปกติ
2 ไดร์ชาร์จ	การแจกแจงล็อกปกติ
3 เซฟตี้ตัวตัดร็อก	การแจกแจงล็อกปกติ
4 สลิงรอกเล็ก	การแจกแจงล็อกปกติ
5 สลิงรอกใหญ่	การแจกแจงล็อกปกติ
6 คอมเพรสเซอร์	การแจกแจงล็อกปกติ
7 กระบอกปั๊มแยก	การแจกแจงปกติ

4.5.3 ผลการหาอายุเฉลี่ยก่อนการเสียหายของชิ้นส่วนอุปกรณ์

เมื่อทราบรูปแบบการกระจายของข้อมูลของแต่ละชิ้นส่วนอุปกรณ์ จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อประมาณค่าอายุเฉลี่ยก่อนการเสียหายของแต่ละชิ้นส่วนอุปกรณ์ได้ดังนี้

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation) ของชิ้นส่วนอุปกรณ์

ชิ้นส่วนอุปกรณ์	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1 มอเตอร์สตาร์ท	3151.33	323.45
2 ไดร์ชาร์จ	4665.47	759.36
3 เซฟตี้ตัวตัดร็อก	2810.78	778.00
4 สลิงรอกเล็ก	2040.02	83.26
5 สลิงรอกใหญ่	1706.73	69.66
6 คอมเพรสเซอร์	4275.57	250.72
7 กระบอกปั๊มแยก	3300.00	659.10

จากตารางที่ 6 พบว่า ผลการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถทราบอายุเฉลี่ยก่อนการเสียหาย (Mean Time Between Failure :MTBF) โดยดูจากค่าเฉลี่ยของชิ้นส่วนอุปกรณ์แต่ละชิ้นส่วนในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 อายุเฉลี่ยก่อนการเสียหายของชิ้นส่วนอุปกรณ์

ชิ้นส่วนอุปกรณ์	ค่าเฉลี่ย (ชั่วโมง)
1 มอเตอร์สตาร์ท	3151
2 ไดร์ชาร์จ	4665
3 เซฟตี้ตัวตัดร็อกแบบกลม	2810
4 สลิงรอกเล็ก	2040
5 สลิงรอกใหญ่	1706
6 คอมเพรสเซอร์	4275
7 กระบอกปั๊มแยก	3300

จากตารางที่ 8 พบว่า อายุเฉลี่ยของ มอเตอร์สตาร์ท , ไดร์ชาร์จ , เซฟตี้ตัวตัดร็อกแบบกลม , สลิงรอกเล็ก , สลิงรอกใหญ่ , คอมเพชรเซอร์ , กระบอกปั๊มแยกมีอายุเฉลี่ยก่อนการเสียหาย 3151, 4665, 2810, 2040, 1706, 4275, และ 3300 ชั่วโมงตามลำดับ

5. สรุป

ทำการเลือกรถเครนสี่ล้อยางซึ่งมีการซ่อมสูงสุดมาทำการปรับปรุงแก้ไข และได้เลือกระบบ งานไฟฟ้า งานเครื่องยนต์ และงานไฮโดรลิกส์ ซึ่งมีปริมาณการซ่อมสูงสุด มาทำการวิเคราะห์ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สำคัญ โดยมีอะไหล่ที่สำคัญทั้งหมด 35 รายการ และเมื่อวิเคราะห์อะไหล่ที่มีความเสี่ยง (Risk Piority Number : RPN) มากกว่า 18 พบว่า อะไหล่ที่มีความเสี่ยง 7 รายการ คือ มอเตอร์สตาร์ท, ไดร์ชาร์จ, เซฟตี้ตัวตัดร็อกแบบกลม, สลิงรอกเล็ก ,สลิงรอกใหญ่ ,คอมเพรสเซอร์ และกระบอกปั๊มแยก มีค่า RPN 27 , 18 , 24 , 24 , 24 , 24 และ 18 ตามลำดับ พร้อมทั้งหาอายุเฉลี่ยก่อนการเสียหาย 3,151 4,665 2,810 2,040 1,706 4,275 และ 3,300 ชั่วโมงตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม

เอกสารอ้างอิง

[1] โกศล ดีศิลธรรม, การจัดการบำรุงรักษาสำหรับงานอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : บริษัท ส. เอเซียเพรส (1989) จำกัด, 2547

[2] พูลพร แสงบางปลา, การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการบำรุงรักษา TPM, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[3] วัฒนา เชียงกูล, การจัดการงานบำรุงรักษาด้วย Reliability, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ด ยูเคชั่น, 2553

[4] วิทยา สุหฤทดำรง, เส้นทางสู่ Six Sigma (Six Sigma Way Team Field Book), กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

[5] สมชัย อัครทิวา (แปล), การดำเนินกิจกรรม TPM เพื่อปฏิรูปการผลิต ฉบับอุตสาหกรรม กระบวนการ. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2547.

การปรับปรุงสมรรถนะความพร้อมใช้ระบบด้วยการผสมผสานแนวคิด TPM และ RCM

Equipment Availability Improvement Using Integration of TPM and RCM Philosophy

จันทร์ฑา นาควชิรตระกูล*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131 E-mail: chantran@buu.ac.th*

Chantra Nakvachiratrakul*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, Saensuk, Muang, Chonburi 20131, E-mail: chantran@buu.ac.th*

บทคัดย่อ

สมรรถนะของระบบที่ฟื้นฟูซ่อมแซมได้เป็นปัจจัยที่สำคัญของความสำเร็จสำหรับทุกสถานประกอบการ สมรรถนะความพร้อมใช้ระบบเป็นดัชนีวัดสมรรถนะหนึ่งที่ถูกใช้ประเมินสมรรถนะของอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต เมื่อสมรรถนะความพร้อมใช้ระบบที่ตกต่ำลงวิศวกรจำเป็นต้องค้นหาวิธีการปรับปรุง การประเมินสมรรถนะความพร้อมใช้ระบบ พบว่าโรงงานกรณีตัวอย่างมีสมรรถนะความพร้อมใช้ระบบในกระบวนการผลิตที่ต่ำกว่า 90% ซึ่งมีความจำเป็นที่ต้องปรับปรุงด้วยวิธีการที่ง่ายและต้นทุนต่ำ เบื้องต้นพบว่าโรงงานกรณีตัวอย่างมีการบำรุงรักษาที่ไม่ดีนักซึ่งทำให้กำลังผลิตของกระบวนการผลิตถูกจำกัดลง มีของเสียและจำกัดการสร้างรายได้ของสถานประกอบการ การศึกษาโครงงานนี้แสดงให้เห็นว่าการบูรณาการแนวคิดของการบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance: TPM) กับการบำรุงรักษาที่มุ่งเน้นความเชื่อถือได้เป็นสำคัญ (Reliability-centered Maintenance: RCM) ในการกำหนดกิจกรรมปรับปรุงขึ้นหลายกิจกรรม ผลลัพธ์ของการปรับปรุงซึ่งแสดงให้เห็นผลประกอบการของโรงงานกรณีตัวอย่างที่มีผลิตภาพที่สูงขึ้น มีสมรรถนะความพร้อมใช้ระบบเพิ่มสูงขึ้นจาก 90.91% เป็น 95.11%

คำหลัก สมรรถนะความพร้อมใช้งาน(Availability) การบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม(TPM) การบำรุงรักษาที่มุ่งเน้นความเชื่อถือได้เป็นสำคัญ(RCM)

Abstract

The effective performance of repairable systems is critical to the success of all organizations, and availability measures are one of most common sets of measures used in evaluating the performance of equipment. When availability performance is inadequate, engineers need a methodology for prioritizing availability improvement efforts. From an independent audit case study company identified that it was delivering less than 90% size availability in manufacturing process and therefore required a simple and cost effective availability tool to drive machines availability improvement. Poor maintenance practices are perceived as the dominant factor that limits production capacity, product quality and profitability. In this paper, we present a combination of TPM and RCM philosophy to establish a higher level of machines availability and thereby, through several improving activities. The results of improvement as evident in

business outcome showed that the company gains the higher plant productivity, availability was increased from 90.91% to 95.11%.

Keywords: Availability, Total Productive Maintenance (TPM), Reliability-centered Maintenance (RCM)

1. บทนำ

ประสิทธิผลการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตขึ้นอยู่กับระดับความเชื่อถือได้ สมรรถนะการบำรุงรักษาได้ สมรรถนะการสนับสนุน และนโยบายการบำรุงรักษาเครื่องจักร ระบบการบำรุงรักษาที่ดีจะช่วยทำให้กระบวนการผลิตมีเวลาหยุดชะงักน้อยที่สุดซึ่งจะทำให้สมรรถนะความพร้อมใช้ของระบบอยู่ในระดับสูงเป็นที่น่าพึงพอใจ มีความปลอดภัยสูงและไม่ก่อมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม พื้นฐานของการบำรุงรักษาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การซ่อมแซมเมื่อเกิดความขัดข้องล้มเหลว และการบำรุงรักษาเชิงป้องกันก่อนขัดข้องล้มเหลว

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบำรุงรักษาแบบลีน

เป็นการบำรุงรักษาที่มีหลักการปฏิบัติตามแนวคิดของกระบวนการผลิตแบบลีนที่เกิดขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1990 จากหนังสือชื่อ “The Machine That Changed The World” และ หนังสือ “Lean Thinking , Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation” ซึ่งเขียนโดยศาสตราจารย์ดอกเตอร์ เจมส์ วอแม๊ก แห่ง MIT (Massachusetts Institute of Technology) หน่วยงานซ่อมบำรุงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับตัวให้เป็นไปตามความต้องการของกระบวนการผลิตแบบลีนที่ต้องการความเชื่อถือได้ของเครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับกระบวนการผลิตที่สูงมาก การปรับตัวเพื่อสะท้อนหลักการผลิตแบบลีน คือ การกำจัดความสูญเปล่า การมุ่งให้ความสำคัญกับลูกค้า และการประกันคุณภาพจากแหล่งกำเนิดและตั้งแต่เริ่มแรก การบำรุงรักษาแบบลีนจึงต้องเป็นปฏิบัติการบำรุงรักษาเชิงรุกที่ออกแบบระบบการบำรุงรักษาตามแผนและตามตารางกำหนดการตามวิธีปฏิบัติที่นิยาม [1]

2.2 การบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม) Total Productive Maintenance: TPM)

อุตสาหกรรมในประเทศญี่ปุ่นได้นำเอาระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM) ไปใช้ในการบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์เป็นประเทศแรกๆ ในเอเชีย ประกอบกับแนวคิดการมีส่วนร่วมจากพนักงานของบริษัททุกคนเนื่องจากปริมาณการผลิต อัตราผลผลิต คุณภาพผลิตภัณฑ์ ความปลอดภัยและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะมีผลมาจากสภาพการผลิตและสภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวน การผลิตเป็นส่วนใหญ่ การบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance: TPM) มีลักษณะพิเศษของการมีส่วนร่วมของพนักงานทุกคนในการประกอบกิจกรรมการบำรุงรักษาทวีผล ซึ่งมีความหมายเป็น “การบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยทุกคน” โดยความร่วมมือของพนักงานทุกฝ่ายและทุกระดับตั้งแต่ผู้บริหารระดับสูงลงไปจนถึงพนักงานระดับปฏิบัติการในสายการผลิต โดยมีหน้าที่ร่วมกันในการส่งเสริมการบำรุงรักษาทวีผลด้วย “การบริหารเพื่อการสร้างแรงกระตุ้น” หรือกิจกรรมกลุ่มย่อย [2]

2.3 การบำรุงรักษาที่มุ่งเน้นความเชื่อถือได้เป็นสำคัญ

การบำรุงรักษาที่มุ่งเน้นความเชื่อถือได้เป็นสำคัญ (Reliability-Centered Maintenance: RCM) เป็นแนวความคิดการบำรุงรักษาที่แสดงให้เห็นถึง “การเปลี่ยนยุคของการบำรุงรักษา” นับจากปี ค.ศ. 1970 การบำรุงรักษาเครื่องจักรได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเครื่องจักรในอุตสาหกรรมอย่างมาก อีกทั้งการให้ความสำคัญต่อการนำไปใช้มากขึ้น รวมถึงการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ ด้านเครื่องจักรที่หลากหลายสำหรับกระบวนการผลิต มุมมองด้านความคาดหวังที่มากขึ้นในด้านความปลอดภัย การใช้สินทรัพย์ทางกายภาพ คุณภาพของสินค้าและผลิตภัณฑ์ ซึ่งการบำรุงรักษาในขณะนั้นยังต้องให้ความสำคัญกับการบรรลุความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรหรือประสิทธิภาพการใช้เครื่องจักร ความเชื่อถือได้ที่จะผลิตสินค้าให้ได้ตามความต้องการ และค่าใช้จ่ายซ่อมบำรุงที่ต้องควบคุมนอกเหนือจากความคาดหวังจากเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เพิ่มมากขึ้น โลกของ

การบำรุงรักษายังค้นพบสิ่งใหม่อย่างมากมายที่เปลี่ยนความเชื่อเก่าๆ เกี่ยวกับอายุการใช้งานของเครื่องจักร ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราความขัดข้องของเครื่องจักรและอุปกรณ์ การค้นพบใหม่ได้อธิบายว่าความเชื่อมโยงระหว่างอายุการใช้งานและอัตราความขัดข้องของเครื่องจักรและอุปกรณ์ส่วนใหญ่มีความเชื่อมโยงกันน้อยมาก ซึ่งไม่จำเป็นที่รูปแบบความขัดข้องของเครื่องจักรจะมีรูปแบบขัดข้องแบบ "โค้งอ่างน้ำ" (Bathtub curve) สำหรับเครื่องจักรทั้งหมดเพียงรูปแบบเดียวเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติที่แท้จริงแล้วมีถึง 6 รูปแบบ สิ่งที่สำคัญที่สุดในการค้นพบข้อเท็จจริงเกี่ยวกับรูปแบบความขัดข้องที่มีข้อสรุปที่สำคัญที่สุดคือความตระหนักถึงความเป็นจริงที่ว่า "แม้ว่าหน่วยงานซ่อมบำรุงจะปฏิบัติการซ่อมบำรุงทุกอย่างตามแผนอย่างแท้จริง แต่ภารกิจซ่อมบำรุงตามแนวทางและความเชื่อแบบเก่าในหลายภารกิจกลับไม่สามารถบรรลุเป้าหมายที่ต้องการได้เลย" คำกล่าวนี้เป็นจริงโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันทั้งหลายที่เกิดขึ้นในขณะนั้น กล่าวอีกนัยหนึ่งคือภารกิจซ่อมบำรุงที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับการใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์สมัยใหม่ในระบบอุตสาหกรรมที่มีความซับซ้อนไม่ได้ปรากฏอยู่ในโปรแกรมการบำรุงรักษาตามที่ควรจะมี แต่กลับมีภารกิจซ่อมบำรุงที่ไม่จำเป็นอยู่เป็นจำนวนมากนั่นเอง [3], [1]

3. ปัญหาและการวิเคราะห์ปัญหา

3.1 ปัญหา

โรงงานกรณีตัวอย่างเป็นโรงงานในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนโลหะสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องไฟฟ้า ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์สื่อสาร รวมทั้งชิ้นส่วนอากาศยาน ซึ่งมีลูกค้าทั้งญี่ปุ่น ยุโรปและอเมริกา กระบวนการผลิตของโรงงานกรณีตัวอย่างใช้เครื่องจักรจำนวนทั้งสิ้น 405 เครื่อง การประเมินผลกระทบต่อดัชนีสมรรถนะ 5 ด้าน คือ กฎหมาย ความปลอดภัย คุณภาพ กำลังผลิตและค่าใช้จ่าย สามารถแบ่งเป็นเครื่องจักรลำดับสำคัญระดับ A จำนวน 308 เครื่อง เครื่องจักรลำดับสำคัญระดับ B จำนวน 17 เครื่อง และเครื่องจักรส่วนที่เหลือมีลำดับสำคัญระดับ C จำนวน 80 เครื่อง เครื่อง CNC จำนวน 20 เครื่อง เป็นกลุ่มเครื่องจักรที่มีเวลาหยุดชะงักสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลุ่มอื่นๆ ของกระบวนการผลิต รวม 2,491.70 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาหยุดชะงักของเครื่องจักรคิดเป็น 20.56% ของเวลาหยุดชะงักทั้งหมดของกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรทุกเครื่องของโรงงานกรณีตัวอย่าง โดยที่องค์ประกอบของเวลาที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะความพร้อมใช้งานของกลุ่มเครื่องจักร CNC แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลสมรรถนะความพร้อมใช้งานและเวลาหยุดชะงักของเครื่อง WJR ทั้ง 20 เครื่อง ระหว่างเดือนสิงหาคม 2552 - กรกฎาคม 2553

องค์ประกอบ	เวลา (ชั่วโมง)	(%)
เวลาซ่อมแซม	616.13	1.51%
เวลารอซ่อมแซม	1,380.37	3.38%
เวลาปรับเปลี่ยนการผลิต	495.20	1.21%
เวลาเริ่มเดินเครื่องจักร	1,219.25	2.99%
เวลารับภาระ	40,843.00	
เวลาเดินเครื่องจักร	37,132.05	90.91%
เวลาหยุดชะงัก	2,491.70	6.10%
สมรรถนะความพร้อมการใช้งาน		90.91%

3.2 การวิเคราะห์ปัญหา

การระดมสมองเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เครื่อง WJR ทั้ง 20 เครื่องเกิดการหยุดชะงัก ซึ่งเกิดจากปัญหาหลักที่เหมือนกัน ประกอบด้วยสาเหตุต่างๆ ดังนี้

1) ปัญหาโปรแกรมการบำรุงรักษาที่ไม่มีประสิทธิผลในขั้นตอนการวิเคราะห์ภารกิจบำรุงรักษาที่จำเป็น รวมถึงโปรแกรมการบำรุงรักษาไม่ถูกนำไปดำเนินการตามที่กำหนด ทำให้เครื่องจักรมีอัตราความขัดข้องล้มเหลวสูง

2) พนักงานขาดทักษะการซ่อมบำรุง ทำให้ต้องใช้เวลาการซ่อมแซมมากและงานซ่อมแซมที่ได้ไม่มีคุณภาพ

3) ขาดการควบคุมเวลาการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนล๊อตการผลิต ทำให้ต้องใช้เวลามากในการปรับเปลี่ยนเครื่องจักร

4. การแก้ไขและปรับปรุง

แนวคิดการปรับปรุงสมรรถนะความพร้อมการใช้งานของเครื่องจักรพิจารณาจากสูตรการคำนวณของสมรรถนะความพร้อมการใช้งานซึ่งมีค่าเท่ากับสัดส่วนของเวลาเดินเครื่องจักรโดยรวมต่อเวลารับภาระ สมรรถนะความพร้อม

การใช้งานของเครื่องจักรจะสูงก็ต่อเมื่อเวลาเดินเครื่องจักรจะต้องมีค่าเข้าใกล้เวลารับภาระให้มากที่สุด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือจะต้องมีเวลาหยุดชะงักที่น้อยที่สุด ดังนั้นการลดเวลาหยุดชะงักของเครื่องจักร ซึ่งประกอบด้วยเวลาหยุดชะงักที่ใช้สำหรับการซ่อมแซมเครื่องจักรหลังขัดข้องล้มเหลว การลดเวลาปรับเปลี่ยนเครื่องจักรให้น้อยลง โดยมาตรการที่ใช้ในการลดเวลาหยุดชะงักประกอบด้วยมาตรการหลักและเทคนิคต่างๆ ดังนี้

4.1 มาตรการป้องกันการขัดข้องล้มเหลวของเครื่องจักร

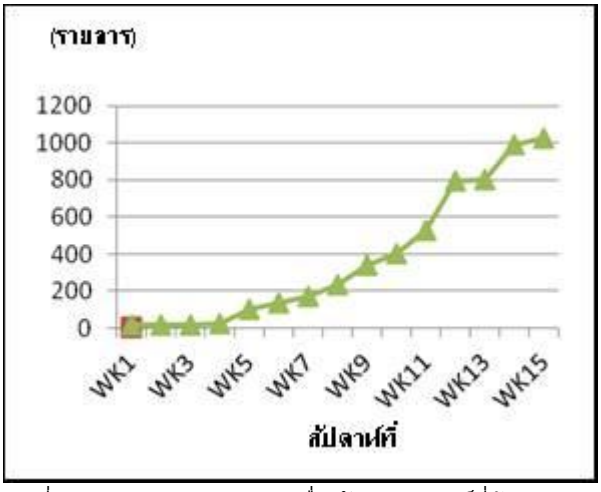
วัตถุประสงค์หลักของการบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์คือการป้องกันไม่ให้เครื่องจักรชำรุดเสียหายจนกระทั่งกระบวนการผลิตขัดข้องและล้มเหลวลง กิจกรรมการบำรุงรักษาตามแผนเป็นกิจกรรมที่สำคัญใน TPM ซึ่งต้องมีการดำเนินการควบคู่ไปกับการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous Maintenance: AM) ที่รับผิดชอบโดยพนักงานผู้ใช้เครื่องจักรในสายการผลิต การกำหนดภารกิจบำรุงรักษาด้วยเทคนิคการบำรุงรักษาที่มุ่งเน้นความเชื่อถือได้เป็นสำคัญ (Reliability-centered Maintenance: RCM) โดยมีรายละเอียดการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ดังนี้

4.2 กิจกรรมการบำรุงรักษาด้วยตนเอง

กำหนดให้มีการค้นหาความบกพร่องของเครื่องจักรและอุปกรณ์โดยละเอียดในกิจกรรมการทำความสะอาดขั้นต้น ทำให้ค้นพบจุดบกพร่องของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีความเสื่อมสภาพและถูกละเลยในการแก้ไขก่อนขัดข้องล้มเหลวจำนวน 1,027 รายการ ดังรูปที่ 1 การดำเนินการแก้ไขเพื่อทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์มีสภาพพื้นฐานที่ดีทำให้เครื่องจักรมีความเชื่อถือได้ (Reliability) สูงขึ้น รวมถึงการบำรุงรักษาเบื้องต้นโดยการทำความสะอาด การหล่อลื่น การขันแน่น และการตรวจค้นหาความผิดปกติของเครื่องตลอดเวลาการปฏิบัติการของเครื่องจักรโดยการใช้โสตสัมผัสทั้ง 5 ของพนักงานแต่ละคนที่ได้รับการฝึกฝนอย่างเป็นระบบแบบค่อยเป็นค่อยไป

4.3 การบำรุงรักษาที่มุ่งเน้นความเชื่อถือได้เป็นสำคัญ (Reliability-centered Maintenance: RCM)

การวิเคราะห์ FMEA พบว่าเครื่อง CNC มีองค์ประกอบหลักจำนวน 17 องค์ประกอบ ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็นชิ้นส่วนองค์ประกอบย่อยจำนวน 80 ชิ้นส่วนย่อย โดยที่ชิ้นส่วนย่อยเหล่านี้มีโอกาสที่จะขัดข้อง



รูปที่ 1 จำนวนความผิดปกติของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ค้นพบและแก้ไขในกิจกรรมการบำรุงรักษาด้วยตนเอง

ล้มเหลวได้ 113 ลักษณะความขัดข้องล้มเหลว (Failure mode: FM) ซึ่งมีผลกระทบต่อความขัดข้องล้มเหลวของหน้าที่หลักของเครื่อง CNC ทั้งสิ้น การสืบค้นข้อมูลเวลาการใช้งานจนกระทั่งขัดข้องล้มเหลว (Time to failure: *TTF*) ของอุปกรณ์แต่ละชิ้นของเครื่อง CNC แต่ละเครื่องจักรจากบันทึกประวัติการซ่อมแซมของหน่วยงานซ่อมบำรุงช่วยทำให้กิจกรรม RCM ของโรงงานกรณีตัวอย่างดำเนินไปได้อย่างรวดเร็ว ประวัติการซ่อมแซมทำให้พบว่าเครื่อง CNC มีลักษณะความขัดข้องล้มเหลวที่เคยเกิดขึ้นจำนวน 36 ลักษณะ การวิเคราะห์ลักษณะความขัดข้องล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: *FMEA*) ทำให้สามารถกลั่นกรองลักษณะความขัดข้องล้มเหลวที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ โดยแบ่งเป็นผลกระทบระดับสูงจำนวน 6 ลักษณะความขัดข้องล้มเหลว และมีผลกระทบระดับปานกลางอีก 13 ลักษณะความขัดข้องล้มเหลว ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการกำหนดภารกิจบำรุงรักษาที่เหมาะสมเพื่อป้องกันความขัดข้องล้มเหลวไม่ให้เกิดขึ้น หรือกำหนดมาตรการตอบโต้เมื่อเกิดความล้มเหลวให้มีผลกระทบลดต่ำลง ส่วนลักษณะความขัดข้องล้มเหลวที่มีผลกระทบต่ำจำนวน 17 ลักษณะความขัดข้องล้มเหลว จะไม่ได้รับการพิจารณากำหนดมาตรการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ข้อมูล *TTF* ของแต่ละชิ้นส่วนของอุปกรณ์บางส่วนจำนวน 8 ชิ้นส่วนไม่มีการบันทึกไว้ ดังนั้นข้อมูล *TTF* ของชิ้นส่วนอุปกรณ์ย่อยที่เหลืออีก 9 ชิ้นจึงถูกนำไปใช้ในการประมาณพารามิเตอร์ของการกระจายไวบูลล์ด้วยวิธีการประมาณค่าที่เป็นไปได้สูงที่สุด

(Maximum Likelihood Estimation: *MLE*) และการทดสอบภาวะสารูปสนิทดี (Good of fit test: GOF) ด้วยการทดสอบของแมนส์ (Mann's test) ค่าพารามิเตอร์รูปร่าง (Shape parameter) ของไวบูลล์แสดงดังตารางที่ 2

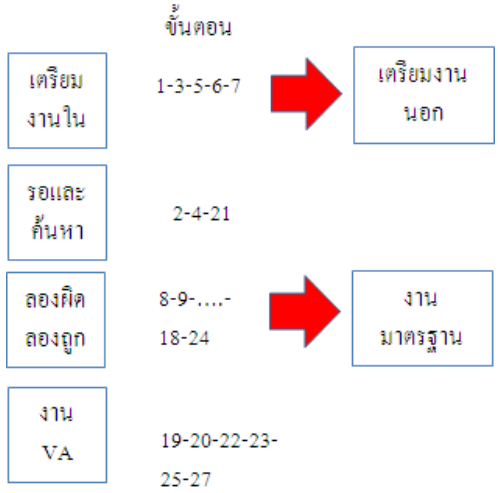
ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ของไวบูลล์สำหรับแต่ละอุปกรณ์ย่อย

อุปกรณ์	รหัสความขัดข้องล้มเหลว	พารามิเตอร์รูปร่าง	พารามิเตอร์สเกล (ชั่วโมง)
สายพานเอ็นโค๊ดเดอร์	005-3-ฉีกขาด	1.414	908.90
รูรอกเทอร์เร็ท	111-7-สึกหรอ	0.459	578.5
แบริ่งแกน X-Z	222-86-แตก	1.460	555.3
สายลมอัด	555-17-รั่ว	0.93	82.45
โซลินอยด์ลมอัด	666-139-รั่ว	0.779	1,377
เซ็นเซอร์แม๊กซีน	777-105-ชำรุด	2.915	147.2
สายพานลำเลียง	888-13-ฉีกขาด	3.50	143.8
สายพานแขนกล	1012-71-ฉีกขาด	1.43	213.8
กระบอกลม	1017-23-รั่ว	0.588	898.1

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของไวบูลล์ทำให้จำแนกได้ว่าชิ้นส่วนองค์ประกอบแต่ละชิ้นมีอัตราความขัดข้องล้มเหลวในช่วงใดของโค้งอ่างน้ำ ซึ่งใช้เป็นสารสนเทศประกอบการตัดสินใจเลือกกลยุทธ์การบำรุงรักษาเชิงป้องกันในระหว่างการวิเคราะห์ผลกระทบสืบเนื่องของแต่ละลักษณะความขัดข้องล้มเหลวและการกำหนดภารกิจบำรุงรักษาที่มีความเป็นไปได้ทางเทคนิคและมีประสิทธิผลทางเศรษฐศาสตร์สูงที่สุด

4.4 มาตรการลดเวลาการปรับเปลี่ยนและปรับตั้งเครื่อง CNC อย่างรวดเร็ว

การปรับเปลี่ยนป้อมใบมีดกัดกลึงของเครื่อง CNC ของโรงงานกรณีตัวอย่างแต่ละครั้งประกอบด้วย 28 ขั้นตอนย่อยตั้งแต่มีคำสั่งขอเปลี่ยนล๊อตการผลิต โดยใช้เวลารวมทั้งสิ้นอยู่ประมาณ 255 นาทีต่อครั้ง ซึ่งบางครั้งอาจนานถึง 373 นาที ในกรณีที่มีการรอผู้บริหารอนุมัติการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรนานถึง 148 นาที ภาพโดยรวมของปัญหาการใช้เวลาปรับเปลี่ยนเครื่องจักรนานประกอบด้วยการรออนุมัติ การรอช่างผู้รับผิดชอบ การจัดเตรียมงาน การติดตั้งอุปกรณ์แบบลองผิดลองถูก การค้นหาวัสดุ การทำงานโดยไม่มีการจัดเตรียมงานล่วงหน้า ทำการปรับปรุงจัดทำมาตรฐานการทำงานและการเตรียมการล่วงหน้าตามรูปที่ 2 สามารถลดขั้นตอนงานลงเหลือเพียง 6 ขั้นตอน ซึ่งทำให้เวลาการปรับเปลี่ยนและปรับตั้งเครื่องจักรลดลงเหลือเพียง 27 นาทีต่อครั้ง



รูปที่ 2 มาตรฐานการทำงานในการปรับเปลี่ยนและปรับตั้งเครื่องจักร CNC

5. สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาโครงงานนี้แสดงให้เห็นว่าการบูรณาการแนวคิดของการบำรุงรักษาทวีผล (Total Productive Maintenance: TPM) กับการบำรุงรักษาที่มุ่งเน้นความเชื่อถือได้เป็นสำคัญ (Reliability-centered Maintenance: RCM) ในการกำหนดกิจกรรมปรับปรุงขึ้นหลายกิจกรรม ผลลัพธ์ของการปรับปรุงช่วยลดจำนวนความขัดข้องล้มเหลวลงด้วยการบำรุงรักษาเชิงป้องกันตามแผนและการบำรุงรักษาด้วยตนเอง การปรับปรุงกิจกรรมต่างๆ ในการซ่อมแซมหลังขัดข้องล้มเหลวด้วยการลดเวลารอการซ่อมแซม ลดเวลาการซ่อมแซมและลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นผลประกอบการของโรงงานกรณีตัวอย่างที่มีผลิตภาพที่สูงขึ้น มีสมรรถนะความพร้อมใช้ระบบเพิ่มสูงขึ้นจาก 90.91% เป็น 95.11%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ทุกท่าน รวมถึงโรงงานกรณีศึกษาที่ให้ความร่วมมือในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] จันทร์ฑา นาควชิรตระกูล, เทคโนโลยีการจัดการบำรุงรักษาอุตสาหกรรม พิมพ์ครั้งที่ 3 จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์ จำกัด, 2556.

[2] Suzuki T., TPM in process industries, Connecticut, USA., Productivity Press, 1994.

[3] Moubray J., Reliability-centred Maintenance, Butterworth-Heinemann, UK, 2000.

การสร้างแบบจำลองต้นทุนพลังงาน กรณีศึกษาอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ (ชุดสายไฟในรถยนต์)

Energy Cost Modeling: A Case Study of Auto-Part Industry (Automotive Wiring Harness)

ศิวปรีชา โชติมนทิน อรพดี จูฉิม*
สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140
E-mail: Siwapricha@hotmail.com, orapadee.joo@kmutt.ac.th*

Siwapreecha Chotimonthin, Orapadee Joochim*
Institute of Field Robotics, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Pracha Uthit Rd, Bangkok, Thung Khru 10140, E-mail: Siwapricha@hotmail.com, orapadee.joo@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์มีการแข่งขันสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในหลายๆด้าน ทั้งด้านการประหยัดน้ำมัน ด้านการตลาด ด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ส่งผลกระทบถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้สอดคล้องกับภาวะตลาดโลกที่กำลังเปลี่ยนแปลง ต้นทุนการผลิตเป็นอีกปัจจัยในการตอบสนองนโยบายทางการตลาดและผลกำไรสูงสุด ต้นทุนพลังงานเป็นหนึ่งในต้นทุนสำคัญในการผลักดันให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง พลังงานเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไปไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อีกทั้งปัจจุบันประชากรโลกเพิ่มจำนวนขึ้นทุกปีและมีการนำทรัพยากรพลังงานมาใช้ทั้งภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมแทบทุกอุตสาหกรรมรวมถึงอุตสาหกรรมยานยนต์ด้วย วิกฤตพลังงานเป็นประเด็นสำคัญของการทำวิจัยชิ้นนี้และเพื่อช่วยลดต้นทุนพลังงานด้านการผลิตและสามารถอนุรักษ์พลังงานได้อีกทาง การนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจในด้านของการลดต้นทุนพลังงาน ในการศึกษานี้จะเป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นตรงอย่างง่ายเพื่อในการวิเคราะห์โดยเน้นทางด้านพลังงานและข้อจำกัดต่างๆของกระบวนการผลิต โดยการมุ่งเน้นให้ผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุนพลังงานและสามารถใช้ทรัพยากรพลังงานที่มีอยู่อย่างคุ้มค่าสูงสุด รวมทั้งสามารถตอบโจทย์ทางด้านการตลาดและด้านอนุรักษ์พลังงานได้อีกด้วย ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์ต้นทุนในอุตสาหกรรมผลิตชุดสายไฟในรถยนต์ กรณีศึกษาบริษัทแห่งหนึ่งโดยทำการศึกษาและวิเคราะห์ระบบต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิงของแต่ละขบวนการการผลิตเป็นหลัก แบบจำลองช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยเฉลี่ยต่อปี 839,267 บาท หรือ 3.27% เมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา ช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเฉลี่ยต่อปี 126,617 บาท หรือ 3.60% เมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา

คำสำคัญ การโปรแกรมเชิงเส้น, ต้นทุนด้านพลังงาน, ชุดสายไฟในรถยนต์, อุตสาหกรรมยานยนต์

Abstract

The automotive industry is now highly competitive in many ways: for example, energy savings, marketing and environmental conservation. Manufacturers must be flexible to respond rapidly to competitive and market changes. Reducing manufacturing costs will increase gross profit, and affect marketing strategies.

Energy is a key input in many manufacturing processes. Therefore, its costs represent a competitiveness factor for industry. Energy cannot be created and reused. Today, population is growing rapidly in every year resulting in high energy consumption of households and industries including automotive. The purpose of this paper is to present the application of linear programming (LP) to minimize energy costs resulting in energy conservation and environmental protection. To solve this problem, the model is developed for planning activities in manufacturing processes related to the auto parts industry by considering the principles and criteria of energy costs, in order to meet consistency and minimum energy cost. This paper uses a manufacturer of wiring harness in the car as a case study. The research investigates and analyses the costs of electrical and fuel energies of the main manufacturing processes. The results shows that electricity costs are decreased 3.27% (i.e., 839,267 baht) compared to previous year. Consequently, in comparison with the last year, energy costs are reduced 3.60% (i.e., 126,617 baht).

Keywords: Linear Programming, Energy Cost, Automotive Wire harness, Automotive Industry

1. บทนำ

แนวโน้มการเติบโตของอุตสาหกรรมรถยนต์โลก ยังเติบโตและขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ค่ายรถยนต์ต่างๆทั้งจากเอเชีย ยุโรป และอเมริกาเหนือต่างก็พยายามนำเสนอกลยุทธ์ต่างๆในการจูงใจลูกค้า เพื่อกระตุ้นยอดขายให้ได้มากที่สุด ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิงในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์เพิ่มขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามการแข่งขันทางเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมยานยนต์ในตลาดโลกได้มาถึงจุดเปลี่ยนภายใต้กระแสอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การประหยัดพลังงานและการลดภาวะโลกร้อน ทำให้ต้องมองหาฐานการผลิตที่ใช้ต้นทุนต่ำ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming: LP) ขึ้นมา เพื่อปรับลดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิง เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิงนั้นเป็นพลังที่ใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น เพื่อทำการวิเคราะห์ลดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิง ผู้บริหารของสถานประกอบการสามารถนำมาพิจารณาใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการวางแผน ละการตัดสินใจในการผลิตต่อไป

การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองต้นทุนพลังงานปรากฏทั้งในประเทศและต่างประเทศ จรูญรัตน์ จงรักษ์ลิขิต (2552) [1] ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตในอุตสาหกรรมโรงแยกอากาศ โดยกำหนดปริมาณการผลิตในแต่ละหน่วยการผลิตให้เหมาะสมและอยู่บนพื้นฐานต้นทุนในระดับต่ำที่สุด ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการวางแผนการผลิตประกอบด้วยปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากการพยากรณ์ยอดขายของแผนการตลาด กำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิต ความสัมพันธ์ระหว่างผลิตภัณฑ์ผลิตที่ประกอบด้วยโมเลกุลออกซิเจน ความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์เหลว คำนวณหาผลลัพธ์โดยใช้เทคนิคโปรแกรมเชิงเส้น สามารถลดต้นทุนการผลิตโดยรวมจากการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ สามารถลดต้นทุนได้เฉลี่ยเท่ากับ 198,226 บาท/เดือน หรือร้อยละ 0.38 เมื่อเทียบกับต้นทุนเดิม Özdamar และ Birbil [2] ศึกษาวิธีการวางแผนการผลิตเป็นลำดับชั้นที่สนับสนุนการตัดสินใจสำหรับอุตสาหกรรมพลังงาน วัตถุประสงค์ไม่ได้เพียงแต่ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการวางแผนการผลิตที่ดีที่สุดเท่านั้น เขาจำแนกปัญหาออกเป็นสองปัญหาย่อยคือแบบจำลองระดับสูงและแบบจำลองระดับย่อยที่มีรายละเอียดมากขึ้นและช่วยแก้ปัญหาจำนวนมากและระยะเวลาการวางแผนในปัจจุบัน เครื่องมือในการวางแผนจะฝังอยู่ภายในการสนับสนุนการตัดสินใจกรอบการทำงานที่จะส่งผลในการตัดสินใจตามลำดับ Maréchal และ Kalitventzeff [3] พัฒนาวิธีการการสร้างแบบจำลองชื่อ EMO (Effect modeling and optimization) ด้วยการกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) ความสัมพันธ์

ระหว่างพลังงานและรูปแบบพื้นฐานด้านสิ่งแวดล้อมทั้งในแง่ของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และข้อจำกัดต่างๆและคำนึงถึงลักษณะต่างๆของพลังงาน เช่น พลังงานกล การประยุกต์ใช้วิธีนี้แสดงให้เห็นผลลัพธ์ที่ดีเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้จ่ายพลังงาน Tari และ Söderström [4] ศึกษาผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายพลังงานของการใช้ในการเก็บวัสดุ ซึ่งช่วยให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับระบบพลังงานในอุตสาหกรรมและมีความสามารถในการเก็บวัสดุในรูปแบบที่คาดไม่ถึงที่ใช้ในการวางแผนการผลิต Santos, A. และ Dourado, A. [5] ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ในการศึกษาการแก้ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi Objective) ในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายในอัตราการผลิตที่เปลี่ยนแปลงและจัดอันดับพาเรโตเพื่อหาความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหา Papalexandri [6] มุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพหลายช่วงเวลาในการสำรวจความยืดหยุ่น ของสถานการณ์การดำเนินงานและรูปแบบการบริหารจัดการพลังงาน ของระบบสาธารณูปโภคของโรงงานอุตสาหกรรม การสร้างแบบจำลองหลายช่วงเวลา ความแปรปรวนในความต้องการพลังงาน โดยใช้วิธีจำนวนเต็มผสมในการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นในการสร้างแบบจำลอง Örnek and Ekinci [7] ศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ต่างๆจากพืช โดยพิจารณาจากการใช้พลังงานด้วยวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น เพื่อที่จะได้ปริมาณที่เหมาะสมกับการใช้พลังงานในแง่ของกระบวนการผลิต การวิเคราะห์ความไวช่วยให้รับมือกับความไม่แน่นอนในการใช้พลังงาน ราคาและความต้องการสินค้า ประสบความสำเร็จในรูปแบบกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสำหรับค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานขั้นต่ำของการผลิตและการเลือกใช้เทคโนโลยีทางเลือกที่เหมาะสม

2. ต้นทุนพลังงานสำหรับผู้ผลิตชุดสายไฟในรถยนต์

การสร้างแบบจำลองต้นทุนพลังงาน กรณีศึกษาผู้รับช่วงผลิตชุดสายไฟในรถยนต์ ในที่นี้เราจะทำการศึกษาและวิเคราะห์เฉพาะในส่วนของกระบวนการผลิตแยกแยะแต่ละขั้นตอนเพื่อศึกษาการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนการผลิต i ดังแสดงในรูปภาพที่ 1 โดยจะเริ่มศึกษาจาก

ขั้นตอนที่ 1: Circuit Cutting/Preparation เป็นการตัดสายไฟเพื่อเตรียมประกอบชุดสายไฟแต่ละประเภทได้เป็นส่วนประกอบ (X_1)

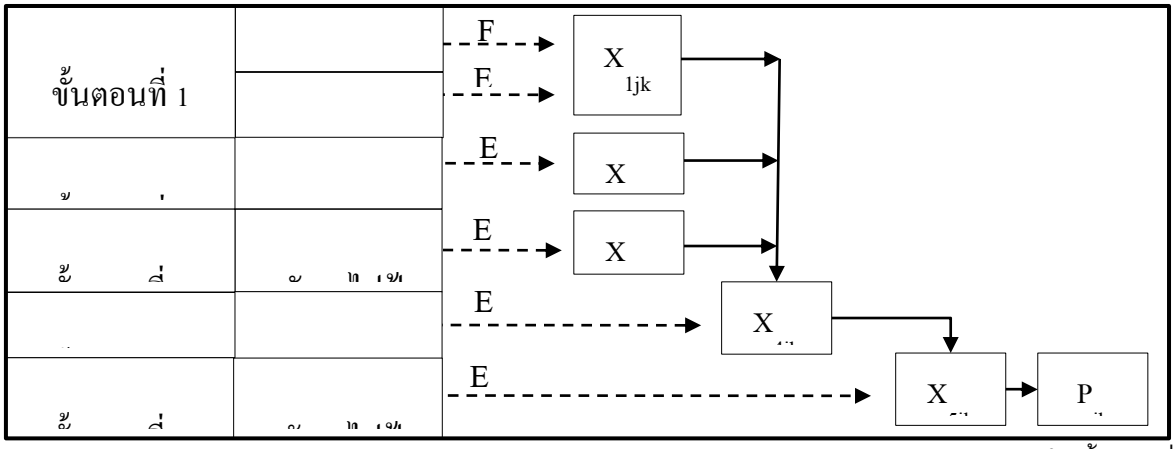
ขั้นตอนที่ 2: Wire Insulation Stripping/Slitting เป็นการปอกสายไฟเฉพาะส่วนให้เหลือไว้แต่ส่วนทองแดงเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของชุดสายไฟ (X_2)

ขั้นตอนที่ 3: Wire Twisting เป็นการนำสายไฟตั้งแต่สองเส้นขึ้นไปมาพันกันไว้ด้วยเครื่อง Twisting เพื่อง่ายต่อการประกอบเข้ากับชุดสายไฟ (X_3)

ขั้นตอนที่ 4: Assembly Wiring เป็นการประกอบส่วนต่างๆของชุดสายไฟเข้าด้วยกัน (X_4)

ขั้นตอนที่ 5: E-Test/Packaging ทดสอบระบบไฟฟ้าของสายไฟว่าประกอบถูกต้องตามแบบหรือไม่ (X_5)

จากกระบวนการผลิตที่กล่าวมาทั้ง 5 ขั้นตอนเราจะได้ชุดสายไฟในรถยนต์ออกมาตามแผนการผลิต ซึ่งชุดสายไฟในรถยนต์มีส่วนประกอบและการทำงานที่แตกต่างกันออกไป ชนิด (j) ของชุดสายไฟในรถยนต์ (P) หลักๆ ประกอบด้วย 1. ชุดสายไฟด้านหน้ารถ 2. ชุดสายไฟห้องเครื่องยนต์ 3. ชุดสายไฟคอนโซล 4. ชุดสายไฟประตู 5. ชุดสายไฟตัยวถัง 6. ชุดสายไฟช่วงล่าง 7. ชุดสายไฟหลังคา



รูปภาพที่ 1 แสดงการไหลของกระบวนการการผลิตชุดสายไฟในรถยนต์

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การเก็บข้อมูลและศึกษาวิเคราะห์ใช้ระยะเวลา 12 เดือน โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิงในแต่ละเดือน

ดัชนี (Index set)

k: จำนวนเดือน, k = 1,..., 12

i: ขั้นตอนการผลิต, I = 1,..., 5

j: ชนิดของชุดสายไฟ, j = 1,..., 7

พารามิเตอร์ (Parameters)

S_j: เวลาที่ใช้ในการ Set-up เครื่องจักรในการผลิตชุดสายไฟชนิด j

R_j: เวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตชุดสายไฟชนิด j

Y_j: มีค่าเป็น 1 เมื่อต้องมีการ Set-up เครื่องจักร และมีค่าเป็น 0 เมื่อไม่ต้อง Set-up เครื่องจักร (Y_1=1, Y_2=1, Y_3=0, Y_4=1, Y_5=0, Y_6=1, Y_7=1)

D_{jk}: จำนวนของความต้องการสำหรับชุดสายไฟชนิด j ที่ต้องผลิตในเดือนที่ k

E_{ij}: ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าในการผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ j ในขั้นตอนที่ i

F_{ij}: ค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงในการผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ j ในขั้นตอนที่ i

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

X_{ijk}: จำนวนของส่วนประกอบผลิตภัณฑ์ j ในขั้นตอนที่ i ในเดือนที่ k

P_{jk}: จำนวนของชุดสายไฟชนิด j ที่ผลิตในเดือนที่ k

C_k: เวลาที่ต้องใช้ในการผลิตในเดือนที่ k

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Minimize\ (Z) = \sum_{i=1}^{5}\sum_{j=1}^{7}\sum_{k=1}^{12}(E_{ij} + F_{ij})\, X_{ijk} \qquad (1)$$

เงื่อนไขบังคับด้านวัตถุดิบ (Material Balance Equations)

$$X_{4jk} = X_{1jk} + X_{2jk} + X_{3jk} \qquad (2)$$

$$X_{1jk} \geq 300P_{jk} \qquad (3)$$

$$X_{2jk} \geq 300P_{jk} \qquad (4)$$

$$X_{3jk} \geq 300P_{jk} \qquad (5)$$

$$X_{5jk} = P_{jk} \qquad (6)$$

ข้อจำกัดเหล่านี้เป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการผลิต ในข้อจำกัด (2) แสดงให้เห็นถึงกระบวนการผลิตในขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 3 เป็นการเตรียมส่วนประกอบของชุดสายไฟในแต่ละส่วนเพื่อส่งมาประกอบในขั้นตอนที่ 4 ส่วนข้อจำกัด (3), (4), (5) เพื่อให้มั่นใจว่าในกระบวนการเตรียมส่วนประกอบในแต่ละขั้นตอนต้องมีปริมาณส่วนประกอบที่เพียงพอสำหรับการประกอบชุดสายไฟแต่ละชนิด ส่วนข้อจำกัด (6) เพื่อ

แสดงให้เห็นว่าชุดสายไฟที่ตรวจสอบในขั้นตอนที่ 5 ต้องเท่ากับชุดสายไฟสำเร็จรูปพร้อมเตรียมส่งให้ลูกค้า

เงื่อนไขบังคับด้านความต้องการ (Demand Constraint)

$$P_{jk} \geq D_{jk} \qquad (7)$$

ข้อจำกัด (7) มั่นใจว่าจะเป็นชุดสายไฟที่เสร็จสมบูรณ์ต้องผลิตมากกว่าหรือเท่ากับความต้องการของลูกค้าในแต่ละเดือน

เงื่อนไขบังคับด้านเวลา (Time Capacity Constraints)

$$\sum_{j=1}^{7}(S_j Y_j + R_j) \leq C_k \qquad (8)$$

$$X_{ijk} \geq 0 \qquad (9)$$

$$P_{jk} \geq 0 \qquad (10)$$

ข้อจำกัดที่ (8) แสดงให้เห็นว่าเวลาในการผลิตทั้งหมดในแต่ละเดือนไม่สามารถผลิตเกินเวลาที่มีอยู่ได้ C_k ส่วนข้อจำกัดที่ (9) แสดงให้เห็นว่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ผ่านการประมวลทุกขั้นตอนและต้องได้ค่าไม่เป็นลบ
ข้อจำกัดที่ (10) แสดงให้เห็นว่าจำนวนของชุดสายไฟ ที่เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายต้องได้ค่าไม่เป็นลบ

4. ผลลัพธ์การคำนวณ

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้คอมพิวเตอร์ สำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และหาคำตอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

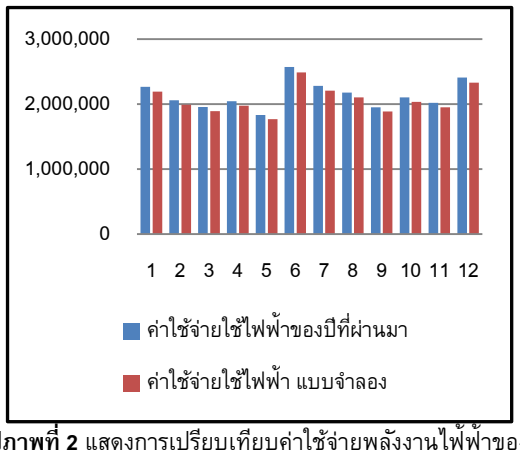
1. หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel Pentium Dual-Core 2.17 GHz
2. ความจุของฮาร์ดดิสก์ 500 GB
3. หน่วยความจำหลัก (RAM) 3 GB
4. ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์ วินโดวส์ 7
5. โปรแกรมที่ใช้ในการหาคำตอบในงานวิจัยนี้ คือ โปรแกรมLINDO API 9.0 และเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยภาษา Visual C++

แบบจำลองช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยเฉลี่ยต่อปี 839,267 บาท หรือ 3.27% เมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา ช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเฉลี่ยต่อปี 126,617 บาท หรือ 3.60% เมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของปีที่ผ่านมากับแบบจำลอง

เดือน	ค่าใช้จ่ายใช้ไฟฟ้าของปีที่ผ่านมา (บาท)	ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าของแบบจำลอง (บาท)
1	2,266,792	2,192,668
2	2,059,319	1,991,979
3	1,957,638	1,893,623
4	2,043,028	1,976,221
5	1,830,135	1,770,289
6	2,571,408	2,487,323
7	2,280,182	2,205,620
8	2,176,158	2,104,998
9	1,950,702	1,886,914
10	2,103,483	2,034,699
11	2,018,712	1,952,700
12	2,408,097	2,329,352
ค่าใช้จ่ายไฟฟ้ารวม	**25,665,654**	**24,826,387**
	ผลต่าง	**-839,267**

จากตารางที่ 1 แสดงให้เป็นปริมาณการใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของแบบจำลองจะเห็นได้ว่าลดลง

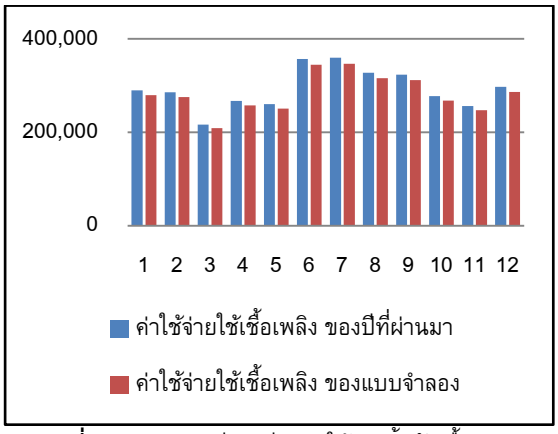


รูปภาพที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของปีที่ผ่านมากับแบบจำลอง

จากรูปภาพที่ 2 แสดงให้เป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลดลงทุกเดือนแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถช่วยในการลดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าได้จริง

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายพลังงานน้ำมันปีที่ผ่านมา

เดือน	ค่าใช้จ่ายใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของปีที่ผ่านมา (บาท)	ค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงของแบบจำลอง (บาท)
1	289,556	279,132
2	285,755	275,468
3	216,652	208,852
4	267,200	257,581
5	259,956	250,597
6	357,200	344,341
7	359,644	346,697
8	327,733	315,935
9	322,963	311,336
10	277,467	267,478
11	256,089	246,870
12	296,930	286,240
ค่าใช้จ่ายน้ำมัน รวม	**3,517,144**	**3,390,527**
	ผลต่าง	**-126,617**



รูปภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงของปีที่ผ่านมากับแบบจำลอง

จากรูปภาพที่ 3 แสดงให้เป็นค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงทุกเดือนแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถช่วยในการลดต้นทุนของน้ำมันเชื้อเพลิงได้จริง

5. สรุป

การศึกษาครั้งนี้คือการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่จะส่งผลให้ผู้ผลิตสามารถผลิตชุดสายไฟหลายชนิด เพื่อสามารถตอบสนองปริมาณความต้องการของลูกค้าในแต่ละเดือนได้และสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิงได้ในขณะเดียวกัน ซึ่งจะเห็นว่าชนิดของชุดสายไฟแตกต่างกันและปริมาณความต้องการของลูกในแต่ละเดือนไม่เท่ากัน โดยเราสามารถใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ในเวลาการผลิตที่เหมาะสมในแต่ละเดือนเพื่อผลิตชุดสายไฟให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการคำนวณปริมาณพลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุดได้.

แบบจำลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนั้นครอบคลุมต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงเท่านั้น เพื่อให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำสุดและสามารถเป็นไปตามข้อจำกัดต่างๆที่มีได้ถูกต้องที่สุด ผู้วิจัยเชื่อมั่นว่าแบบจำลองนี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่สำคัญที่จะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถวางแผนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจาก “ทุนวิจัยพระจอมเกล้าธนบุรี”

เอกสารอ้างอิง

[1] จรูญรัตน์ จงรักษ์ลิขิต. (2552). การวางแผนการผลิตโดยวิธีโปรแกรมเชิงเส้น: กรณีศึกษาโรงงานผลิตแก๊สอุตสาหกรรมจรูญรัตน์ จงรักษ์ลิขิต.กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[2] Özdamar, L., Birbil, “A hierarchical planning system for energy intensive production environments”, International Journal of Production Economics.

[3] Maréchal, F., Kalitvenzeff, B., “Effect modeling and optimization, a new methodology for combined energy and environmental synthesis of industrial processes”, Applied Thermal Engineering Vol. 17

[4] Tari, M. H., Söderström, M., “Optimization modeling of industrial energy systems using MIND introducing the effect of material storage”, European Journal of Operational Research.

[5] Santos, A., Dourado, A., “Global optimization of energy and production in process industries: a genetic algorithm application”, Control Engineering Practice.

[6] Papalexandri, K. P., Pistikopoulos, E. N., Kalitventzeff, B., “Modeling and optimization aspects in energy management and plant operation with variable energy demands-application to industrial problems”, Computers Chem.

[7] Örnek, A. M., Ekinci, E., “Energy appraisal in manufacture”, paper presented to the 1st International Symposium on Energy, Energy and Environment, Izmir, 13 – 17 July 2003

ระบบตรวจสอบความผิดพลาดในการนำเข้าข้อมูลของบริษัทผลิตสินค้าอุปโภคบริโภค

Data Input Error Detection System in Consumer Product Company

ภาคภูมิ รุ่งเรืองนานา* โอฬาร กิตติธีรพรชัย
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขต.ปทุมวัน จ.กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10330 E-mail: winnie_p12@hotmail.com

Pakpoom Rungruangnana*, Oran Kittithreerapronchai
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok, Thailand, 10330, E-mail: winnie_p12@hotmail.com

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีสารสนเทศได้เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญในการจัดการอุตสาหกรรมในด้านการแลกเปลี่ยนการดำเนินงานที่ดีที่สุด ปรับให้เข้ากับระเบียบและการทำงานของท้องถิ่นและตอบสนองการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในองค์กร ถึงแม้ว่าจะมีการใช้เป็นเวลานานหลายทศวรรษแล้วก็ตาม แต่เทคโนโลยีสารสนเทศยังคงประสบปัญหาเรื่องคุณภาพของข้อมูล ในบทความนี้ได้ทำการตรวจสอบข้อมูลที่ไม่ได้คุณภาพของบริษัทต่างชาติแห่งหนึ่งซึ่งทำธุรกิจเกี่ยวข้องกับสินค้าอุปโภคบริโภคและมีสำนักงานในประเทศไทยและพบว่าข้อมูลที่ไม่ได้คุณภาพเหล่านั้นทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการผลิตและการนำส่งสินค้าเพราะสำนักงานใหญ่ต้องแก้ไขความถูกต้องก่อนที่จะนำข้อมูลไปใช้งาน จากข้อกำหนดดังกล่าวทำให้สำนักงานในประเทศไทยต้องมีกระบวนการจัดการข้อมูลของภูมิภาคก่อนเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของและความสอดคล้องข้อมูลก่อนส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบกลาง ได้แก่ การจัดอบรมแลกเปลี่ยนข้อผิดพลาดในการใช้งานระบบให้กับผู้ใช้งาน การพัฒนาโปรแกรมเพื่อส่งผ่านข้อมูลเข้าสู่ระบบข้อมูลกลางซึ่งทำให้เกิดการป้องกันความผิดพลาดโดยอัตโนมัติ และการปรับปรุงการอบรมและโปรแกรมอย่างต่อเนื่องด้วยข้อมูลที่ส่งเข้าระบบ หลังจากใช้กระบวนการดังกล่าวเป็นเวลา 5 เดือนพบว่าความผิดพลาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญจากความผิดพลาดที่ตรวจพบ 78.97% ลดเหลือ 1.77%

คำหลัก: คุณภาพข้อมูล ข้อมูลหลัก ระบบตรวจสอบความผิดพลาด บริษัทอุปโภคบริโภค

Abstract

Information system has become an essential part of manufacturing in terms of sharing best operational practices, compiling with local regulations and practices, and handling rapid changes within an organization. Despite many decades of adaptation, the central information system has been plagued with data quality. In this article, the data quality of master data of an international consumer goods company that has a regional office in Thailand was examined. The examination revealed that the poor quality could cause delays in production and delivery as the head quarter must correct the data before proceed. Because of this protocol, Thailand regional office devised a regional procedure to ensure the correction before incorporated into the database system, particularly sharing common mistakes and errors with operators through training, developing an interface to automatically prevent errors, and constantly updating the training materials and the interface from submitted information. After five months of adoption

of this procedure, the errors significantly reduced, particularly from 78.97% to 1.77%.

Keywords: Data Quality, Master Data, Error Detection System, Consumer Product Company

1. บทนำ

เทคโนโลยีสารสนเทศได้เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญในการจัดการอุตสาหกรรมในด้านการแลกเปลี่ยนการดำเนินงานที่ดีที่สุด ด้านการปรับให้เข้ากับระเบียบและการทำงานของท้องถิ่น และตอบสนองการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในองค์กร โดยสำนักงานสถิติแห่งชาติได้ประมาณการว่างานที่เกี่ยวข้องเทคโนโลยีสารสนเทศในประเทศไทยในช่วงปีพ.ศ.2551-2555 [1] มีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับการนำเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการองค์กรเพิ่มมากขึ้นโดยสังเกตได้จากปริมาณความต้องการคอมพิวเตอร์ในองค์กรเพิ่มขึ้นในพ.ศ.2553 [2] การเติบโตดังกล่าวทำให้อุตสาหกรรมการผลิตต้องพิจารณาถึงประสิทธิภาพของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งสามารถตอบสนองและสอดประสานกิจกรรมต่างๆของอุตสาหกรรม อาทิเช่นการจัดการแรงงาน การสั่งซื้อ กระบวนการผลิต การการจัดการคลังสินค้า และการจัดส่งสินค้า อย่างไรก็ดีถึงแม้จะมีการใช้ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นเวลานานหลายทศวรรษแล้วระบบยังคงประสบปัญหาเรื่องคุณภาพของข้อมูล

บทความนี้ได้ทำการตรวจสอบข้อมูลที่ไม่ได้คุณภาพของบริษัทต่างชาติซึ่งทำธุรกิจสินค้าอุปโภคบริโภคและมีสาขาในประเทศไทย จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าข้อมูลที่ไม่ได้คุณภาพเหล่านั้นทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการผลิตและการนำส่งสินค้าเพราะสำนักงานใหญ่ต้องขอแก้ไขความถูกต้องกับผู้ดูแลระบบกลางในประเทศอินเดียในระบบฐานข้อมูลกลาง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบการวางแผนบริหารธุรกิจขององค์กร (Enterprise Resource Planning: ERP) ก่อนที่จะนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป จากข้อกำหนดดังกล่าวทำให้ทางสำนักงานในประเทศไทยมีแผนปรับปรุงกระบวนการจัดการข้อมูลก่อนส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบกลาง

2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยทีเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความผิดพลาดของข้อมูลนำเข้ามีดังต่อไปนี้

2.1 ความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์

การเพิ่มขึ้นของเทคโนโลยีสารสนเทศในองค์กรทำให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานและระบบมีมากขึ้นซึ่งนำไปสู่ความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์โดยนักวิจัยได้แบ่งความผิดพลาดออกเป็น 2 กลุ่มหลัก[3] ได้แก่(1) การกระทำที่ไม่ได้ตั้งใจ ซึ่งมักเกิดจากความพลั้งเผลอ หรือการลืมเป็นการกระทำที่มักไม่ก่อให้เกิดอันตรายร้ายแรงและมักจะสามารถตรวจพบได้ง่าย และ (2) การกระทำโดยตั้งใจ กล่าวคือผู้กระทำรู้ตัวอยู่แล้วแต่ยังฝ่าฝืนซึ่งความผิดพลาดประเภทนี้จะตรวจพบและป้องกันได้ยาก ซึ่งการป้องกันความผิดพลาดดังกล่าวต้องใช้หลักการยศาสตร์การจัดทำคู่มือการฝึกอบรมเพื่อพัฒนาทักษะการสร้างระบบตรวจจับและแก้ไขความผิดพลาด และการใช้จิตวิทยาสนองตอบความต้องการเข้ามาแก้ไข[4]

2.2 คุณภาพของข้อมูล

ความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์กับการป้อนข้อมูลให้เกิดปัญหาคุณภาพของข้อมูลขึ้น ซึ่งแนวทางในการแก้ไขนั้นจำเป็นต้องทราบถึงมิติของความผิดพลาดก่อน [5] โดยงานวิจัยในอดีตได้จำแนกความผิดพลาดของข้อมูลเป็น 4 ประเภทได้แก่

- **ความถูกต้อง** (Intrinsic) ความถูกต้องและตรงตามวัตถุประสงค์ เชื่อถือได้ของข้อมูล
- **การเข้าถึง** (Accessibility) ความสามารถและความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูล
- **ความสมบูรณ์** (Contextual) ข้อมูลที่ได้รับตรงประเด็น มีความสมบูรณ์ มีปริมาณเพียงพอ
- **การแสดงออก** (Representational) แยกแยะข้อผิดพลาดได้ง่าย และง่ายต่อความเข้าใจ

ต่อมา Xu และคณะ[6] ได้พัฒนาแนวคิดการจัดรูปแบบของปัญหาคุณภาพข้อมูลของGeและHelfert [7] และนำเสนอกรอบการทำงานได้จัดหมวดหมู่ตามลักษณะปัญหาออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ (1) ปัญหาความซ้ำซ้อนของข้อมูล (2) ปัญหาการเข้าถึงข้อมูล และ (3) ปัญหาความสัมพันธ์ของข้อมูล

2.3 การบริหารการเปลี่ยนแปลง

การแก้ไขปัญหาอาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงและแรงต่อต้านจากภายในองค์กรซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับตัวตามสภาวะต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป โดยการสื่อสารภายในองค์กรถือเป็นสิ่งสำคัญในการสนับสนุนการบริหารการเปลี่ยนแปลง [8] นอกจากนี้การเปลี่ยนทัศนคติของกลุ่มบุคคลให้มีความเข้าใจไปในทางเดียวกัน [9] ดังจะเห็นได้จากการนำการบริหารการเปลี่ยนแปลงมาใช้กับการนำระบบ ERP มาใช้ [10] โดยวิเคราะห์เสียงต่อต้านว่าเกิดขึ้นจากสาเหตุอะไรก่อนนำมาแก้ไขผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและสื่อสารให้ผู้ใช้เห็นถึงผลประโยชน์ของการเปลี่ยนแปลงจนผู้ใช้งานยอมรับ

3. ระบบฐานข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา

ก่อนมีการวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพของข้อมูลหลักของบริษัทกรณีศึกษา คณะวิจัยมีความจำเป็นต้องกล่าวถึงสถาปัตยกรรมและการไหลของข้อมูลก่อน

3.1 สถาปัตยกรรมของระบบฐานข้อมูล

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตและจำหน่ายสินค้าอุปโภคบริโภคต่างชาติขนาดใหญ่ และใช้ระบบ ERP ในการจัดการฐานข้อมูลของวัสดุทุกประเภทในระบบการผลิต โดยบริษัททำการแบ่งวัสดุที่เกี่ยวกับมิติการผลิตเป็น 4 ประเภทดังนี้

- **วัสดุสำเร็จรูป** (Finished Products: FG) เป็นวัสดุที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมขนส่งไปยังจุดจำหน่าย
- **วัสดุกึ่งสำเร็จรูป** (Work in Process: WIP) เป็นวัสดุที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้วแต่ยังไม่พร้อมจัดจำหน่าย อาทิเช่น น้ำยาที่ยังไม่บรรจุ
- **วัสดุบรรจุภัณฑ์** (Packaging Material: PM) เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อนำเสนอสินค้าแตกต่างกันตามช่องทางการจัดจำหน่าย
- **วัตถุดิบ** (Raw Material: RM) คือวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต อาทิเช่น สารเคมี และตัวเร่งปฏิกิริยา

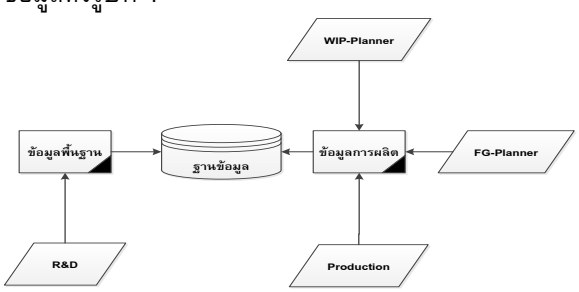
นอกเหนือจากการแบ่งข้อมูลตามมิติวัสดุแล้ว ทางบริษัทกรณีศึกษายังแบ่งข้อมูลหลักตามมิติการใช้งานซึ่งเป็นอิสระจากมิติของวัสดุออกเป็น 4 ส่วนได้แก่

- **ข้อมูลพื้นฐาน**(Basic Data) เป็นข้อมูลที่ระบุถึงลักษณะทางกายภาพของวัสดุอาทิเช่น รหัสวัสดุ ชื่อ ขนาด และน้ำหนัก ข้อมูลส่วนนี้จะมีการใช้ร่วมกันในแต่ละประเทศ
- **ข้อมูลการผลิต**(Production Data)เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิตและการจัดหาวัสดุ ข้อมูลดังกล่าวแตกต่างกันในแต่ละประเทศและเป็นข้อมูลสำคัญในการสร้างสูตรการผลิต
- **ข้อมูลการเงิน**(Financial Data) เป็นข้อมูลที่แสดงต้นทุนการผลิต กำหนดราคาขาย และใช้ในการทำรายงานทางบัญชี
- **ข้อมูลการขาย**(Sale Data)เป็นข้อมูลที่ระบุช่องทางการขายวัสดุ เช่น เลขทะเบียนการผลิต รหัสใบอนุญาต และอัตราภาษี

เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้ศึกษาผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับการผลิต อีกทั้งข้อมูลการเงินและข้อมูลการขายมีความละเอียดอ่อน ดังนั้นจึงขอรายงานข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลการผลิตเท่านั้น

3.2 การไหลของข้อมูล

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าปัญหาคุณภาพข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลการผลิตนั้นเกิดขึ้นจากการป้อนข้อมูลของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงขออธิบายการไหลเข้าของข้อมูลดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนกที่ป้อนข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลการผลิต

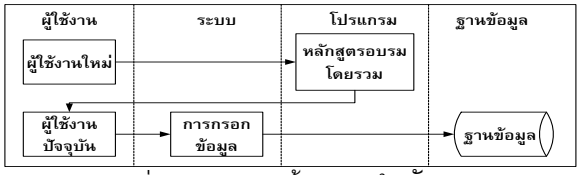
จากรูปที่ 1 แสดงแผนกที่มีส่วนเกี่ยวข้อง 4 แผนกดังต่อไปนี้

- **แผนกวิจัยและพัฒนา** (Research and Development: R&D) ซึ่งป้อนข้อมูลพื้นฐาน อาทิเช่น ข้อมูลกายภาพและอายุของวัสดุ
- **แผนกวางแผนวัสดุสำเร็จรูป** (FG-Planner) ทำหน้าป้อนข้อมูลการผลิตเช่นปริมาณการผลิต วันที่เริ่มผลิต ขนาดที่ต้องผลิตของวัสดุสำเร็จรูป
- **แผนกวางแผนสินค้ากึ่งสำเร็จรูป** (WIP-

Planner)ทำหน้าที่ป้อนข้อมูลการผลิตของวัสดุกึ่งสำเร็จ บรรจุภัณฑ์ และวัตถุดิบ

- **แผนการผลิต** (Production)ทำหน้าที่ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น

โดยปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษามีระบบการดำเนินการป้อนข้อมูลดังรูปที่ 2

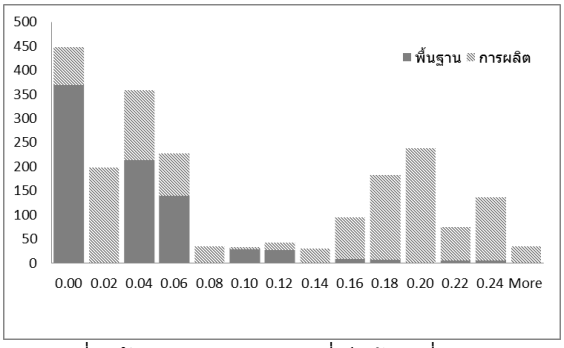


รูปที่ 2 กระบวนการป้อนข้อมูลในปัจจุบัน

ผู้ใช้งานใหม่ในรูปที่ 2 ต้องผ่านการอบรมรวมก่อนจึงสามารถป้อนข้อมูลได้โดยเมื่อป้อนข้อมูลแล้วจะถูกส่งเข้าระบบฐานข้อมูลโดยตรง หากมีข้อผิดพลาดจะต้องทำการแก้ไขโดยส่งข้อมูลให้ผู้ดูแลระบบฐานข้อมูลในประเทศอินเดียพิจารณาและแก้ไขในส่วนของข้อมูลพื้นฐานซึ่งใช้เวลา 2-3 วัน ก่อนแจ้งผู้ดูแลระบบท้องถิ่นเพื่อทำการแก้ไขส่วนการผลิตซึ่งต้องใช้เวลาอีก 1-2 วัน

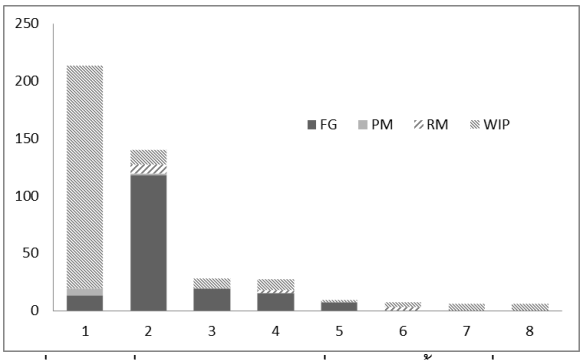
4. ปัญหาคุณภาพข้อมูล

เมื่อรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าวัสดุมีปัญหาคุณภาพของข้อมูล 1,682 จากข้อมูล 2,130 วัสดุ-การใช้งาน หรือเป็น 78.97%ของข้อมูลซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการล่าช้าในการผลิตและการจัดส่ง เนื่องจากการแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาดใช้เวลานาน ซึ่งสัดส่วนจำนวนตำแหน่งที่เก็บข้อมูล (Field) ที่มีการผิดพลาดจำแนกตามมิติการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 3

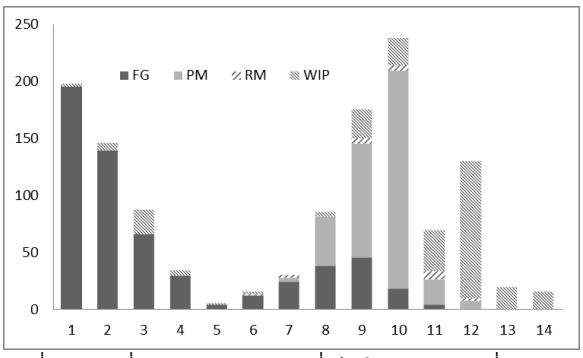


รูปที่ 3 สัดส่วนจำนวนตำแหน่งที่เก็บข้อมูลที่ผิดพลาด

รูปที่ 3 ข้อมูลพื้นฐานมีจำนวนสัดส่วนความผิดพลาดพลาดน้อยกว่าข้อมูลการผลิต หากพิจารณาความถี่ในแต่ละข้อมูลโดยละเอียดแยกมิติประเภทวัสดุดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 4 ความถี่ของจำนวนตำแหน่งที่เก็บข้อมูลพื้นฐานที่ผิดพลาด



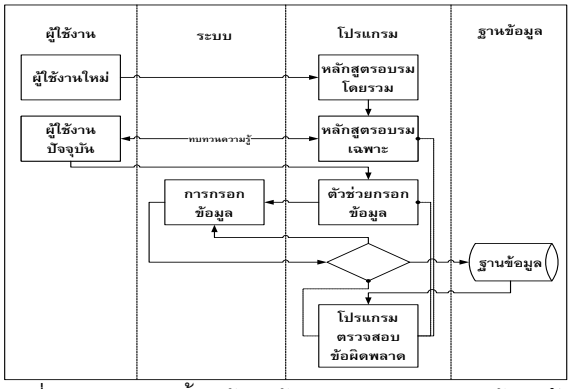
รูปที่ 5 ความถี่ของจำนวนตำแหน่งที่เก็บข้อมูลการผลิตที่ผิดพลาด

จากรูปพบว่าข้อมูลพื้นฐานของวัสดุสำเร็จรูปมีความผิดพลาดของข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลการผลิต นอกจากนี้บริษัทกรณีศึกษายังประสบปัญหาคุณภาพข้อมูลพื้นฐานในส่วนวัสดุกึ่งสำเร็จรูป และคุณภาพข้อมูลการผลิตของวัดสุบรรจุภัณฑ์ สาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ข้อมูลการผลิตมีสัดส่วนความผิดพลาดสูงเนื่องจากข้อมูลมีการเชื่อมโยงกันดังนั้นทางคณะวิจัยจึงจำแนกความผิดพลาดของข้อมูลนั้นสามารถจำแนกได้ 2 กลุ่มคือ (1) กลุ่มข้อมูลที่ไม่สัมพันธ์กับข้อมูลอื่นซึ่งความผิดพลาดเกิดจากความละเลย อาทิเช่น ข้อมูลขาดหาย พิมพ์ข้อมูลผิดซึ่งมีประมาณ 65% และ (2) กลุ่มข้อมูลที่สัมพันธ์กับข้อมูลอื่นซึ่งเป็นปัญหาหลักของคุณภาพข้อมูล มักเกิดจากการขาดความรู้ความเข้าใจที่เพียงพอในการป้อนข้อมูลซึ่งมี 35%

5.แนวทางการแก้ไขปัญหา

เพื่อแก้ไขคุณภาพของข้อมูลจึงมีการระดมความคิด

เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานและนำเสนอกระบวนการนำเข้าข้อมูลด้วยระบบตรวจสอบแบบย้อนกลับเป็น 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 กระบวนการป้อนข้อมูลด้วยระบบตรวจสอบแบบย้อนกลับ

ส่วนที่ 1 การแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดจากการขาดความรู้ ซึ่งมักเกิดจากการละเลยหรือไม่เข้าใจในลักษณะงาน ดังนั้นคณะวิจัยจึงจัดให้มีการอบรมเฉพาะและสร้างคู่มือขึ้นเพื่อแลกเปลี่ยนข้อผิดพลาดในการใช้งานในแต่ละแผนก นอกจากนี้ยังเสนอให้มีกระบวนการสร้างและปรับปรุงองค์ความรู้

ส่วนที่ 2 การปรับปรุงวิธีการป้อนข้อมูลโดยเพิ่มค่าตั้งต้น ค่าบังคับ และคำอธิบายข้อมูล นอกจากนั้นยังนำกฎเฉพาะทางธุรกิจ (Business Rule) เข้ามาช่วยตรวจสอบการป้อนข้อมูลว่าสอดคล้องกันหรือไม่

ส่วนที่ 3 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อตรวจสอบและค้นหาข้อผิดพลาดของข้อมูลหลักก่อนจะส่งไปยังระบบฐานข้อมูลกลาง การพัฒนาโปรแกรมดังกล่าวทำใน VBA/MS Excel เนื่องจากมีต้นทุนการพัฒนาต่ำ

ระบบตรวจสอบการป้อนข้อมูลทั้ง 3 ส่วนอาศัยโปรแกรมเป็นเครื่องมือสำคัญตรวจสอบและป้อนกลับข้อมูลที่ผิดพลาด โดยข้อผิดพลาดที่ส่วนกลางพบจะนำเป็นส่วนหนึ่งของหัวข้อการอบรมและปรับปรุงการป้อนข้อมูล และนำเข้าสู่โปรแกรมเพื่อพัฒนาขีดความสามารถในการตรวจจับต่อไป

ระหว่างการนำระบบตรวจสอบข้อมูลนำเข้าแบบย้อนกลับได้มีการตรวจสอบข้อผิดพลาดในการป้อนข้อมูลในแต่ละเดือนดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนวัสดุที่มีข้อมูลผิดพลาดก่อนและหลังการปรับปรุง

เดือน	จำนวนวัสดุ ผิดพลาด	ทั้งหมด	%	หมายเหตุ
0	1,682	2,130	78.97	ก่อนปรับปรุง
1	1,546	2,618	59.05	หลังปรับปรุง
2	930	2,734	34.02	
3	332	1,210	27.44	ทบทวนข้อมูล
4	132	1,008	13.10	
5	66	3729	1.77	

จากข้อมูลพบว่าการปรับปรุงกระบวนการป้อนข้อมูลทำให้จำนวนวัสดุที่มีข้อมูลผิดพลาดลดลง โดยการทบทวนข้อมูลในเดือนที่ 3 และข้อสรุปไปปรับปรุงกระบวนการอบรบในเดือนที่ 4 ทำให้ข้อผิดพลาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อเป็นการยืนยันผลการปรับปรุงทางผู้จัดทำได้ทำการประเมินความเห็นของแผนกที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลทั้งการป้อนและการใช้งานงแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แผนกที่เกี่ยวข้องกับการป้อนและการใช้ข้อมูล

แผนก	FG		WIP		PM		RM	
	พื้นฐาน	การผลิต	พื้นฐาน	การผลิต	พื้นฐาน	การผลิต	พื้นฐาน	การผลิต
จัดการคุณภาพ	□	□	□	□	□	□	□	□
ควบคุมคุณภาพ	□	□	□	□	□	□	□	□
วางแผน	■	✓	■	✓	■	✓	■	✓
การผลิต	□	✓	□	✓	□	■	□	■
ต้นทุนสินค้า					□	■	□	■
บัญชี	□	■	□	■				
คลังสินค้า	■	■	■	■	■	■	■	■
จัดซื้อ					□	■	□	■
ดำเนินการขาย	■	■	■	■				
พื้นที่ขาย	■	■						
การตลาด	■	■						
บริการลูกค้า	□	□	□	□				
วิจัยและพัฒนา	✓	■	✓	■	✓	■	✓	■

หมายเหตุ
✓ ป้อนข้อมูล ■ ใช้ข้อมูลเป็นหลัก □ ใช้ข้อมูลบางส่วน

การประเมินความเห็นจัดทำขึ้น 2 ครั้งคือในเดือนที่ 0 ก่อนการปรับปรับ และหลังปรับปรุงแล้ว 5 เดือนโดยให้ผู้ใช้งานประเมินความพึงพอใจกับระบบฐานข้อมูลใน5 ระดับคะแนน กล่าวคือ 1 (น้อยที่สุด) ถึง 5 (มากที่สุด) โดยผู้ใช้งานไม่ทราบว่ามีการปรับปรุงระบบยกเว้นแผนกป้อนข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การสำรวจความพึงพอใจของระบบจากผู้ใช้งาน

แผนก	n	ก่อนปรับปรุง $\bar{x} \pm sd$	หลังปรับปรุง $\bar{x} \pm sd$
จัดการคุณภาพ	5	2.8 ±0.84	4.8 ±0.45
ควบคุมคุณภาพ	5	2.2 ±0.45	4.8 ±0.45
วางแผน	20	1.9 ±0.49	4.6 ±0.83
ผลิต	10	2.0 ±0.47	4.6 ±0.70
ต้นทุนสินค้า	5	2.0 ±0.00	4.8 ±0.45
บัญชี	5	2.0 ±0.00	4.4 ±0.55
คลังสินค้า	5	2.0 ±0.00	4.2 ±0.45
จัดซื้อ	5	2.0 ±0.00	4.8 ±0.45
ดำเนินการขาย	5	2.4 ±0.55	4.4 ±0.55
พื้นที่ขาย	5	2.0 ±0.00	4.8 ±0.45
การตลาด	15	2.0 ±0.38	4.6 ±0.51
บริการลูกค้า	15	2.0 ±0.65	4.2 ±0.77
วิจัยและพัฒนา	10	2.2 ±0.42	4.4 ±0.52

จากค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในตารางที่ 3 พบว่าความพึงพอใจของแผนที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นหลังจากมีการปรับปรุงการป้อนข้อมลและเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยสถิติด้วยการทดสอบ t-pair test พบว่าความพึงพอใจก่อนและหลังการปรับปรุงแตกต่างกันด้วยความเชื่อมั่น 0.05

6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ตรวจสอบฐานข้อมูลหลักของบริษัทอุปโภคบริโภคและมีสำนักงานในประเทศไทย พบว่าข้อมูลที่ไม่ได้คุณภาพเหล่านั้นทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการผลิตและการนำส่งสินค้า ดังนั้นทางคณะวิจัยจึงทำการปรับปรุงกระบวนการป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบโดยการอบรมแลกเปลี่ยนข้อผิดพลาดระหว่างผู้ใช้ พร้อมทั้งปรับปรุงการวิธีการกรอกข้อมูลโดยเพิ่มค่าตั้งต้น ค่าบังคับร่วมกับการใช้กฎทางธุรกิจ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาโปรแกรมเพื่อส่งผ่านข้อมูลเข้าสู่ระบบข้อมูลกลาง ซึ่งทำให้การป้องกันความผิดพลาดโดยอัตโนมัติ และนำผลที่ได้เข้ามาปรับปรุงการอบรมและโปรแกรมอย่างต่อเนื่อง

กระบวนการดังกล่าวมีข้อจำกัดสำหรับวัสดุประเภทใหม่ที่อาจจะมีข้อมูลแตกต่างจากเดิม อีกทั้งการปรับปรุงในลักษณะดังกล่าวต้องการความร่วมมือจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องและผู้บริหารในการผลักดันเพื่อทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพและลดแรงต่อต้านในองค์กร

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานสถิติแห่งชาติ, "เครื่องชี้การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารของประเทศไทย," 2008.

[2] N. S. Office, "Key Statistics of Thailand 2012", 2012.

[3] J. Reason, Human error: Cambridge university press, 1990.

[4] A. Rizzo, S. Bagnara, and M. Visciola, "Human error detection processes", International journal of man-machine studies, vol. 27, pp. 555-570, 1987.

[5] D.M. Strong, Y.W. Lee, and R.Y. Wang, "Data quality in context", Communications of the ACM, vol. 40, pp. 103-110, 1997.

[6] H. Xu, J. Horn Nord, N. Brown, and G. Daryl Nord, "Data quality issues in implementing an ERP", Industrial Management and Data Systems, vol. 102, pp. 47-58, 2002.

[7] M. Ge and M. Helfert, "Data and information quality assessment in information manufacturing systems", in Business Information Systems, 2008, pp. 380-389.

[8] P.J. Kitchen and F. Daly, "Internal-communication during change management", Corporate Communications: An International Journal, vol. 7, pp. 46-53, 2002.

[9] W. Doherty, "การสื่อสารเพื่อการเปลี่ยนแปลงองค์กร",Naresuan University Journal: Science and Technology, vol. 19, pp. 100-107, 2013.

[10] A. M. Aladwani, "Change management strategies for successful ERP implementation", Business Process management journal, vol. 7, pp. 266-275, 2001.

การสร้างเกมคอมพิวเตอร์สำหรับฝึกทักษะการตรวจสอบคุณภาพการเรียงพิมพ์

Computer-Based Game for Proofreading Inspection Skills Training

พงศ์ยุทธ์ จั่นทอง[1*] อนุชา วัฒนาภา[2]
[1,2]ภาควิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี E-mail: phongyut.jun@kmutt.ac.th[*]

Phongyut Juntong[1*] Anucha Wattanapa[2]
[1,2] Department of Printing and Packaging Technology Faculty of Industrial Education and Technology
King Mongkut's University of Technology Thonburi Bangkok Thailand E-mail: phongyut.jun@kmutt.ac.th[*]

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อสร้างเกมคอมพิวเตอร์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพการเรียงพิมพ์ หาคุณภาพของเกม ประเมินผลสัมฤทธิ์จากกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทดลองเล่นเกม และหาความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง เกมที่สร้างขึ้นใช้หลักการแบบเกมจับผิดภาพ (Photo hunt) จากนั้นนำเกมไปประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเกมคอมพิวเตอร์ 3 ท่าน นำเกมมาทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 40 คน ผลการวิจัยพบว่า เกมที่สร้างขึ้นมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.56 ผลพัฒนาการของผู้ที่ได้ทดลองเล่นเกม สรุปได้ว่ามีพัฒนาการเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 จากการเล่นเกมซ้ำ และการประเมินความพึงพอใจของผู้ที่ได้ทดลองเล่นเกม มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 3.99 ซึ่งมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสร้างเกมคอมพิวเตอร์สำหรับฝึกทักษะการตรวจสอบคุณภาพการเรียงพิมพ์ มีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นตัวอย่างของเกมที่จะสร้างความบันเทิง และใช้ในการเล่นเพื่อเป็นพัฒนาการในการตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์ต่อไปได้

คำหลัก: เกม / ตรวจสอบคุณภาพ / การเรียงพิมพ์พิสูจน์อักษร

Abstract

Research objectives: to crate the Computer-based game for proofreading skills training, evaluate the program quality, to find the skill improvement of the users in playing program, and find users' satisfaction against the program. The method was begun by creating the Computer-based game for proofreading skills training which as evaluate by 3 expert in game design, and 40 samples consisted of undergraduate students selected. As a result, the score from experts in game design at 4.56 that is very good level. The skill improvement of users against the program from 50 percent and the evaluation of users' satisfaction was 3.99 meaning high satisfied; therefore, the Computer-based game for proofreading skills training is suitable to apply for entertainment and improving skill of proofreading inspection.

Keywords: Game / Quality inspection / Proofreading

1. บทนำ

คุณภาพในการเรียงพิมพ์สำคัญมากในการผลิตสิ่งพิมพ์ ทักษะการตรวจสอบคุณภาพการเรียงพิมพ์นั้นเกิดจากความชำนาญ และประสบการณ์การทำงานของผู้ปฏิบัติ งานโดยตรง การที่จะสามารถตรวจสอบการเรียงพิมพ์ให้ดีจะต้องมีการฝึกฝน ปัจจุบันมีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ มาใช้ฝึกอบรม และฝึกฝนเอื้อต่อการทำงานมากมาย เกม

คอมพิวเตอร์ถือเป็นเทคโนโลยีมัลติมีเดียที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันอย่างกว้างขวางในหลายๆด้าน เช่น ด้านการศึกษา การกีฬา ศิลปะ ความบันเทิง ธุรกิจ เป็นต้น ข้อดีของมัน ก็ช่วยให้เกิดความเพลิดเพลิน ผ่อนคลาย สนุกสนาน ตื่นเต้น เร้าใจ และยังช่วยฝึกฝนทักษะอันเกิดจากประสบการณ์ที่ได้สัมผัสจากการเล่นเกมคอมพิวเตอร์เหล่านั้น [1] เกมการศึกษา (Education Game) เป็นเกมที่วัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ความรู้และความเพลิดเพลิน ปัจจุบันเกมประเภทนี้มีผู้สร้างเกมได้สร้างออกมาหลากหลายวิชาช่วยให้ผู้เรียนไม่เบื่อการเรียน ทำให้อยากศึกษาในวิชานั้นๆ นอกจากเกมจะช่วยเร้าความสนใจของผู้ฝึกอบรมแล้ว ยังไม่จำกัดเวลาในการเรียนรู้ผู้ฝึกอบรมสามารถพัฒนาทักษะความสามารถได้ตลอดเวลา ตามความยากของเกม และใช้เวลาในการเล่มไม่มากนัก สามารถนำกลับไปเล่นที่บ้านได้ด้วย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อสร้างเกมคอมพิวเตอร์สำหรับฝึกทักษะการตรวจสอบคุณภาพการเรียงพิมพ์โดยให้สอดคล้องกับปัญหาของการตรวจพิสูจน์ที่เกิดขึ้นบนหน้าหนังสือ หาคุณภาพของเกมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นนำมาหาพัฒนาการของผู้ที่ได้ทดลองเล่นเกม และหาความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทดลองเล่นเกมคอมพิวเตอร์

2 วิธีการทดลอง

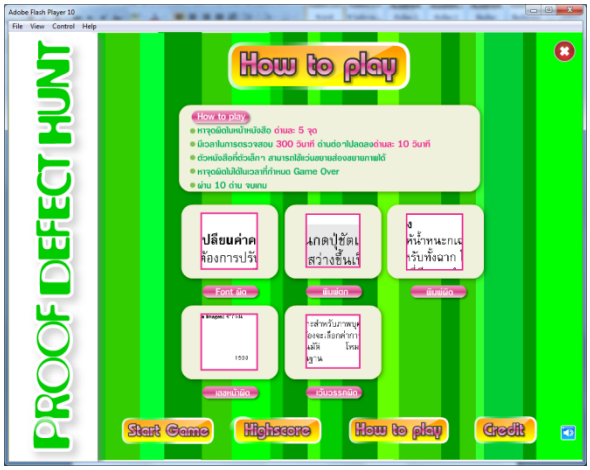
2.1 ขั้นตอนการพัฒนาเกม

ศึกษากระบวนการเรียงพิมพ์ การตรวจสอบคุณภาพการเรียงพิมพ์และรูปแบบของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการเรียงพิมพ์ จากผู้ปฏิบัติงานตรวจพิสูจน์อักษรในสถานประกอบการโรงพิมพ์ และผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีการพิมพ์ เลือกปัญหาทางการเรียงพิมพ์ที่จะใช้ในการสร้างเกมคอมพิวเตอร์สำหรับฝึกทักษะการตรวจสอบคุณภาพการเรียงพิมพ์ โดยลักษณะของปัญหาที่นำมาใช้ จะต้องมีลักษณะที่สามารถตรวจพบได้อย่างชัดเจน ทำให้เกมมีระดับความยากที่ความเหมาะสม ไม่ยากจนเกินไป สร้างเกมคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลปัญหาในกระบวนการเรียงพิมพ์ที่เหมาะสมมาเป็นแนวทางในการสร้างเกม นำเกมที่สร้างเสร็จแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีการพิมพ์และด้านการออกแบบเกมคอมพิวเตอร์ทดลองเล่น เพื่อประเมินหาคุณภาพของเกม และแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ หาประสิทธิภาพเกมโดยนำไปให้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 40 คน ทดลองเล่นเกม เพื่อหาพัฒนาการของผู้ที่ได้ทดลองเล่นเกม และเพื่อประเมินหาความพึงพอใจของผู้ที่ได้ทดลองเล่นเกม

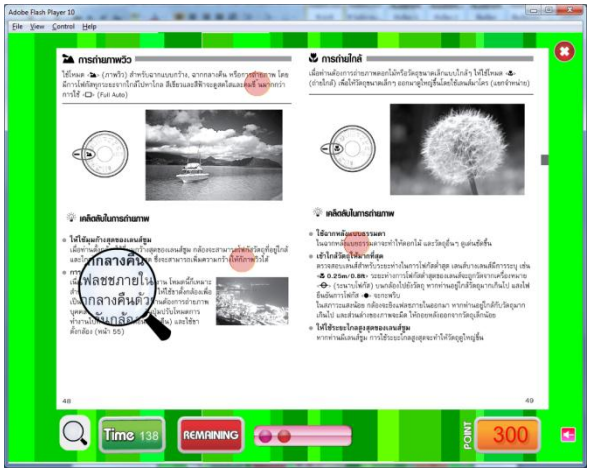
2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ เกมคอมพิวเตอร์สำหรับฝึกทักษะการตรวจสอบคุณภาพการเรียงพิมพ์ และ แบบประเมินคุณภาพของเกมคอมพิวเตอร์ ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ และแบบบันทึกพัฒนาการการเล่นของผู้ที่ได้ทดลองเล่น เกมคอมพิวเตอร์สำหรับฝึกทักษะการตรวจสอบคุณภาพการเรียงพิมพ์และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ที่ได้ทดลองเล่นเกม แบบประเมินคุณภาพและแบบประเมินความพึงพอใจเลือกใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) ในลักษณะของ Rating Scale ตามแบบการสร้างวัดทัศนคติของลิเคิร์ท (Likert) เพื่อทดสอบหาคุณภาพของเกม ตัวอย่างเกมคอมพิวเตอร์

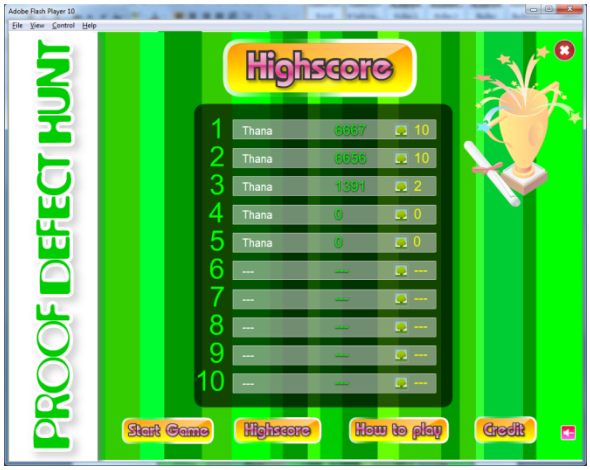
รูปที่ 1 แสดงหน้าเมนูหลักของเกม



รูปที่ 2 แสดงหน้าจออธิบายกฎ-กติกาการเล่นเกม



รูปที่ 3 แสดงการจับผิดภาพ



รูปที่ 4 แสดงหน้าจอแสดงผลคะแนนที่บันทึกในการเล่น

3. ผลการทดลอง

เกมที่สร้างเป็นเกมจากโปรแกรมสำเร็จรูป มีลักษณะเป็นเกมตรวจหาจุดผิดบนหน้าหนังสือ หลังจากนั้นได้นำเกม มาหาคุณภาพของเกม , หาพัฒนาการของผู้ที่ได้ทดลองเล่นเกม และหาความพึงพอใจของผู้ที่ได้ทดลองเล่นเกมต่อไป

3.1 ผลการหาคุณภาพของเกม

เกมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้น ผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมากดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงระดับคุณภาพของเกมคอมพิวเตอร์

หัวเรื่อง	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับคุณภาพ
ด้านกฎ-กติกาในการเล่นเกม	4.55	0.57	ดีมาก
ด้านหน้าจอปฏิสัมพันธ์	4.66	0.38	ดีมาก
ด้านองค์ประกอบของเกม	4.41	0.57	ดี
ด้านการเล่นเกม	4.55	0.38	ดีมาก
ด้านภาพรวมของตัวเกม	4.66	0.57	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.56	0.50	ดีมาก

3.2 ผลพัฒนาการของผู้ที่ได้ทดลองเล่นเกม

จำนวนคะแนนเฉลี่ยจากการเล่นเกมคะแนนเต็ม คือ 5000 คะแนน ครั้งที่ 1 จากผู้เล่น 40 คน คือ 769.30 คะแนน ครั้งที่ 2 จากผู้เล่น 40 คน อยู่ที่ 1473.10 คะแนน ครั้งที่ 2 มีจำนวนคะแนนเฉลี่ยมากกว่าครั้งที่ 1 คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น ร้อยละ 50

3.3 ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างได้ประเมินให้คะแนนความพึงพอใจต่อการทดลองเล่นเกม อยู่ในระดับมาก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของเกม

หัวเรื่อง	ค่าเฉลี่ย	SD	ระดับคุณภาพ
ด้านกฎ-กติกาในการเล่นเกม	3.94	0.67	มาก
ด้านหน้าจอปฏิสัมพันธ์	4.08	0.79	มาก
ด้านองค์ประกอบของเกม	3.96	0.67	มาก
ด้านการเล่นเกม	3.88	0.78	มาก
ด้านภาพรวมของตัวเกม	4.06	0.59	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	3.99	0.70	มาก

4. สรุปผลการทดลอง

จากการวิจัยพบว่าการฝึกอบรมพนักงานผ่านการเล่นเกมจะทำให้กลุ่มตัวอย่างมีความสนใจและสามารถฝึกฝนด้วยตนเอง และมีความสนุกจากการเล่นเกม มีการจับเวลา และกำหนดคะแนน สร้างความน่าสนใจให้กับกลุ่มตัวอย่าง หากได้เล่นเกมคอมพิวเตอร์สำหรับฝึกทักษะการตรวจสอบคุณภาพการเรียงพิมพ์อย่างสม่ำเสมอเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว จะทำให้มีทักษะในการตรวจสอบงานเพิ่มมากขึ้น ทำให้เมื่อปฏิบัติงานจริงจะทำให้ผู้ตรวจสอบการเรียงพิมพ์ สามารถตรวจสอบปัญหาการเรียงพิมพ์ พบได้เร็วขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานลงได้ เกมที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ฝึกฝนทักษะการตรวจปรู๊ฟตัวอักษรการเรียงพิมพ์ได้จริง เพราะได้ผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ และผ่านการทดสอบพัฒนาการในการเล่นเกม ความพึงพอใจในการเล่นเกมของกลุ่มตัวอย่างแล้ว

เอกสารอ้างอิง

[1] ณัฐพงศ์ ฐิติมากุล, 2444, Game of PC เรียนรู้เรื่องเกมจากโปรแกรมเมอร์ตัวยง,บริษัทเสริมวิทย์ อินฟอร์เมชันเทคโนโลยี จำกัด, หน้า 19-25, 26-85.

[2] ชัยวัฒน์ คำรัตน์, 2544, Game Programming with DirectX8.0, บริษัท คอมพิวเตอร์เอจ เทคโนโลยี จำกัด : โรงพิมพ์สงวนศักดิ์การพิมพ์, หน้า 14-23.

[3] ธนิศา ไชยภูริพัฒน์, 2545, จิตรกรดิจิตอล Illustrator 10, พิมพ์ครั้งที่ 1 ,บริษัท พิมพ์ดี จำกัด : บริษัท เออาร์ อินฟอร์เมชัน แอนด์ พับลิเคชัน จำกัด, หน้า 16-18.

[4] พัฒนพงศ์ สุนทรกำจรพานิช, 2545, สร้าง INTERACTIVE GAME ด้วย flash แบบ STEP-BY-STEP, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), หน้า 106-112.

[5] มิ่งขวัญ เหรียญประยูร, 2537, ความน่าจะเป็นและสถิติ, งานเอกสารและการพิมพ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 5-14.

การประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาด้วยทฤษฎีความน่าเชื่อถือเป็นศูนย์กลาง เพื่อลดเวลาสูญเสียในการผลิต กรณีศึกษา โรงงานผลิตวุ้นเส้น

THE APPLICATION OF RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE FOR REDUCING DOWNTIME IN THE SAMPLE VEMICELLI FACTORY

ประสิทธิชัย ผาสุกตรี [1]*, ประจวบ กล่อมจิตร [2]
[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ. นครปฐม 73000 E-mail: aea_tragarpa@hotmail.com *

Prasittichai Pasuktree [1]*, Prachuab Klomjit [2]
[1,2]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Muang, Nakornpathom, 73000, E-mail: aea_tragarpa@hotmail.com *

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาสูญเสียที่เกิดจากปัญหาการขัดข้องและเสียหายของเครื่องจักรในระหว่างทำการผลิต และจัดทำแผนงานการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้กับเครื่องจักรในโรงงานตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการการบำรุงรักษาด้วยทฤษฎีความน่าเชื่อถือเป็นศูนย์กลาง แนวทางการศึกษาเริ่มจากการคัดเลือกและวิเคราะห์เครื่องจักรตามความวิกฤติและวิเคราะห์หน้าที่ของชิ้นส่วนเครื่องจักรผลิตวุ้นเส้น และนำข้อมูลที่ได้มาทำการหาสาเหตุข้อขัดข้องและทำการวิเคราะห์ความเสียหายและระดับความเสี่ยงด้วยวิธีการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) จากนั้นทำการคำนวณรอบการเปลี่ยนทดแทนที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ด้วยการประมาณค่าพารามิเตอร์ความน่าเชื่อถือด้วยวิธีการทางสถิติ และทำการคำนวณหารอบงานบำรุงรักษาป้องกันตามแผน และนำข้อมูลที่ได้มาจัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้กับเครื่องจักร ซึ่งมีดัชนีวัดผล ได้แก่ เวลาสูญเสียในการผลิตอัตราความเสียหายและอัตราความพร้อมในการใช้งานของเครื่องจักร ผลการดำเนินงานพบว่า 1)เครื่องจักรผลิตวุ้นเส้น MC1 เวลาสูญเสียในการผลิตลดลงเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 947 นาที คิดเป็นอัตราความเสียหายลดลงเท่ากับ 6.29 % และอัตราความพร้อมในการใช้งานเพิ่มเป็น 93.71 % 2)เครื่องจักรผลิตวุ้นเส้น MC2 เวลาสูญเสียในการผลิตลดลงเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 814 นาที คิดเป็นอัตราความเสียหายลดลงเท่ากับ 6.97 % และอัตราความพร้อมในการใช้งานเพิ่มเป็น 93.03 % 3)เครื่องจักรผลิตวุ้นเส้น MC3 เวลาสูญเสียในการผลิตลดลงเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 899 นาที คิดเป็นอัตราความเสียหายลดลงเท่ากับ 6.69 % และอัตราความพร้อมในการใช้งานเพิ่มเป็น 93.31 %

คำหลัก การจัดการบำรุงรักษาด้วยทฤษฎีความน่าเชื่อถือ, การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ, พารามิเตอร์ความน่าเชื่อถือ, งานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

Abstract

The objective of this study aimed to reduce downtime loss because of machine breakdown and to schedule the preventive maintenance plan based on the reliability centered maintenance theory for the machine components of a case study industry. The research methodology include procedure as following the priority of critical components in the vemicelli machine, analyzing the damage and risk level by using

failure mode and effect analysis (FMEA), calculating the suitable reliability parameters and scheduled preventive maintenance. The result was shown that study can be concluded that the downtime loss because of breakdown in MC1, MC2, and MC3 was decreased by decreased in 947 minutes/month, 814 minutes/month, and 899 minutes/month or failure rate can be reduced 6.29 %, 6.97 %, and 6.69 % respectively. Moreover the machine availability has been increased in 93.71 %, 93.03 %, and 93.31 % respectively.

Keywords: Reliability based maintenance, Failure mode and effect analysis, Reliability parameter, Preventive maintenance.

1. บทนำ

ประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานจะเพิ่มขึ้นได้นั้นจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพโดยรวมของ 4M (Machine, Material, Man, Method) ดังนั้นในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมกระบวนการ การเพิ่มประสิทธิภาพของ 4M อย่างจริงจังเสียก่อนจึงเป็นประเด็นที่สำคัญที่สุด กล่าวคือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของโรงงาน ประสิทธิภาพของวัตถุดิบ ประสิทธิภาพของการปฏิบัติงาน รวมถึงประสิทธิภาพของการบริหารจัดการต่างๆ ในอุตสาหกรรมกระบวนการ จะมีจุดมุ่งหมายที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยรวมให้สูงที่สุดโดยการค้นหาความสูญเสียทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับปัจจัย 4M ทั้งหมดที่เป็นต้นทาง (Input) ของการผลิตและทำให้ปลายทาง (Output) ของการผลิตสูงที่สุด สำหรับกระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง ได้มีการดำเนินกิจกรรมงานด้านการบำรุงรักษาให้กับเครื่องจักรตามมาตรฐานระบบควบคุมคุณภาพ GMP (Good Manufacturing Practice) โดยมุ่งเน้นไปที่ความสะอาดและกฎระเบียบการปฏิบัติงานเป็นสำคัญ การทำการบำรุงรักษาจะมุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบทำความสะอาดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากเครื่องจักรลงสู่ผลิตภัณฑ์ จึงพบว่าการทำการบำรุงรักษาที่ดำเนินการในปัจจุบันยังไม่มุ่งเน้นที่เครื่องจักรจึงทำให้ประสิทธิภาพของการบำรุงรักษาไม่ดีมากนัก จึงทำให้เกิดปัญหาในการ Shutdown อยู่บ่อยๆ

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดเวลาสูญเสีย (Loss time) ในการผลิตซึ่งเกิดจากการขัดข้องและเสียหายของเครื่องจักรอย่างกะทันหัน
2. เพื่อเพิ่มความพร้อมใช้งานของเครื่องจักร
3. กำหนดงานบำรุงรักษาเครื่องจักรและจัดคาบเวลาที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริงด้วยทฤษฎีความน่าเชื่อถือของชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ต่างๆ ให้กับโรงงานตัวอย่าง

3. วิธีการวิจัย

3.1 ศึกษาสภาพการดำเนินงานของโรงงานตัวอย่างและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น

3.2 คัดเลือกและวิเคราะห์เครื่องจักรตามความวิกฤติและวิเคราะห์หน้าที่

3.3 วิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) ของชิ้นส่วนของเครื่องจักร

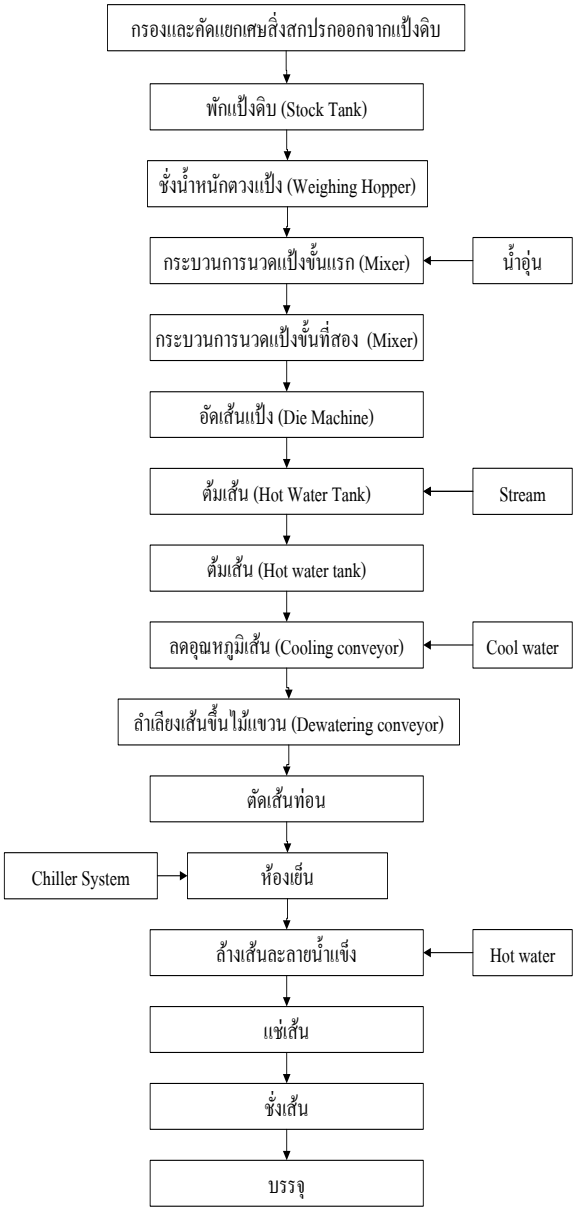
3.4 ประเมินแนวทางการบำรุงรักษาโดยใช้หลักการจัดการงานบำรุงรักษาด้วยทฤษฎีความน่าเชื่อถือ (Reliability Based Maintenance)

3.5 จัดทำแผนการบำรุงรักษาให้กับชิ้นส่วนของเครื่องจักรโรงงานตัวอย่างและนำไปใช้

3.6 สรุปผลการดำเนินงานและนำเสนอผลการวิจัย

3.1 ศึกษาสภาพการดำเนินงานของโรงงานตัวอย่างและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น

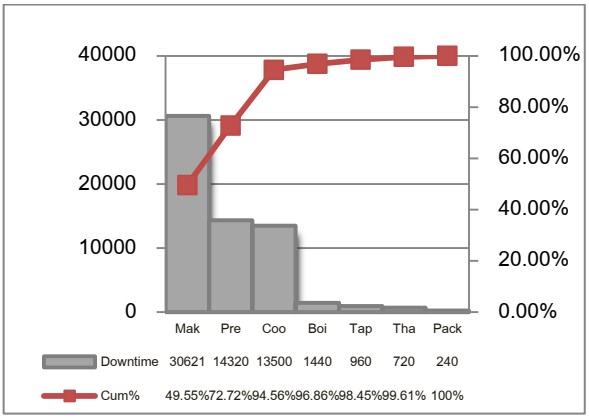
โรงงานผลิตวุ้นเส้นตัวอย่างเป็นอุตสาหกรรมผลิตวุ้นเส้นขนาดใหญ่เริ่มประกอบธุรกิจเมื่อปี พ.ศ. 2495 โดยเป็นผู้ผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้ถั่วเขียวเป็นวัตถุดิบได้แก่ วุ้นเส้น แป้งสลิม และก๋วยเตี๋ยวเซี้ยงไฮ้ และพัฒนาการผลิตอย่างต่อเนื่อง



กระบวนการผลิตวุ้นเส้น

3.2 คัดเลือกและวิเคราะห์เครื่องจักรตามความวิกฤติและวิเคราะห์หน้าที่

3.2.1 คัดเลือกเครื่องจักรหรือระบบที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาในโรงงานตัวอย่าง คัดเลือกเครื่องจักรหรือระบบที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาในโรงงานตัวอย่าง เมื่อวิเคราะห์ ข้อมูลการสูญเสียเวลาเนื่องจากความเสียหายของเครื่องจักรในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2556 ถึงธันวาคม พ.ศ.2556 เมื่อนำข้อมูลที่ได้เหล่านี้ไปทำการสร้างแผนภูมิพาเรโต เพื่อใช้พิจารณาถึงหน่วยผลิตที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตวุ้นเส้นโดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 แผนภูมิพาเรโตแสดงเวลาสูญเสียของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตวุ้นเส้น

แผนภูมิพาเรโตสามารถสรุปได้ว่า แผนกทำเส้น (Making) มีค่าการสูญเสียเวลาของความเสียหายสูงที่สุด 30,621 นาที หรือคิดเป็น 49.5 % ของกระบวนการทั้งหมดในการผลิต ในการศึกษาครั้งนี้ทีมงานโรงงานตัวอย่างจึงเลือกแผนกทำเส้น (Making) เป็นกรณีศึกษาในการแก้ไขปัญหา การสูญเสียเวลาอันเนื่องมาจากเครื่องจักรเกิดความเสียหายในระหว่างทำการผลิต

3.2.2 จำแนกส่วนประกอบของเครื่องจักรออกเป็นระบบย่อย ทางผู้วิจัยและทีมงานของโรงงานกรณีศึกษาได้พิจารณาโดยสรุปว่า ส่วนงานที่มีความสำคัญต่อการผลิตวุ้นเส้นและเป็นส่วนงานที่เกิดปัญหา Breakdown อยู่บ่อยๆ คือส่วนงานทำเส้น โดยส่วนงานนี้จะมีเครื่องจักรที่มีหลักการทำงานคือ อาศัยการทำงานของระบบย่อยต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยชิ้นส่วนอุปกรณ์จำนวนมาก

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการจำแนกหน้าที่ของชิ้นส่วนอุปกรณ์ของระบบกวนผสมแป้ง

ลำดับที่	ชิ้นส่วนอุปกรณ์	หน้าที่
1	มอเตอร์เกียร์ใบกวน 1	ขับเคลื่อนใบกวนผสม 1
2	มอเตอร์เกียร์ใบกวน 2	ขับเคลื่อนใบกวนผสม 2
3	ใบกวนผสมแป้ง	นวดแป้งดิบกับน้ำผสมให้เข้ากัน
4	ถังกวนผสม	รับแป้งดิบและน้ำผสมกวนให้เข้ากัน
5	เฟืองตรง	ขับเคลื่อนแกนเพลาใบกวน
6	โซ่ส่งกำลัง	ส่งกำลังจากมอเตอร์เกียร์ขับเฟืองใบกวน
7	ลูกปืนรับเพลา	ประคองและยึดเพลาใบกวน

3.2.3 วิเคราะห์ความสำคัญของชิ้นส่วนอุปกรณ์ในแต่ละระบบย่อย จัดลำดับความวิกฤต ของชิ้นส่วนอุปกรณ์

ในแต่ละระบบย่อยของส่วนงานทำเส้น โดยใช้วิธี Machine Criticality (MC) ซึ่งพิจารณาจากเกณฑ์ 4 ด้าน ดังนี้ ผลกระทบต่อกระบวนการผลิต (EM), อัตราการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรที่เสียหาย (UR), ผลกระทบต่อความปลอดภัยและสภาพสิ่งแวดล้อมที่นำไปสู่ความเสียหายของเครื่องจักร (SEI), ความยุ่งยากซับซ้อนในการซ่อมบำรุงและจำเป็นต้องอาศัยทรัพยากรจากภายนอก (MTC)

กำหนดน้ำหนักของความสำคัญของแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

คะแนน 0 หมายถึง ไม่มีผลกระทบจากปัจจัยนั้น

คะแนน 1 หมายถึง ผลกระทบจากปัจจัยนั้นมีน้อยมาก

คะแนน 2 หมายถึง ผลกระทบจากปัจจัยนั้นมีปานกลาง

คะแนน 3 หมายถึง ผลกระทบจากปัจจัยนั้นมีมากที่สุด

เมื่อได้น้ำหนักของความสำคัญในแต่ละปัจจัย ทำการประเมินและผลของคะแนนที่ได้จะนำไปคำนวณเพื่อหาความสำคัญของชิ้นส่วน ดังสมการที่ (1)

$$MC = 3^{*}EM + 2^{*}UR + 3^{*}SEI + 1^{*}MTC \quad (1)$$

แบ่งกลุ่มความวิกฤติ (Criticality Code) ที่คำนวณได้เป็นช่วงคะแนน 3 ช่วง ซึ่งหมายถึง วิกฤติสูง กลาง และต่ำ ตามลำดับ หรือเรียกว่า A, B และ C ได้แก่

A คะแนน 20 ถึง 27 เครื่องจักรนั้นสำคัญมาก

B คะแนน 12 ถึง 19 เครื่องจักรนั้นสำคัญปานกลาง

C คะแนน 0 ถึง 11 เครื่องจักรนั้นสำคัญน้อย

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ Machine Criticality ของมอเตอร์เกียร์ใบกวน 1 ได้โดยการประเมินน้ำหนักของความสำคัญของแต่ละปัจจัย ได้แก่ SEI เท่ากับ 1, EM เท่ากับ 3, UR เท่ากับ 3 และ MCT เท่ากับ 3 แทนค่าในสมการ (1) จะได้ MC เท่ากับ 21 ซึ่งจัดอยู่ในระดับความวิกฤติ ระดับ A

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการประเมินค่าความวิกฤติ (MC) ชิ้นส่วนอุปกรณ์ของระบบ กวนผสมแป้ง

ลำดับที่	Weight	3	3	2	1	MC	Criticality
	Machine Code	SEI	EM	UR	MTC		Code
1	มอเตอร์เกียร์ใบกวน 1	1	3	3	3	21	A
2	มอเตอร์เกียร์ใบกวน 2	1	3	3	3	21	A
3	ใบกวนผสมแป้ง	3	2	2	1	20	A
4	ถังกวนผสม	1	1	1	1	9	C
5	เฟืองตรง	1	3	3	2	20	A
6	โซ่ส่งกำลัง	1	3	3	1	19	B
7	ลูกปืนรับเพลา	1	3	3	3	21	A
8	Packing Seal	1	3	3	3	21	A
9	ถังพักน้ำผสม	2	1	1	1	12	B
10	ถังพักแป้งดิบ	2	1	1	1	12	B
11	Dust collector	1	1	1	2	10	C

หลังจากได้ทำการจัดแบ่งระบบการทำงานของเครื่องจักรทำเส้นออกเป็นระบบย่อยพร้อมทั้งทำการจัดลำดับความวิกฤติ (Criticality Code) ของชิ้นส่วนอุปกรณ์ สามารถสรุปลำดับความวิกฤติของชิ้นส่วนอุปกรณ์ย่อยของเครื่องจักรทำเส้นได้ดังรายละเอียดดังนี้ ลำดับความวิกฤติ A เครื่องจักรนั้นสำคัญมาก จำนวน 29 รายการ ลำดับความวิกฤติ B เครื่องจักรนั้นสำคัญปานกลางจำนวน 35 รายการ ลำดับความวิกฤติ C เครื่องจักรนั้นสำคัญน้อย จำนวน 15 รายการ การจัดลำดับความวิกฤติของชิ้นส่วนอุปกรณ์ของเครื่องจักรทำเส้น ทั้ง 3 กลุ่มนี้ทางผู้วิจัยและทีมงานโรงงานตัวอย่างได้ทำการเลือกชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่มีลำดับความวิกฤติ (Critical Code) ระดับ A มาทำการวิเคราะห์คุณลักษณะความเสียหายและผลกระทบต่อการผลิตเมื่อเครื่องจักรเกิดความเสียหาย

3.3. วิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) [1,2]

วัตถุประสงค์หลักของการจัดทำการวิเคราะห์คุณลักษณะความเสียหายและผลกระทบ (FMEA) คือเพื่อต้องการทราบถึงความเสียหายทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สำคัญของเครื่องจักรทำเส้น เป็นการพิจารณาถึงอาการผิดปกติต่างๆ ที่เกิดขึ้นในขณะใช้งานเครื่องจักร ซึ่งอาการที่ผิดปกติเหล่านี้จะส่งผลต่อ ความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากอาการที่ผิดปกติ (Severity), ความถี่ในการเกิดอาการที่ผิดปกติเหล่านี้ (Occurrence), และความสามารถในการตรวจพบอาการที่ผิดปกติ (Detectability), โดยผู้วิจัยได้ใช้หลักเกณฑ์ในการ

พิจารณาของ MIL-STD-1629A ในการประเมิน จากผลคะแนนที่ได้จากระดับความรุนแรง ระดับโอกาสที่เกิดขึ้น และระดับการตรวจพบ จะนำไปคำนวณเพื่อประเมินค่า Risk Priority Number (RPN) ดังสมการ (2)

$$RPN = SEV \times OCC \times DET \qquad (2)$$

การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)								
เครื่องจักร : ทำเส้น			วิเคราะห์โดย : หัวหน้าฝ่ายซ่อมบำรุง,หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง,หัวหน้าฝ่ายผลิต					
ระบบการทำงาน : ระบบ Die machine			คู่ขบวน : หัวหน้าฝ่ายซ่อมบำรุง					
ฉบับ : 3			คู่อนุมัติ : ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม					
ชิ้นส่วนอุปกรณ์	สภาพการขัดข้องที่เป็นไปได้ Failure Mode	ผลกระทบจากความเสียหายที่เป็นไปได้	SEV	สาเหตุการขัดข้องที่เป็นไปได้	OCC	วิธีการควบคุมในปัจจุบัน	DET	RPN
1. มอเตอร์เกียร์ Die machine	น้ำมันรั่วซึมออกตามขอบเพลาห้องเกียร์	ชุดเฟืองในห้องเกียร์ชำรุดสึกหรอ	3	จังน้ำมันห้องเกียร์ชำรุดเสื่อมสภาพ	3	ตรวจสอบน้ำมันรั่วซึมห้องเกียร์ด้วยสายตา	1	9
	มีเสียงเคาะผิดปกติเมื่อมอเตอร์เกียร์ทำงาน	ระยะการขบกันของชุดฟันเฟืองผิดปกติทำให้เฟืองสึกหรอ	3	ลูกปืนชุดเฟืองในห้องเกียร์แตกชำรุด	2	ตรวจสอบเสียงการขบกันของฟันเฟืองขณะทำงานด้วยการฟัง	4	24
	มอเตอร์ไฟฟ้าชุดเกียร์มีความร้อนสูงและไม่ทำงาน	มอเตอร์ไฟฟ้าไหม้ทำให้ใบพัดตัดเป็งไม่ทำงาน		ลูกปืนชุดมอเตอร์ไฟฟ้าหัว-ท้ายแตก	3	ตรวจสอบเสียงผิดปกติของลูกปืนด้วยการฟัง	4	48
			4	อุปกรณ์ตัดกระแสไฟฟ้าเกิน(Overload) ไม่ทำงาน	1	ตรวจสอบการทำงานของ Overload ด้วยการกดปุ่ม Test	1	4

รูปที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number : RPN)

ตารางที่ 3 สรุปผลการคัดเลือกชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอยู่ในช่วงวิกฤติ

ชิ้นส่วนอุปกรณ์	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	RPN
1. ลูกปืนรับเพลาใบกวนผสม1	- ผิวเสื้อด้านในลูกปืนรับเพลาสึก - ลูกปืนยึดเพลาใบกวนผสมแตกชำรุด	100 และ100
2. ลูกปืนรับเพลาใบกวนผสม2	- ผิวเสื้อด้านในลูกปืนรับเพลาสึก - ลูกปืนยึดเพลาใบกวนผสมแตกชำรุด	100 และ100
3. Cooking Conveyor	- เพลาหน้าแปลนยึด Roller หัก - ลูกปืน Roller สายพานฝังขับหรือฝังตามแตกชำรุด	100 และ 80
4. Cooling Conveyor	- ลูกปืน Roller สายพานฝังขับหรือฝังตามแตกชำรุด	100
5. Dewatering Conveyor	- ลูกปืน Roller สายพานฝังขับหรือฝังตามแตกชำรุด	100
6. เทปล่อนรับเหล็กแขวนเส้น	- ร่องเทปล่อนรับเหล็กแขวนเส้นสึกชำรุด - ลูกปืนเพลายึดชุดเทปล่อนแตกชำรุด	80 และ 100

3.4 ประเมินแนวทางการบำรุงรักษาโดยใช้หลักการจัดการงานบำรุงรักษาด้วยทฤษฎีความน่าเชื่อถือ (Reliability Based Maintenance)

เมื่อได้ทำการประเมินและคัดเลือกชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอยู่ในช่วงวิกฤติ ลำดับต่อไปนำชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ได้มาทำการแยกรายละเอียดเพิ่มเติม เพื่อทำการประเมินแนวทางการบำรุงรักษา

ตารางที่ 4 สรุปผลการคัดเลือกชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอยู่ในช่วงวิกฤติ

ชิ้นส่วนอุปกรณ์	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่คำนวณรอบการใช้งาน
1. ลูกปืนรับเพลาใบกวนผสม 1	- ผิวเสื้อด้านในลูกปืนรับเพลาสึก - ลูกปืนยึดเพลาใบกวนผสมแตกชำรุด	- เสื้อลูกปืนรับเพลา 1 - ลูกปืนยึดเพลาใบกวน 1
2. ลูกปืนรับเพลาใบกวนผสม 2	- ผิวเสื้อด้านในลูกปืนรับเพลาสึก - ลูกปืนยึดเพลาใบกวนผสมแตกชำรุด	- เสื้อลูกปืนรับเพลา 2 - ลูกปืนยึดเพลาใบกวน 2
3. Cooking Conveyor	- เพลาหน้าแปลนยึด Roller หัก - ลูกปืน Roller สายพานฝังขับหรือฝังตามแตกชำรุด	- หน้าแปลนยึด Roller - ลูกปืนสายพานฝังขับและฝังตาม
4. Cooling Conveyor	- ลูกปืน Roller สายพานฝังขับหรือฝังตามแตก	- ลูกปืนสายพานฝังขับและฝังตาม
5. Dewatering Conveyor	- ลูกปืน Roller สายพานฝังขับหรือฝังตามแตก	- ลูกปืนสายพานฝังขับและฝังตาม
6. เทปล่อนรับเหล็กแขวนเส้น	- ร่องเทปล่อนรับเหล็กแขวนเส้นสึกชำรุด - ลูกปืนเพลายึดชุดเทปล่อนแตกชำรุด	- แผ่นเทปล่อนรับเหล็ก - ลูกปืนยึดเพลาชุดเทปล่อน

3.4.1 เลือกวิธีการซ่อมบำรุง ในแต่ละชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องจักรทางผู้วิจัยจะทำการพิจารณาจากตัวเลขระดับความเสี่ยงตั้งแต่ 80 คะแนนขึ้นไปก่อน (RPN > 80) โดยตัวเลขระดับความเสี่ยงได้มาจากการพิจารณาประเมินร่วมกันของทีมซ่อมบำรุงและผู้ที่เกี่ยวข้องในฝ่ายผลิตในโรงงานตัวอย่าง โดยตัวเลขคะแนนระดับความเสี่ยงตั้งแต่ 80 คะแนนขึ้นไปนี้ จะให้ความสำคัญที่ระดับสูงสุด จะใช้การบำรุงรักษาเชิงป้องกันบนพื้นฐานทฤษฎีความน่าเชื่อถือ เปลี่ยนหรือซ่อมอะไหล่เมื่อความน่าเชื่อถือมีค่า 95% **[3,4]**

3.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการเสียทางสถิติเพื่อคำนวณหารอบการซ่อมและการเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนเครื่องจักรทำเส้น เมื่อได้ข้อมูลช่วงเวลาความเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักรจะดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลการ

เสีย ในที่นี้เลือกใช้สมการสถิติแบบต่อเนื่อง Weibull Distribution มาทำการวิเคราะห์ โดยสมการจะสามารถคำนวณโอกาสและความน่าจะเป็นได้ต้องทราบค่า Parameter ของ Weibull Distribution ในที่นี้ทางผู้วิจัยได้ใช้การคำนวณโดยโปรแกรมสำเร็จรูปโปรแกรม Excel เพื่อหาค่า Parameter ของ Weibull ด้วยหลักการ Linear Regresstion กล่าวคือการพยายามลากเส้นตรงผ่านจุดหลายๆ จุด โดยให้ระยะห่างระหว่างเส้นและจุดทุกจุดมีค่าน้อยที่สุด โดยในที่นี้เลือกวิธี Y Regresstion คือการลากเส้นให้ระยะระหว่างจุดในทางแกน Y มีค่าน้อยสุดดังแสดงสมการในการคำนวณดังนี้ **[1]**

$$\text{Median Rank (MR)} = \frac{J-0.3}{N+0.4} \quad (3)$$

โดยที่ J คือ ลำดับในการเสียนับจากน้อยไปมาก N คือจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่นำมาวิเคราะห์

สูตรหาค่า x และ y

$$y = \ln(\ln\left(\frac{1}{1-Q(T)}\right)) \quad (4)$$

$$x = \ln(T) \quad (5)$$

โดยที่ Q(T) คือโอกาสในการเสียแทนค่าด้วย Median Rank

สูตรคำนวณหาค่า β , η จากสมการ Regression

$$\beta = \frac{\sum y_i \cdot \sum x_i - N \cdot \sum y x_i}{(\sum x_i)^2 - N \cdot \sum x_i^2} \quad (6)$$

$$\eta = e^{-\frac{\sum y_i - a \cdot \sum x_i}{N \cdot a}} \quad (7)$$

โดยที่ a คือค่าความชันของเส้นหรือค่า β

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการคำนวณในโปรแกรม Excel ชิ้นส่วนเสื้อลูกปืนรับเพลา 1 (MC1)

ลำดับ	Time to failure	Median Rank	x	y	x^2	y^2	xy
1	1200	0.159	7.09008	-1.7529	50.3	3.07	-12.4
2	1440	0.386	7.2724	-0.7167	52.9	0.51	-5.2
3	1776	0.614	7.48212	-0.0503	56.0	0.00	-0.4
4	1920	0.841	7.56008	0.60883	57.2	0.37	4.6
		Summation	29.4047	-1.911	216.3	3.96	-13.4
	β	η					
Y Regression	4.695949279	1724.87145					

3.4.3 การคำนวณรอบเวลาการซ่อมและการเปลี่ยนทดแทนชิ้นส่วนอะไหล่ โดยการคำนวณหารอบระยะเวลาที่ต้องมีการซ่อมหรือเปลี่ยนอะไหล่ กำหนดค่าความน่าเชื่อถือที่ 95% และข้อมูลที่ได้จากการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ Weibull โดยในตัวอย่างการวิเคราะห์นี้ได้เลือกชิ้นส่วน เสื้อลูกปืนรับเพลา 1 มาทำการวิเคราะห์

จากสมการ $$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (8)$$

กำหนดให้ค่า R(t) = 95% หรือ 0.95

ดังนั้นแก้สมการเพื่อหาค่า t ได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$0.95 = e^{-\left(\frac{t}{1724.9}\right)^{4.695}}$$

$$ln\{-ln0.95\} = 4.695\,\{lnt - ln1724.9\}$$

$$4.695\text{lnt} = 32.019$$

$$t = 915 \text{ ชั่วโมง}$$

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้คำนวณหาระยะเวลาในการจัดแผนบำรุงรักษาเครื่องจักร MC1, MC2, MC3

ชิ้นส่วน	MC1		MC2		MC3	
	ค่าพารามิเตอร์		ค่าพารามิเตอร์		ค่าพารามิเตอร์	
	β	η	β	η	β	η
1.เสื้อลูกปืนรับเพลาใบกวน 1	4.69	1724.87	3.85	1970.9	4.25	2031.4
2.ลูกปืนยึดเพลาใบกวน 1	2.65	2177.14	3.25	2108.6	3.42	2115.7
3.เสื้อลูกปืนรับเพลาใบกวน 2	5.90	2029.59	7.46	2251.6	4.14	2033.1
4.ลูกปืนยึดเพลาใบกวน 2	3.85	2096.35	3.03	2219.3	3.38	2287.3
5.หน้าแปลนยึดRoller Cooking Conveyor	2.91	1039.94	2.48	1042.5	2.98	1409.8
6.ลูกปืนฝั่งขับและฝั่งตาม Cooking Conveyor	3.38	1247.54	4.03	1285.2	2.87	1270.2
7.ลูกปืนฝั่งขับและฝั่งตาม Cooling Conveyor	3.70	1569.45	4.27	1742	4.25	1796.4
8.ลูกปืนฝั่งขับและฝั่งตาม Dewatering Conveyor	7.27	943.89	2.27	1200.2	3.53	1135.1
9.แผ่นเทปล่อนรับเหล็ก	6.43	2427.24	4.95	2547.6	5.19	2379.6
10.ลูกปืนยึดเพลาชุดเทปล่อน	1.85	1011.93	1.39	11.82	2.43	1173.5

3.5 จัดทำแผนการบำรุงรักษาให้กับชิ้นส่วนของเครื่องจักรโรงงานตัวอย่างและนำไปใช้

3.6 สรุปผลการดำเนินงานและนำเสนอผลการวิจัย

เครื่องจักรทำเส้น MC1 เวลาสูญเสียในการผลิตลดลงเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 947 นาที คิดเป็นอัตราความเสียหายของเครื่องจักรลดลงเท่ากับ 6.29% และอัตราความพร้อมในการใช้งานของเครื่องจักรเพิ่มเป็น 93.71 %, เครื่องจักรทำเส้น MC2 เวลาสูญเสียในการผลิตลดลงเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 814 นาที คิดเป็นอัตราความเสียหายของเครื่องจักรลดลงเท่ากับ 6.97% และอัตราความพร้อมในการใช้งานของเครื่องจักรเพิ่มเป็น 93.03 %, เครื่องจักรทำเส้น MC3 เวลาสูญเสียในการผลิตลดลงเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 899 นาที คิดเป็นอัตราความเสียหายของเครื่องจักรลดลงเท่ากับ 6.69% และอัตราความพร้อมในการใช้งานของเครื่องจักรเพิ่มเป็น 93.31 %

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม

เอกสารอ้างอิง

[1]วัฒนา เชียงกูล, เกรียงไกร ดำรงรัตน์ และดลดิษฐ์ เมืองแมน, การจัดการงานบำรุงรักษาด้วย Reliability, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2553

[2] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ Failure Mode and Effect Analysis, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2556

[3] สมภพ คลับแก้ว, ความน่าเชื่อถือของระบบและการบำรุงรักษา, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550

[4] ปริญญาพร แจ่มมณี, ผศ.ดร.สมภพ ตลับแก้ว, การบำรุงรักษาเชิงป้องกันรถบรรทุกขนส่งด้วยวิธีการวิศวกรรมความน่าเชื่อถือ วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2556

[5] พิเชษฐ์ แก้วไทรท้วม, การประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาด้วยทฤษฎีความน่าเชื่อถือเพื่อลดเวลาสูญเสียในการผลิต กรณีศึกษาโรงงานผลิตกระดาษ, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2554

การปรับปรุงวิธีการเทเหล็กท่อนลงเครื่องลำเลียงในโรงงานขึ้นรูปโลหะร้อนโดยการออกแบบเครื่องเทเหล็กท่อน

Improvement the method of pouring billets for the feeder machine of the hot forging process by developing the pouring machine

อุบลรัตน์ หวังรักษ์ดีสกุล* สราวุฒิ ศิริเจริญวัฒน์ ณภัทร ศักดิ์ศิลปชัย
ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 E-mail: ubl@kumtnb.ac.th*

Ubolrat Wangrakdiskul*, Saravodh Siricharoenwat Napat Saksilapachai
Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology
North Bangkok, Bangsue, Bangkok, 10800, E-mail: ubl@kumtnb.ac.th*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน การคำนึงถึงความปลอดภัยของพนักงานในกระบวนการผลิตนับเป็นสิ่งสำคัญ เช่นเดียวกันกับ การเทชิ้นงานเหล็กท่อนลงเครื่องลำเลียง เพื่อนำชิ้นงานเข้าสู่เตาอินดักชันสำหรับให้ความร้อน ในอุตสาหกรรมขึ้นรูปร้อนชิ้นส่วนหัวฉีดรถยนต์ เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากเป็นต้นน้ำของกระบวนการผลิต และใช้คนในการควบคุมเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการเทเหล็กท่อนลงเครื่องลำเลียงซึ่งมีความเสี่ยงในการทำงาน เพื่อปรับปรุงความปลอดภัยในการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบเครื่องจักรเทเหล็กท่อน เพื่อทดแทนแรงงานคน ซึ่งผลการทดลองใช้งานพบว่าสามารถลดคนงานจาก 3 คน เหลือ 2 คน เวลาในการทำงานลดลงจาก 90 นาที/วัน เหลือ 29 นาที/วัน หรือคิดเป็น 67.78% นอกจากนี้การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนในการสร้างเครื่องเทเหล็กท่อน เปรียบเทียบกับ จำนวนคนงานที่ลดลง พบว่าระยะเวลาคืนทุนคิดเป็น 39.2 เดือน หรือ 3 ปี 3 เดือน สรุปว่า การใช้เครื่องจักรเทเหล็กท่อนสามารถทดแทนแรงงานคน ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการทำงานให้กับพนักงานอีกด้วย

คำหลัก เครื่องเทเหล็ก การปรับปรุงความปลอดภัย ประสิทธิภาพการผลิต การขึ้นรูปโลหะร้อน

Abstract

Currently, safety recognition at work in the production process is important. This is in the same situation as the method of pouring billets to the feeder machine for transferring parts to the induction furnace of the automotive parts forging process. This stage is important, because of being the upstream process and using workers for controlling the equipment for pouring billets. It tends to be a risk work. For enhancing safety at work and improving productivity, this research proposes the machine for pouring billets instead of using workers. After designing and implementing these machines, the results show that the number of workers can be reduced from 3 persons to 2 persons. And processing times are reduced from 90 min/day to be 29 min/day which are accounted for 67.78%. In addition, payback period for developing the pouring machines comparing with reducing workers has been evaluated accounting for 39.2 months or approximately 3 years 3 months. It can be concluded that the machines can be used to

substitute the workers, improve the productivity and safety of worker.

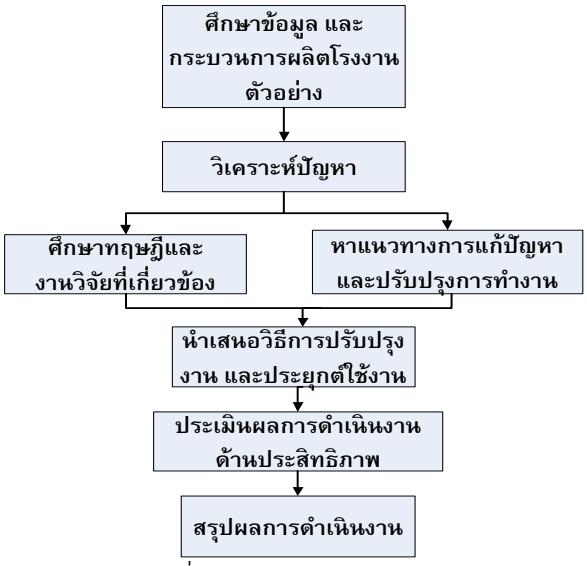
Keywords: Pouring Machine, Safety Enhancement, Productivity, Hot Forging

1. บทนำ

ประเทศไทยนับเป็นศูนย์กลางการประกอบรถยนต์ในแถบเอเชีย โดยมีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีปริมาณการผลิตโดยรวมในปี 2013 จำนวน 2,457,057 คัน และมีอันดับในการผลิตรถยนต์เป็นลำดับที่ 9 ของโลก [1] เนื่องจากรถยนต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีชิ้นส่วนประกอบย่อยมาก ก่อให้เกิดอุตสาหกรรมต่อเนื่องมากมายในการผลิตชิ้นส่วนประกอบรถยนต์ ชิ้นส่วนสำคัญ เช่น ชิ้นส่วนโลหะ หัวฉีดรถยนต์ ฯลฯ สำหรับโรงงานตัวอย่างในงานวิจัยนี้ เป็นบริษัทคนไทยชั้นนำแนวหน้าติด 1 ใน 3 ของประเทศที่ผลิตชิ้นส่วนหัวฉีดรถยนต์ ด้วยกรรมวิธีขึ้นรูปโลหะร้อน (Hot Forging) ซึ่งในประเทศไทยมีอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะร้อนถึง 13 โรงงาน [2] ทั้งนี้เพื่อให้สามารถแข่งขันได้ในธุรกิจอุตสาหกรรม หลายๆองค์กรต่างพยายามหาวิธีปรับปรุงการทำงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดต้นทุนการผลิต โรงงานตัวอย่างก็เช่นเดียวกัน เป็นบริษัทที่พยายามหาวิธีในการลดต้นทุนการผลิต เพื่อให้สามารถแข่งขันในธุรกิจได้ ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการปรับปรุงวิธีการเทเหล็กท่อนลงเครื่องลำเลียง ในการนำพาเหล็กท่อนเข้าเตาอินดักชัน โดยการออกแบบเครื่องเทเหล็ก ทดแทนแรงงานคน ทั้งนี้เพื่อลดจำนวนแรงงาน ลดเวลาการทำงาน และ สร้างสภาวะการทำงานที่ปลอดภัยมากขึ้น

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

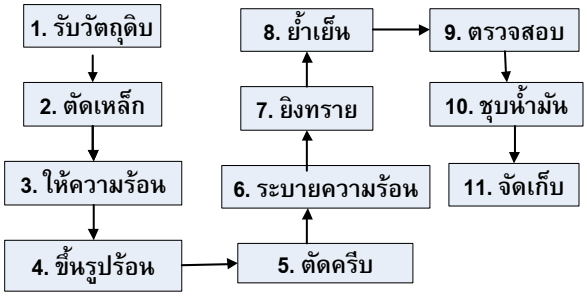
ในการศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานและวิเคราะห์ปัญหา เพื่อปรับปรุงการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นนั้น ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงาน ดังแสดงใน รูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบการดำเนินงานวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูลและกระบวนการผลิตโรงงานตัวอย่าง

โรงงานตัวอย่างเป็นองค์กรอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตขึ้นรูปโลหะร้อนเป็นหลัก ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็น ชิ้นส่วนประกอบรถยนต์ และที่เป็นชิ้นส่วนการผลิตหลัก คือ หัวฉีดรถยนต์ โรงงานมีแผนกผลิตที่เกี่ยวข้อง 6 แผนก ได้แก่ แผนกรับวัสดุ (Receive Material) แผนกตัดเหล็กท่อน (Cutting) แผนกขึ้นรูปโลหะร้อน (Forging) แผนกตกแต่งผิว (Finishing) แผนกจัดเก็บบรรจุ (Packing) และแผนกแม่พิมพ์ (Mold & Die) โดยมีขั้นตอนการผลิต 11 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยขั้นตอนที่ควรปรับปรุง คือ ขั้นตอนที่ 3 คือ กระบวนการให้ความร้อน ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีขั้นตอนย่อย คือ การเทเหล็กท่อน ลงเครื่องลำเลียง เพื่อนำชิ้นงานเข้าสู่เตาอินดักชัน โดยการเทเหล็กท่อนนี้ ใช้แรงงานคนในการควบคุมเครน (Crane) เพื่อเทเหล็กลงเครื่องลำเลียง ซึ่งมีขั้นตอนย่อยในการปฏิบัติงาน ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อย่อยถัดไป



รูปที่ 2 กระบวนการขึ้นรูปโลหะร้อน

2.2 การวิเคราะห์ปัญหา

ขั้นตอนการทำงานก่อนขั้นที่ 3 การให้ความร้อน ใน

การนำชิ้นงานเขาเตาอินดักชัน ต้องทำการเทเหล็กท่อนลงเครื่องลำเลียง เพื่อนำเข้าเตานั้น การป้อนเหล็กท่อนเข้าเครื่องลำเลียงเหล็กท่อนก่อนทำการปรับปรุงนั้น ใช้วิธีการทำงานโดยให้พนักงานเบ็ดเตล็ดบังคับเครนเพื่อเทเหล็กท่อนลงเครื่องลำเลียงเหล็กท่อน และพนักงานจำเป็นต้องยืนทำงานบนเครื่องลำเลียงเหล็กท่อน จึงทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการทำงานของตัวพนักงาน และใช้เวลาในการเทเหล็กถึง 360 วินาที ในแต่ละครั้ง เนื่องจากการควบคุมเครนที่ทำได้ยาก และการใช้เครนเทเหล็กท่อน เมื่อเทแล้วจะหลงเหลือเหล็กท่อนจำนวนหนึ่งอยู่ภายในถัง พนักงานจึงต้องเขี่ย หรือโยนออกด้วยมือของพนักงานเอง ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 3 เครื่องลำเลียงเหล็กท่อนและการเทเหล็กท่อนลงเครื่องลำเลียง

จากปัญหาที่พบในขั้นตอนนี้ นำไปสู่การหาแนวทางการแก้ปัญหา เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต และ สภาวะการทำงาน ให้ดีขึ้น ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ แนวทางการแก้ปัญหา

3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการ ECRS เป็นเทคนิคหนึ่งในการบริหารคุณภาพทั่วทั้งองค์กร โดยเน้นการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต ซึ่ง E (Eliminate) คือ การขจัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น โดยพยายามลดขั้นตอนการทำงานหรือการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น C (Combine) คือ การรวมขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกันเพื่อลดเวลาการผลิต เวลาในการเคลื่อนย้ายระหว่างขั้นตอน R (Rearrange) คือ การจัดการใหม่ในขั้นตอนการทำงานเพื่อให้เวลาในการผลิตโดยรวมลดลง และ S (Simplify) คือ การปรับปรุงวิธีการทำงานให้ง่ายขึ้น เพื่อความสะดวกต่อพนักงาน และลดเวลาในการผลิต [3] มีนักวิจัยหลายท่านที่ประยุกต์หลักการนี้ในการแก้ปัญหากระบวนการผลิต เช่น อรพรรณ วิชัยเดช และนิวิท เจริญใจ ใช้หลักการ ECRS ในด้าน Simplify ในการลดของเสียในกระบวนการตัดสังกะสีของห้องการผลิตสะอาด [4] นพรัตน์ เสือทะเล และคณะ ได้ใช้หลักการ ECRS เพื่อลดของเสียในแผนก Forging ซึ่งมีชิ้นงานที่เป็นของเสียในที่เกิดครีบและชิ้นงานไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดจากการตัดเหล็กที่ไม่ได้ขนาดของ Cutting Process อันเป็นผลจากการวัดขนาดชิ้นงานไม่แม่นยำ จึงทำการออกแบบเครื่องมือวัดเพื่อให้พนักงานทำงานได้ง่ายขึ้น และลดความผิดพลาดจากการวัด [5] NYSTHA and SATHISH ได้ประยุกต์ใช้หลักการ Lean Manufacturing โดยใช้เทคนิค Single Minute Single of Die (SMED) ในการลดเวลา set up เครื่องจักร ในกระบวนการ forging ของโรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องยนต์คอมมอนเรล [6] Binoy และคณะฯ ใช้หลักการ ECRS ในการลดความสูญเปล่าโดยประยุกต์ใช้พลังงานทางเลือกจากเศษพลาสติก ในกระบวนการทุบขึ้นรูปร้อน [7]

อย่างไรก็ตามการปรับปรุงกระบวนการเทเหล็กท่อนในในโรงงานขึ้นรูปโลหะร้อน ยังไม่มีผู้นำเสนอ ในงานวิจัยนี้จะเน้นการปรับปรุงออกแบบเครื่องจักรเพื่อใช้ในการเทเหล็กท่อน

3.2 แนวทางการแก้ปัญหา

1. ศึกษาขั้นตอนการทำงานย่อย และเวลาในกระบวนการเทเหล็ก โดยใช้ แผนภูมิคน และเครื่องจักรในการวิเคราะห์ [8], [9] แสดงในตารางที่ 1 จากตารางที่ 1 แสดงการทำงานของคนงานในการควบคุมเครื่องเทเหล็กแบบเดิม โดย 1 คน คุมเครื่องจักร 2 เครื่อง โดยคนงานยังมีเวลาว่าง 22 นาที ต่อรอบการทำงาน
2. หาแนวทางปรับปรุงวิธีการทำงานให้เวลาการทำงานลดลง ลดการใช้แรงงาน และ ส่งเสริมสภาวะการทำงานที่ปลอดภัยมากขึ้น
3. ออกแบบนำเสนอเครื่องเทเหล็กท่อน ทดแทนการใช้เครนยก โดยใช้แรงงานคนให้น้อยลง
4. เปรียบเทียบผลการปรับปรุง ทั้งด้านเวลา จำนวนแรงงาน และ การลงทุนในการสร้างเครื่องจักรเพื่อหาระยะเวลาคืนทุน

ตารางที่ 1 แผนภูมิคนและเครื่องจักรการเทเหล็กท่อนการการปรับปรุง

นาที	คนงาน	เครนเทเหล็กท่อน 1	เครนเทเหล็กท่อน 2
2	เข็นรถถังใส่เหล็กท่อนเครน 1 (2 นาที)	Run 1	Run 2
4	เทเหล็กท่อนลงเครื่องลำเลียง 1 (6 นาที)	เทเหล็กท่อนลงเครื่อง	
6			
8			
10	เข็นรถถังใส่เหล็กท่อนจากเครื่อง 1 (2 นาที)	Run 1 (80 นาที)	
12	เข็นรถถังใส่เหล็กท่อน 2 (2 นาที)		
14	เทเหล็กท่อนลงเครื่องลำเลียง 2 (6 นาที)		เทเหล็กท่อนลงเครื่อง
16			
18			
20	เข็นรถถังใส่เหล็กท่อนกลับ 2 (2 นาที)		Run 2 (80 นาที)
22	เข็นรถถังใส่เศษ scarp ไว้นอกโรงงาน 1 (4 นาที)		
24			
26	ทิ้งเศษ scrap 1 (11 นาที)		
28			
30			
32			
34			
36	เข็นรถบรรจุชิ้นงานไปยังแผนกต่อไป 1 (5 นาที)		
38			
40			
42	เข็นรถบรรจุชิ้นงานกลับไปเครื่อง 1 (2 นาที		
44	เข็นรถบรรจุถังใส่เศษ scrapจากเครื่อง 2 ไว้นอกโรงงาน(4 นาที)		
46			
48	ทิ้งเศษ scrap 2 (11 นาที)		
50			
52			
54			
56			
58	เข็นรถบรรจุชิ้นงานไปยังแผนกต่อไป 2 (5 นาที)		
60			
62			
64	เข็นรถบรรจุชิ้นงานกลับ 2 (2 นาที)		
66	ว่างงาน (22 นาที)		
68			
70			
72			
74			
76			
78			
80			
82			
84			
86			

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การออกแบบเครื่องเทเหล็กท่อน

ในการออกแบบเครื่องเทเหล็กท่อนแบบใหม่นี้ จะใช้เครื่องจักรเป็นหลักในการทำงาน โดยให้คนงานเพียงควบคุมอุปกรณ์การทำงานเท่านั้น ซึ่งจะช่วยลดอันตรายจากการทำงานลงได้ รูปที่ 4 แสดงเครื่องเทเหล็กแบบใหม่ที่ประกอบเสร็จแล้ว โดยต้นทุนในการประกอบเครื่องเทเหล็กนี้จะพิจารณาเพียง ชิ้นส่วนประกอบ เท่านั้น ส่วนค่าแรงในการประกอบไม่ได้พิจารณา เนื่องจากผลิตเองในโรงงานด้วยแผนกซ่อมบำรุง แสดงรายละเอียดต้นทุนในตารางที่ 2 ซึ่งจะผลิตจำนวนเครื่องจักร 6 เครื่องตามจำนวนเครื่องลำเลียงเหล็ก ใช้เงินลงทุนรวม 474,309.6 บาท ใช้เวลาในการประกอบและดำเนินงานประมาณ 5 เดือน

รูปที่ 4 เครื่องเทเหล็กท่อนแบบใหม่

ตารางที่ 2 ต้นทุนวัสดุในการประกอบเครื่องเทเหล็ก 6 เครื่อง

รายการวัสดุ	จำนวน	(บาท/หน่วย)	มูลค่า (บาท)
งารถโฟล์คลิฟท์ 1.5 ตัน ยาว 0.9-1.0 เมตร (ญี่ปุ่น)	6 คู่	4,500	27,000
เหล็กรางพับ 3"x1/2"x3 mm	4 เส้น	530	2,120
เหล็กไอบีม 200x100x7x10mm	12 เส้น	5,000	60,000
เหล็กรางหนา 100x50x5x7.5mm	6 เส้น	1,550	9,300
เหล็กรางหนา 200x80x7.5x11mm	3 เส้น	4,300	12,900
เหล็กแผ่นลาย 4x8 ฟุต หนา 9 mm	4 แผ่น	6,300	25,200
เหล็กกล่อง 1"x1" หนา 2 mm	6 เส้น	210	1,260
เหล็กแผ่น 5x10 ฟุต หนา 2 mm	3 แผ่น	2,100	6,300
เหล็กแผ่น 5x10 ฟุต หนา 6 mm	2 แผ่น	5,800	11,600
เหล็กแผ่น 5x10 ฟุต หนา 9 mm	2 แผ่น	8,700	17,400
เหล็กแผ่น 4x8 ฟุต หนา 6 mm	2 แผ่น	3,650	7,300
เหล็กแบน 50x19 mm	2 เส้น	1,550	3,100
เหล็กแบน 4" หนา 4 mm	3 เส้น	600	1,800
รอกโซ่ไฟฟ้า CHENG DAY (BLACK BEAR) 2 ตัน	6 เครื่อง	43,000	258,000
		รวมเงิน	443,280
		ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%	31,030
		รวมเงินทั้งสิ้น	474,310

4.2 ผลการปรับปรุง

จากการสร้างเครื่องเทเหล็กท่อนแบบใหม่ ทำให้เวลาในการเทเหล็กลดลง คนงานสามารถควบคุมเครื่องจักรได้ 3 เครื่อง/คน จากเดิม คุมเครนเทเหล็กได้ 2 เครื่อง/คน ทำให้รอบเวลาในการทำงานกับเครื่องเทเหล็กลดลงจาก 86 นาที/รอบ เหลือ 84 นาที/รอบ ซึ่งได้สรุปเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4

ตารางที่ 3 แผนภูมิ คน-เครื่องจักร กระบวนการเทเหล็กหลังปรับปรุง

นาที	คนงาน	เครื่องเทเหล็ก 1	เครื่องเทเหล็ก 2	เครื่องเทเหล็ก 3
2	เข็นรถถังใส่เหล็กท่อน 1 (125 วินาที)	ว่าง	Run 2	Run 3
4	เทเหล็กลงเครื่องลำเลียง 1 (115 วินาที)	เท		
6	เข็นรถถังใส่เหล็กท่อนกลับ 1 (2 นาที)	Run 1 (80 นาที)		
8	เข็นรถถังใส่เหล็กท่อน 2 (125 วินาที)		ว่าง	
10	เทเหล็กลงเครื่องลำเลียง 2 (115 วินาที)		เท	
12	เข็นรถถังใส่เหล็กท่อนกลับ 2 (2 นาที)		Run 2 (80 นาที)	
14	เข็นรถถังใส่เหล็กท่อน 3 (125 นาที)			ว่าง
16	เทเหล็กลงเครื่องลำเลียง 3 (115 วินาที)			เท
18	เข็นรถถังใส่เหล็กท่อนกลับ 3 (2 นาที)			Run 3 (80 นาที)
20	เข็นรถถังใส่เศษ scarp 1 ไว้นอกโรงงาน (4 นาที)			
22				
24	ทิ้งเศษ scrap 1 (11 นาที)			
26				
28				
30				
32				
34	เข็นรถบรรจุชิ้นงานไปยังแผนกต่อไป 1 (5 นาที)			
36				
38				
40	เข็นรถบรรจุชิ้นงานกลับ 1 (2 นาที)			
42	เข็นรถบรรจุถังใส่เศษ scrap 2 ไว้นอกโรงงาน (4 นาที)			
44				
46	ทิ้งเศษ scrap 2 (11 นาที)			
48				
50				
52				
54				
56	เข็นรถบรรจุชิ้นงานไปยังแผนกต่อไป 2 (5 นาที)			
58				
60				
62	เข็นรถบรรจุชิ้นงานกลับ 2 (2 นาที)			
64	เข็นรถบรรจุถังใส่เศษ scrap 3 ไว้นอกโรงงาน (4 นาที)			
66				
68	ทิ้งเศษ scrap 3 (11 นาที)			
70				
72				
74				
76				
78	เข็นรถบรรจุชิ้นงานไปยังแผนกต่อไป 3 (5 นาที)			
80				
82				
84	เข็นรถบรรจุชิ้นงานกลับ 3 (2 นาที)			

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลได้ก่อนและหลังการออกแบบเครื่องเทเหล็กใหม่

งานที่ทำ	เวลาการทำงาน (นาที)	
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
เวลาที่เครื่องและพนักงานทำงานร่วมกัน (a)	6	1.92
เวลาที่เครื่องจักรทำงานอิสระจากพนักงาน คือ เวลา Run (t)	80	80
เวลาที่พนักงานทำงานอิสระจากเครื่อง (b)	26	26
รอบเวลาการทำงาน	86	84
เวลาว่าง	คนงานว่าง 22 นาที	เครื่องว่าง 2.08 นาที
จำนวนเครื่องจักร/พนักงาน	2 เครื่อง	3 เครื่อง

หมายเหตุ

เวลาที่เครื่องว่าง 2.08 นาที = 125 วินาที

เวลาที่เครื่องและพนักงานทำงานร่วมกัน (a) 1.92 นาที = 115 วินาที

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบผลการใช้เครื่องเทเหล็กแบบใหม่ ทำให้ลดการใช้คนงานลง 1 คน จากเดิมใช้ 3 คน เหลือ 2 คน และ เวลาการเทเหล็กลดลง จาก 90 นาที/วัน เหลือ 29 นาที/วัน คิดเป็น เวลาที่ลดลง 67.78%

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดเวลาทำงานหลังการปรับปรุง

	รายละเอียด	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
[1]	ถังบรรจุเหล็กท่อน (ชิ้น/ ถัง)	400	400
[2]	เวลาในการลำเลียงเหล็กท่อน (นาที/ถัง)	80	80
[3]	เวลาทำงานทั้งหมด (นาที/วัน)	1140	1140
[4]	จำนวนครั้งในการป้อนเหล็กท่อน (ครั้ง/วัน) = [3] / [2]	15	15
[5]	เวลาในการป้อนเหล็ก (นาที/ครั้ง)	6	1.92
[6]	เวลารวมในการป้อนเหล็ก (นาที/วัน) =[4]x[5	90	29
[7]	จำนวนพนักงานควบคุมเครื่องจักร (คน)	3	2
[8]	จำนวนพนักงานที่ลดลง (คน)	1	
[9]	เวลาที่ใช้ในการป้อนเหล็กลดลง/ วัน	$\frac{(90-29)}{90} \times 100 = 67.78\%$	

นอกจากนี้การพิจารณาระยะเวลาการคืนทุน ในการสร้างเครื่องเทเหล็กแบบใหม่ กับ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากการจ้างพนักงานลดลง 1 คน คือ ต้นทุนของเครื่องเทเหล็กท่อนทั้ง 6 เครื่อง รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 474,310 บาท โดยมีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 2 ค่าจ้างพนักงานคุมเครื่อง/เดือน คือ 12,000 บาท ซึ่งเป็นรายจ่ายที่ประหยัดได้/เดือน พิจารณาระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 474,310 บาท / 12,000 บาท/ เดือน = 39.52 เดือน

จำนวนพนักงานที่ลดลงนี้ทางบริษัทไม่ได้เลิกจ้างแต่จัดย้ายหน้าที่ไปทำงานในแผนกอื่นที่ยังขาดคนงานอยู่

5. สรุป

ผลการปรับปรุงการทำงานโดยการออกแบบเครื่องเทเหล็กแบบใหม่ ช่วยให้เวลาในการเทเหล็กลดลง 67.78% และช่วยลดจำนวนคนงานจากเดิม 3 คน เป็น 2 คน ลดลง 33.33% ซึ่งถือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน แต่ในการออกแบบเครื่องจักรใหม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนซึ่งทำการลงทุนสร้างเครื่องเทเหล็กท่อนทั้งสิ้นจำนวน 6 เครื่อง เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานลดลงเดือนละ 12,000 บาท/เดือน นั้น พบว่าระยะเวลาการคืนทุนค่อนข้างนาน คือ มากกว่า 3 ปี

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาด้านความปลอดภัยในการทำงาน งานวิจัยนี้มีการใช้เครื่องจักรช่วยในการทำงานแทนคน เป็นการช่วยลดอันตราย และ เพิ่มสภาวะความปลอดภัยให้พนักงาน สร้างภาพพจน์ที่ดีแก่บริษัทในการสร้างสภาวะการทำงานที่ปลอดภัยให้กับพนักงานอีกด้วย [10]

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทศรีบริสุทธิ์ ฟอร์จจิ้ง ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นโรงงานตัวอย่าง ในการศึกษากระบวนการผลิต วิเคราะห์ปัญหา และ ปรับปรุงงาน จนสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

[1] The International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA). (2014). Production statistics (Online). from http://www.oica.net [2015, Mar 10]

[2] ข้อมูลโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมข้อมูลจาก http://userdb.diw.go.th /results1.asp (วันที่สืบค้นข้อมูล 3 เมษายน 2558)

[3] วิฑูรย์ สิมะโชคดี, TQM วิธีองค์กรคุณภาพยุค 2000, พิมพ์ครั้งที่ 4, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

[4] อรพรรณ วิชัยเดช และนิวิท เจริญใจ, การปรับปรุงงานเพื่อลดของเสียในการผลิตห้องสะอาด, วารสารวไลยอลงกรณ์ปริทัศน์, ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม, 2554

[5] นพรัตน์ เสือทะเล, พิเชษฐ์ ชานาญ, สุรินทร์ มณีศรี, จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร และ นรารักษ์ บุตรชา, การลดความสูญเปล่าในกระบวนการตัดชิ้นงาน โดยใช้อุปกรณ์ช่วยวัดขนาดเพื่อผลิต KNUCKLE, 50 ปี เทคนิคไทย-เยอรมัน สู่ราชมงคลขอนแก่น, 14 มีนาคม 2557

[6] NYSTHA BAISHYA and SATHISH RAO U, APPLYING SMED/QCO TOOL TO IMPROVE THE PRODUCTIVITY AT SCREWING STATION OF HFR ASSEMBLY – A STUDY AT ROBERT BOSCH (I) LIMITED, International Journal of Mechanical and Industrial Engineering (IJMIE) ISSN No. 2231-6477, Vol-3, Issue 1, 2013

[7] Binoy C N, Joseph George and Sijo M T, Cost Reduction Using Alternative Fuel in a Forging Industry, International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 3, Issue 5, May 2013

[8] มาโนช ทองเจือ ณิชกุล ไชยศร และ บรรหาญ ลิลา, การปรับปรุงอัตราการผลิตของสายการผลิตชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์ด้วยการปรับปรุงการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรม อุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555, ชะอำ เพชรบุรี, 17-19 ตุลาคม 2555

[9] I Wayan Sukaniaa, Oktaviangelb และ Julitac, Time Study Analysis of Food Services Using Man Machine Chart, Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Technology Development, Bali, Indonesia, 2013

[10] Benjamin O. ALLI, Principles of Occupational Health and Safety, 2nd edition, International Labour Office, Geneva, 2008

การพยากรณ์ยอดขายเพื่อการวางแผนการผลิต กรณีศึกษา: บริษัทผลิตยางล้อรถยนต์ประเภทเสริมใยเหล็ก

Sale Forecast for Production Planning: A Case Study of Radial Tire Manufacture

รัตนา จันทร์บำรุง ณัฐนารี สุขเสกสรรค์*
ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี 25230
E-mail: natanaree.s@fitm.kmutnb.ac.th*

Rattana Chanbamrung, Natanaree Sooksaksun*
Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus, Muang, Prachinburi, 25230
E-mail: natanaree.s@fitm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบการพยากรณ์ความต้องการยางล้อรถยนต์ประเภทเสริมใยเหล็กส่งออกต่างประเทศเพื่อสนับสนุนการวางแผนการผลิต โดยเป็นการศึกษาการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา เริ่มจากทำการศึกษาลักษณะข้อมูลปริมาณยอดขายในอดีตของสินค้า เพื่อใช้เลือกเทคนิคการพยากรณ์ให้เหมาะสมกับรูปแบบของข้อมูล จากการเปรียบเทียบด้วยการพยากรณ์ 3 วิธี คือวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล และวิธีการปรับให้เรียบ Holt-Winters โดยใช้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) เป็นตัววัดประสิทธิภาพของเทคนิคการพยากรณ์ และนำค่าพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดมาวางแผนการผลิตหลัก ผลการศึกษาพบว่าวิธีการพยากรณ์ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์น้อยที่สุด คือ วิธีการปรับให้เรียบ Holt-Winters ยกเว้นยางล้อรถยนต์เสริมใยเหล็ก ยี่ห้อ "TEE" ขนาด 16" 18" และ 20" พบว่าควรใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย 3 เดือน จากนั้นนำค่าพยากรณ์มาทดลองวางแผนการผลิตหลักเพื่อยืนยันวันที่ส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าต่างประเทศ ซึ่งพบว่าระยะเวลารอคอยการยืนยันวันที่ส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าต่างประเทศลดลง จากต้องรอทุกวันที่ 20 ของเดือน เป็นสามารถยืนยันวันที่ส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าต่างประเทศได้ภายใน 3 วันนับจากวันที่ลูกค้ายืนยันคำสั่งซื้อ

คำหลัก การพยากรณ์ยอดขาย, การวางแผนการผลิต, ยางล้อรถยนต์ประเภทเสริมใยเหล็ก

Abstract

The objective of this study is to forecast the sale order of radial tire for supporting production planning. This research studied the sale order in the past. After that, three forecasting methods which are single moving average, simple exponential smoothing, and holt-winter methods are used to forecast the sale order. Next, mean absolute percent error (MAPE) of each method is calculated and compared to find the minimum value.

After that, the sale forecast is used in production planning. The results show that holt-winters method gives the minimum value of MAPE with the best forecasting method. However, 3-month moving average method is suitable for brand "TEE" size 16" 18" and 20". After that, the sale forecast is tested for production planning to confirm the foreign customer delivery date. The lead time of available ship date confirmation can decrease from every 20th of the month to 3 days after customer confirmed purchasing order.

Keywords: Sale forecasting, Production planning, Radial tire

1. ที่มาและความสำคัญ

ยางล้อรถยนต์นับเป็นสินค้าที่น่าจับตามองและมีแนวโน้มการเติบโตที่ดี เนื่องจากประเทศไทยมีความได้เปรียบในแง่ของการเป็นแหล่งวัตถุดิบยางขนาดใหญ่และเป็นที่ยอมรับในด้านคุณภาพ ถึงแม้ว่าจะได้เปรียบในเรื่องของวัตถุดิบ แต่ยังมีคู่แข่งที่สำคัญอย่างประเทศจีนที่มีทิศทางการพัฒนาสินค้าโดยเปลี่ยนจากการผลิตสินค้าที่เน้นการแข่งขันทางด้านราคา มาเป็นการผลิตที่แข่งขันด้านคุณภาพของสินค้า จากสภาพแวดล้อมการแข่งขันทางธุรกิจในปัจจุบัน ธุรกิจต่างมุ่งเน้นการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้เกิดความได้เปรียบกว่าคู่แข่ง ในยุคที่ลูกค้ามีพฤติกรรมในการอดทนรอการทำธุรกรรมน้อย กลยุทธ์การตอบสนองอย่างรวดเร็วเป็นอีกกลยุทธ์อย่างหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างการบริการที่แตกต่าง เพื่อให้เกิดความได้เปรียบทางการแข่งขัน

ปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาใช้กลยุทธ์การผลิตสม่ำเสมอ โดยให้มีอัตราการผลิตคงที่ระดับเดียวในแต่ละวัน และเพียงพอกับความต้องการโดยรวมตลอดระยะเวลาของแผนการผลิต สำหรับลูกค้าต่างประเทศจะทำการผลิตสินค้าตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (Make to Order) ซึ่งส่งผลกระทบกับประสิทธิภาพการยืนยันวันที่ส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า คือไม่สามารถดำเนินการได้ทันทีเมื่อลูกค้ายืนยันคำสั่งซื้อมา เนื่องจากลูกค้าต่างประเทศแต่ละรายมีความต้องการสินค้าที่หลากหลายและการรับคำสั่งซื้อในแต่ละครั้งไม่มีการกำหนดปริมาณการรับคำสั่งซื้อขั้นต่ำ อีกทั้งการยืนยันคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละราย ยืนยันคำสั่งซื้อไม่พร้อมกัน ทำให้ปริมาณคำสั่งซื้อมีไม่เพียงพอต่อการวางแผนการผลิต โดยแผนกวางแผนจะสามารถกำหนดวันส่งมอบสินค้าได้ทุกวันที่ 20 ของทุกเดือน สำหรับการจัดส่งสินค้าในเดือนถัดไปเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อหาเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมเพื่อสนับสนุนการวางแผนการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พยากรณ์

ศิริลักษณ์, 2556 [1] ปัจจัยหนึ่งที่ควรคำนึงถึงในการเลือกเทคนิคการพยากรณ์คือ การวิเคราะห์ลักษณะข้อมูลการขายในอดีตว่ามีลักษณะอย่างไร มีการเคลื่อนไหวแบบแนวโน้ม ฤดูกาล ตามวัฏจักร หรือความไม่แน่นอน เนื่องจากเทคนิคการพยากรณ์แต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลที่แตกต่างกัน

งานวิจัยนี้พบว่าข้อมูลการขายมีลักษณะไม่แน่นอน ดังนั้นจึงศึกษาวิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลา วิธีการพยากรณ์ที่ศึกษามี 3 วิธี ได้แก่ วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล และวิธีการปรับเรียบ Holt-Winters เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ พิจารณาจากค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE)

การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average) เป็นวิธีการปรับให้เรียบที่ส่วนประกอบความผันแปรเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอที่มีขนาดใหญ่

การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล (Simple exponential smoothing) จะพยากรณ์ค่าในอนาคตเป็นค่าคงที่ ซึ่งเหมาะกับข้อมูลที่ไม่มีส่วนประกอบแนวโน้มหรือส่วนประกอบอนุกรมเวลาอื่น ๆ

การปรับให้เรียบแบบ Holt-Winters เป็นเทคนิคการปรับเรียบที่ใช้ได้กับอนุกรมเวลาที่มีลักษณะแนวโน้มและฤดูกาล

2.2 การวางแผนการผลิต

การวางแผนการผลิตเป็นการวางแผนเพื่อ

คำนวณหากำลังการผลิตของทรัพยากร เช่น แรงงาน เครื่องจักร อุปกรณ์ และสินค้าคงคลัง ที่จำเป็นและเพียงพอต่อการตอบสนองความต้องการของตลาดในอนาคตอย่างเหมาะสม โดยสามารถรักษาระดับของสินค้าคงคลัง การส่งมอบ และความสามารถในการทำกำไร

พิภพ, 2556 [2] การวางแผนการผลิตรวมโดยทั่วไปประกอบด้วย 2 กลยุทธ์บริสุทธิ์ คือกลยุทธ์ไล่ติดความต้องการ (Chase Strategy) คืออัตราการผลิตจะถูกกำหนดให้สอดคล้องกับอัตราความต้องการ และกลยุทธ์ระดับสม่ำเสมอ (Level Strategy) ซึ่งจะกำหนดให้มีอัตราการผลิตคงที่ระดับเดียวกันตลอดระยะเวลาการวางแผนการผลิต โดยการจัดระดับกำลังการผลิตหรือแรงงานไว้สม่ำเสมอในระดับเดียวกันกับอัตราการผลิต

การกำหนดตารางการผลิตหลัก (Master Production Scheduling: MPS) เป็นแผนการผลิตที่มีความสำคัญมากแผนหนึ่งในระบบของการวางแผนการผลิต และการควบคุมผลิตภัณฑ์คงคลัง ทั้งนี้เนื่องจากตารางการผลิตหลักเป็นแผนที่เชื่อมโยงระหว่างการตลาดหรือความต้องการของลูกค้ากับการผลิตผลิตภัณฑ์ของโรงงาน และจะเป็นตัวขับเคลื่อนการวางแผนการผลิตและการสั่งซื้อวัสดุในระดับรายละเอียดต่อไป

ตารางการผลิตหลักเป็นตารางที่ระบุอย่างชัดเจนถึงผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่จะทำการผลิต ปริมาณที่จะต้องผลิต และช่วงเวลาที่จะต้องทำการผลิตให้แล้วเสร็จ ทุกครั้งที่ทำการวางกำหนดการของตารางการผลิตหลัก ต้องมั่นใจว่าสิ่งที่ได้กำหนดลงไปในตารางการผลิตหลักจะสามารถผลิตได้เสร็จตามกำหนดเวลาที่วางไว้

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เลือกใช้กลยุทธ์ระดับสม่ำเสมอ เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษามีนโยบายการเก็บสต็อค 1 เดือนเพื่อตอบสนองความต้องการลูกค้าทันทีเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียโอกาสทางการค้า และระยะเวลารอคอยสินค้าเป็นเวลานาน

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการพยากรณ์นั้นมีหลากหลาย อย่างไรก็ตามในบทความนี้ขอยกมาเป็นตัวอย่างเพียงบางส่วนเท่านั้น

ยศนันท์ และธนัญญา, 2552 [3] กล่าวว่า การเลือกเทคนิคในการพยากรณ์อนุกรมเวลา ต้องพิจารณาว่าข้อมูลที่นำมาศึกษามีองค์ประกอบของอนุกรมเวลาส่วนใดบ้าง เนื่องจากเทคนิคในการพยากรณ์อนุกรมเวลา แต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับรูปแบบของข้อมูลที่แตกต่างกัน ผลที่ได้จากการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำจะเป็นประโยชน์นำไปเป็นแนวทางวางแผนการผลิตรวม

จินตพร และคณะ, 2555 [4] กล่าวว่าการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ แนวโน้ม ความผันแปรตามฤดูกาล ความผันแปรตามวัฏจักร และความผันแปรจากความไม่สม่ำเสมอ ซึ่งพิจารณาจากการเขียนกราฟ โดยแต่ละอนุกรมเวลาอาจมีส่วนประกอบมากกว่าหนึ่งส่วนประกอบ

ศิริลักษณ์, 2556 [1] กล่าวว่าส่วนประกอบของอนุกรมเวลาที่มีตัวแบบการคูณเป็นตัวแบบที่พบมากในข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์และธุรกิจ ตัวแบบการคูณเป็นตัวแบบที่มีส่วนประกอบของอนุกรมเวลาทั้งสี่ส่วนมีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าส่วนประกอบใดส่วนประกอบหนึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไปไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง จะมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เหลือด้วย ตัวแบบชนิดนี้นิยมใช้กันมากกว่าตัวแบบอื่นเนื่องจากเป็นตัวแบบพื้นฐานที่สามารถทำการแยกส่วนประกอบแต่ละชนิดของอนุกรมเวลาได้สะดวก และมีหลักเกณฑ์ที่สมเหตุสมผลว่าส่วนประกอบแต่ละชนิดของอนุกรมเวลาจะมีส่วนเกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน

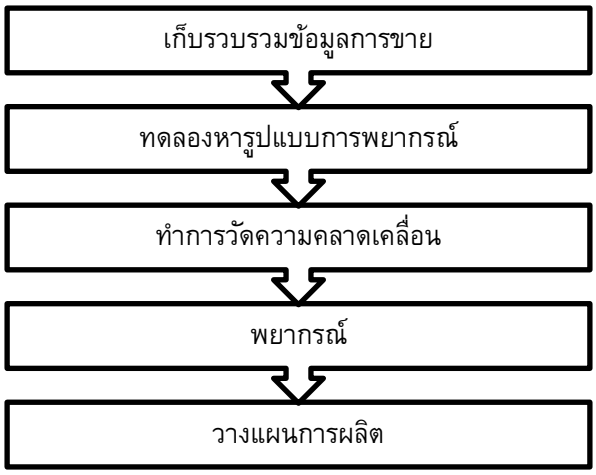
อนุชิต, 2554 [5] ศึกษาการพยากรณ์ความต้องการและการวางแผนการผลิต กรณีศึกษาผลิตภัณฑ์น้ำปลา การพยากรณ์ทำโดยการศึกษาข้อมูลการขายในอดีตเพื่อใช้เลือกเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสม แล้วจึงนำค่าพยากรณ์ยอดการขายมาใส่ในตารางการวางแผนการผลิต เพื่อจะสามารถตรวจสอบได้ว่าต้องการผลิตสินค้าอะไร วันที่เท่าไร จำนวนเท่าใด และต้องสั่งซื้อวัตถุอะไรเมื่อไร วันไหน เป็นต้น ผลปรากฏว่าความคลาดเคลื่อนยอดการขายจริงกับค่าพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนน้อยลงจากคลาดเคลื่อน 10.97% เป็น 0.69%

สุธาทิพย์, 2554 [6] ศึกษาอุตสาหกรรมหมวกพบว่าโรงงานตัวอย่างมีการวางแผนและจัดตารางการผลิตโดยใช้ประสบการณ์เป็นหลัก ทำให้การติดตามงานไม่มีประสิทธิภาพ และไม่ทราบกำลังการผลิตที่แท้จริง ส่งผลกระทบให้การผลิตไม่ทันตามกำหนด และการส่งมอบงานล่าช้า จึงทำมาตรฐานการทำงานแต่ละผลิตภัณฑ์เพื่อคำนวณหากำลังการผลิตที่แท้จริงของโรงงาน

ตัวอย่าง และปรับปรุงใบรายการบัญชีของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดความพร้อมในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยงาน ผลการวิจัยพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดการส่งมอบงานล่าช้าได้ โดยประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 49 เปอร์เซ็นต์ เป็น 89.17 เปอร์เซ็นต์ ทำให้จำนวนครั้งการส่งมอบล่าช้าลดลงจาก 58 งาน เหลือเพียง 33 งาน

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

จากรูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากเก็บรวบรวมข้อมูลการขายสินค้าในอดีตด้วยโปรแกรมเอ็กเซล โดยแยกตามยี่ห้อสินค้า เพื่อวิเคราะห์รูปแบบของข้อมูล จากนั้นหารูปแบบการพยากรณ์ โดยนำข้อมูลการขายในอดีตมาเขียนกราฟเพื่อดูลักษณะข้อมูลว่ามีลักษณะแบบใด เพื่อเลือกเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล และดำเนินการพยากรณ์โดยใช้โปรแกรม Minitab จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ และนำวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมมาใช้ในการพยากรณ์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวางแผนการผลิตเพื่อยืนยันวันส่งมอบสินค้า

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการเก็บข้อมูลการขาย

การเก็บข้อมูลแยกตามยี่ห้อ เป็นรายปี และรายเดือนตามตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ข้อมูลการขายยางล้อรถยนต์เสริมใยเหล็กยี่ห้อ “DEE”
หน่วย : เส้น

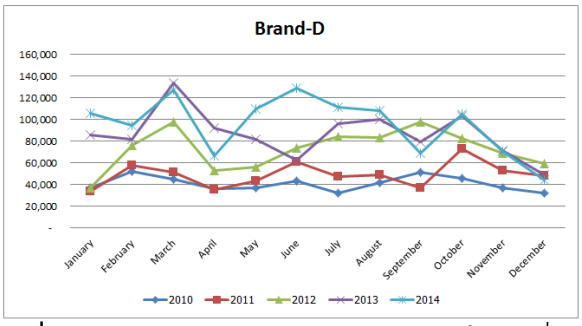
พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557
ม.ค.	36,405	33,400	37,020	85,198	105,767
ก.พ.	52,111	57,159	75,575	81,471	94,463
มี.ค.	45,033	51,303	97,338	133,554	126,549
เม.ย.	35,618	34,935	52,623	91,975	66,535
พ.ค.	36,530	42,730	55,829	81,282	109,584
มิ.ย.	43,252	60,436	73,183	62,015	128,695
ก.ค.	32,151	46,950	83,967	96,109	110,818
ส.ค.	41,895	48,334	83,357	99,970	107,852
ก.ย.	51,353	36,926	97,273	78,879	68,734
ต.ค.	45,291	72,569	82,533	102,665	104,700
พ.ค.	36,994	52,728	68,728	70,728	70,440
ธ.ค.	31,721	47,916	59,376	48,384	43,502

ตารางที่ 2 ข้อมูลการขายยางล้อรถยนต์เสริมใยเหล็กยี่ห้อ “TEE”
หน่วย : เส้น

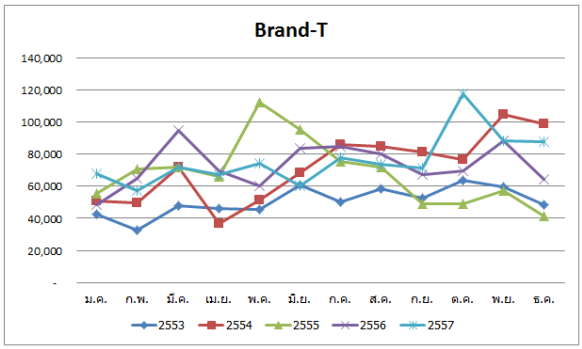
พ.ศ.	2553	2554	2555	2556	2557
ม.ค.	42,787	50,537	55,405	48,424	67,743
ก.พ.	32,357	49,689	70,868	64,769	57,117
มี.ค.	47,986	71,853	72,058	94,710	71,863
เม.ย.	45,811	36,477	66,213	69,441	67,194
พ.ค.	45,299	51,245	112,147	60,323	74,198
มิ.ย.	60,590	68,032	95,234	83,418	60,342
ก.ค.	50,016	86,072	75,599	84,504	77,577
ส.ค.	58,595	84,623	71,769	79,829	73,828
ก.ย.	52,254	81,417	49,128	67,302	71,175
ต.ค.	63,880	76,603	49,030	69,548	117,777
พ.ค.	59,490	104,386	57,441	88,400	88,500
ธ.ค.	48,266	98,668	41,577	64,414	87,535

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและลักษณะแนวโน้มของข้อมูล

ผลการเขียนกราฟพบว่าข้อมูลการขายยางล้อรถยนต์เสริมใยเหล็กทั้งสองยี่ห้อมีลักษณะไม่แน่นอน ดังรูปที่ 2 และ รูปที่ 3



รูปที่ 2 ลักษณะของข้อมูลการขายยางล้อรถยนต์เสริมใยเหล็กยี่ห้อ "DEE"



รูปที่ 3 ลักษณะของข้อมูลการขายยางล้อรถยนต์เสริมใยเหล็กยี่ห้อ "TEE"

หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ไปพยากรณ์ทั้ง 3 วิธีในโปรแกรม Minitab เพื่อจะหาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม

4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE)

ผลการเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ยางล้อรถยนต์เสริมใยเหล็ก ยี่ห้อ "DEE" สำหรับทุกขนาดของยาง พบว่าการพยากรณ์ด้วยเทคนิคการปรับเรียบแบบ Holt-Winters ให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ต่ำสุด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบการพยากรณ์ด้วยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ยางล้อรถยนต์เสริมใยเหล็กยี่ห้อ "DEE"

MAPE%	12"	13"	14"	15"	16"	17"	18"	20"
MA-3	17	22	28	39	37	28	50	60.5
MA-4	15	30	32	40	42	32	68	64
MA-5	16	31	31	40	42	33	69	67
MA-6	17	33	33	44	49	30	67	74
MA-7	17	31	33	44	49	30	62	73
MA-8	16	33	40	50	56	35	68	73
MA-9	17	31	37	47	52	31	60	69
MA-10	19	34	46	58	64	41	71	88
MA-11	19	32	45	55	62	39	68	84
SES	20	24	37	44	47	37	61	58
Winters	**8**	**3**	**20**	**14**	**12**	**10**	**0.76**	**13**

ผลการเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ยางล้อรถยนต์เสริมใยเหล็ก ยี่ห้อ "TEE" สำหรับขนาดของยาง 12", 13", 14", 17" และ 19" พบว่าการพยากรณ์ด้วยเทคนิคการปรับเรียบแบบ Holt-Winters ให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ต่ำสุด แต่ยางขนาด 16", 18" และ 20" พบว่าการพยากรณ์ด้วยการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย 3 เดือน ให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ต่ำสุดและยางขนาด 15" พบว่าการพยากรณ์ด้วยเทคนิคการปรับเรียบแบบ Holt-Winters และการพยากรณ์ด้วยการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย 3 เดือน ให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ต่ำสุด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบการพยากรณ์ด้วยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ยางล้อรถยนต์เสริมใยเหล็กยี่ห้อ "TEE"

MAPE%	12"	13"	14"	15"	16"	17"	18"	20"
MA-3	53	26	22	**11**	**13**	23	**22**	**55**
MA-4	63	30	22	13	17	28	25	80
MA-5	63	31	22	14	19	30	27	94
MA-6	66	34	26	16	21	28	30	72
MA-7	68	33	27	16	21	29	29	78
MA-8	86	36	30	17	23	31	34	108
MA-9	88	34	29	17	22	31	35	127
MA-10	95	39	32	18	25	28	39	86
MA-11	93	38	31	19	24	30	39	86
SES	62	26	26	18	20	30	30	84
Winters	**16**	**4**	**5**	**11**	23	**22**	32	75

บริษัทกรณีศึกษามีจำนวนสินค้าทั้งหมด 587 รายการ สินค้าบางรายการมีการขายไม่ต่อเนื่อง สินค้าบางรายการมีการขายต่อเนื่องแต่มีมูลค่าส่งออกน้อย ผู้วิจัยจึงได้มีการนำหลักการพาเรโตมาพิจารณาเลือกรายการสินค้าที่มีความสำคัญมาก โดยพิจารณาจากมูลค่าการขายและมีการขายต่อเนื่องเพื่อนำมาพยากรณ์ พบว่ามีรายการทั้งหมด 123 รายการที่มีมูลค่าการขายสูงสุด

และมีการขายต่อเนื่อง จึงได้นำรายการทั้งหมด 123 รายการมาหาค่าพยากรณ์รายเดือนเพื่อทดลองวางแผนการผลิตรายเดือนต่อไป

4.4 ผลการวางแผนการผลิต

ผลการทดลองวางแผนการผลิตหลักในเดือนพฤษภาคม พบว่าจำนวนสินค้าทั้งหมด 123 รายการที่ทำการพยากรณ์มีสินค้า 6 รายการที่ไม่ต้องวางแผนการผลิตเนื่องจากมีระดับสินค้าคงคลังเกิน 1 เดือน สินค้า 63 รายการสามารถวางแผนการผลิตเดือนพฤษภาคมได้ แต่ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตามปริมาณความต้องการของค่าพยากรณ์เพื่อรักษาระดับสินค้าคงคลัง 1 เดือน เนื่องจากอัตราการผลิตของเครื่องจักรไม่เพียงพอ สินค้าที่เหลืออีก 54 รายการ ไม่สามารถวางแผนการผลิตในเดือนพฤษภาคมได้เนื่องจากอัตราการผลิตของเครื่องจักรไม่เพียงพอ

ตัวอย่างการวางแผนผลิตรายเดือนยางล้อรถยนต์เสริมใยเหล็กขนาด 14” มีเครื่องจักรทั้งหมด 10 เครื่อง ดังตารางที่ 5 โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาทดลองวางแผนการผลิตดังรูปที่ 4 สินค้ารายการ I-0027583 และ I-0028028 ไม่ได้วางแผนการผลิตเดือนพฤษภาคม เนื่องจากระดับสินค้าคงคลังมีเพียงพอเกิน 1 เดือน แต่ I-0028027 ไม่ได้วางแผนการผลิตเดือนพฤษภาคม เนื่องจากอัตราการผลิตของเครื่องจักรมีไม่เพียงพอ

ตารางที่ 5 ตัวอย่างปริมาณเครื่องจักร

สินค้า	ยี่ห้อ	แม่พิมพ์ (เครื่อง)	อัตรา (เส้น/เครื่อง)	เครื่องจักร
I-0027580	D	6	37	A4,B1,B2,B4,C1,C2,E3,E5,E7,G1
I-0028027	T	6	37	
I-0027583	D	6	38	
I-0028028	T	6	38	
I-0027983	D	8	33	
I-0029603	T	8	33	
I-0028911	D	4	37	
I-0028029	T	4	37	
I-0027581	D	10	38	
I-0029312	T	10	38	
I-0029333	D	8	37	
I-0030897	T	8	37	
I-0029346	D	14	30	
I-0030898	T	14	30	
I-0027584	D	4	37	
I-0028036	T	4	37	
I-0043775	T	2	36	

Rim size	Item number	Brand	End Stock	LOCAL-MAY	EXPORT-MAY	TOTAL ORDER-MAY	TOTAL ORDER-JUN	TOTAL PRODUCTION	MOLD	CURE / DAY	4	5	6	7	8	9	ประสิทธิภาพ
14	I-0027580	DEE	805	1,060	833	1,893	1,452	2,540	4	150	75	75	75	75	75	75	0.78
14	I-0028027	TEE	1,695	200	617	817	1,330	452		-							0.79
14	I-0027583	DEE	2,499	-	770	770	645	1,084		-							1.77
14	I-0028028	TEE	1,876	-	670	670	989	217		-							1.13
14	I-0027983	DEE	1,291	1,200	1,208	2,408	3,495	4,612	2	66	133	133	133	133	133	133	0.58
14	I-0029603	TEE	1,647	-	1,037	1,037	1,613	1,003	2	66							0.62
14	I-0028911	DEE	912	50	1,622	1,672	1,137	1,897	2	75	75	75	75	75	75	75	0.59
14	I-0028029	TEE	110	-	268	268	676	834	2	75	75	75	75	75	75	75	0.75
14	I-0027581	DEE	-	4,580	2,645	7,225	6,107	13,332	6	230	230	230	230	230	230	230	0.41
14	I-0029312	TEE	1,953	-	2,583	2,583	2,422	3,052	2	77	77	77	77	77	77	77	0.76
14	I-0029333	DEE	2,900	3,000	1,839	4,839	6,645	8,584	2	73							0.35
14	I-0030897	TEE	382	100	1,383	1,483	1,708	2,809	2	73							0.49
14	I-0029346	DEE	1,739	-	1,572	1,572	1,586	1,419		-							0.55
14	I-0030898	TEE	669	1,000	1,811	2,811	4,380	6,522	2	60	60	60	60	60	60	60	0.29
14	I-0027584	DEE	223	846	816	1,662	1,203	2,642	2	75							0.44
14	I-0028036	TEE	1,334	20	1,155	1,175	1,271	1,112		-							0.55
14	I-0043775	TEE	2,261	-	208	208	986	1,067		-							1.89

รูปที่ 4 ตัวอย่างแผนการผลิตหลัก

สำหรับการยืนยันวันที่ส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าต่างประเทศ จำนวนทั้งสิ้น 52 คำสั่งซื้อที่ลูกค้ายืนยันคำสั่งซื้อมาแล้วในเดือนมีนาคม สามารถยืนยันวันที่ส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าได้ทันที 28 คำสั่งซื้อ ส่วนที่เหลือ 29 คำสั่งซื้อ ไม่สามารถยืนยันวันที่ส่งมอบสินค้าได้ เนื่องจากมีบางรายการไม่ได้ทำการพยากรณ์เพื่อการวางแผนการผลิต

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการเปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ 3 วิธีสำหรับบริษัทผู้ผลิตยางล้อรถยนต์ประเภทเสริมใยเหล็ก ได้แก่ การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย การปรับเรียบแบบเอ็กโปเนนเชียล และเทคนิคการปรับเรียบ Holt-Winters ผลการวิจัยพบว่าเทคนิคการปรับให้เรียบ Holt-Winters ให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์น้อยที่สุด ยกเว้นยางล้อรถยนต์เสริมใยเหล็ก ยี่ห้อ “TEE” ขนาด 16” 18” และ 20” จำนวน 3 รายการ พบว่าการพยากรณ์ด้วยการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย 3 เดือน ให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์น้อยที่สุด เมื่อนำค่าพยากรณ์รายเดือนที่ได้มาวางแผนการผลิตรายเดือน พบว่าสามารถสนับสนุนแผนกวางแผนในเรื่องการ

ยืนยันวันที่ส่งมอบสินค้าได้รวดเร็วขึ้นจากทุกวันที่ 20 ของทุกเดือน เป็นยืนยันวันส่งมอบสินค้าภายใน 3 วัน นับจากวันที่ลูกค้ายืนยันคำสั่งซื้อ และยังช่วยให้การวางแผนการผลิตมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นในเรื่องการวางแผนการผลิตสินค้าแต่ละรายการให้เหมาะสมและสอดคล้องกับปริมาณความต้องการของลูกค้า อีกทั้งยังสามารถช่วยในการตัดสินใจพิจารณาการจัดเตรียมกำลังคน อุปกรณ์ เครื่องจักร เพื่อรองรับกับปริมาณการขายในอนาคตอีกด้วย

อย่างไรก็ตามการวางแผนการผลิตโดยใช้กลยุทธ์การผลิตสม่ำเสมอจำเป็นต้องมีการตรวจสอบสินค้าคงคลังเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการวางแผนการผลิต ดังนั้นการวางแผนการผลิตอาจมีการเปลี่ยนแปลงถ้าการขายและระดับสินค้าคงคลังไม่เป็นไปตามการพยากรณ์ที่คาดการณ์ไว้

เอกสารอ้างอิง

[1] ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์. 2556. เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ: การวิเคราะห์อนุกรมเวลา. พิมพ์ครั้งที่ 1. นครปฐม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล.

[2] พิภพ ลลิตาภรณ์. 2556. การวางแผนและควบคุมการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น

[3] ยศนันท์ ศุภพิบูลย์กุล และธนัญญา วสุศรี, การพยากรณ์และการวางแผนการผลิตรวม: กรณีศึกษาบริษัทผู้ผลิตน้ำมันถั่วเหลือง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2552.

[4] จินตพร หนิ้วอินปั๋น, บุญอ้อม โฉมที และประสิทธิ์ พยัคฆพงษ์, การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ 4 วิธีสำหรับความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในภาคกลาง ของประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2555.

[5] อนุชิต รัตนประสิทธ์, การพยากรณ์ความต้องการและการวางแผนการผลิต: กรณีศึกษา ผลิตภัณฑ์น้ำปลา, วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2554

[6] สุธาทิพย์ บุษบา, การจัดตารางการผลิตโดยการจัดลำดับงานด้วยวิธีการฮิวริสติก: กรณีศึกษา หมวก วี ไอ พี จำกัด, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ, 2554.

การหาขนาดการสั่งผลิตที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสินค้าหลากหลายชนิดภายใต้การล้าสมัยอย่างฉับพลัน

Production Lot Sizing for Multiple Products with Sudden Obsolescence

สิริกร ประทุมทิพย์ [1] ฐนวรรธน์ นิยะโมสถ [2*]
[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น
E-mail: sirikornp@kkumail.com

Sirikorn Prathumthip [1] Thanawath Niyamosoth [2*]
[1,2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kean University, Khon Kean
E-mail: sirikornp@kkumail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เราได้ทำการศึกษาระบบการผลิตซึ่งทำการผลิตสินค้าหลากหลายชนิดภายใต้การเกิดการล้าสมัยอย่างฉับพลันซึ่งเกิดขึ้นแบบเอ็กซ์โปเนนเชี่ยลด้วยรอบเวลาการเกิดเฉลี่ยคงที่ โดยมีจุดประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาขนาดการสั่งผลิตที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ต้นทุนการดำเนินงานต่ำที่สุด ผลจากการทดสอบแบบจำลองพบว่าการกำหนดขนาดการสั่งผลิตโดยพิจารณาการเกิดสินค้าล้าสมัยสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานรวมลงได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอมุมมองด้านการดำเนินงานที่สำคัญบางประการที่จะช่วยให้ผู้ประกอบการตัดสินใจในประเด็นด้านการดำเนินงานต่างๆที่เกี่ยวข้องได้อย่างเหมาะสมมากขึ้น

คำหลัก การหาขนาดการสั่งผลิต, สินค้าล้าสมัย, สินค้าหลากหลายชนิด

Abstract

In this paper we study a production system that produces multiple products subject to sudden obsolescence. The purpose of this paper is to develop a mathematical model for determining the optimal lot sizes that minimize operating costs. Assuming that obsolescence occurs according to exponential distribution, the expression for the cost function is provided. The numerical results show that by applying this model into the real situation, the firm can reduce the operating costs significantly. Some managerial insights, resulting from the model that can help the manager make the decision more properly are also provided.

Key words: production lot sizing, obsolescence, multiple products

1. บทนำ

การจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูปคงคลังสำหรับสินค้าหลากหลายชนิดที่มีการผลิตในโรงงานซึ่งมีเครื่องจักรอยู่อย่างจำกัด มีความจำเป็นอย่างยิ่งทั้งนี้ก็เพื่อจะตอบสนองความต้องการของลูกค้าและเพิ่มความยืดหยุ่นในสายการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ แต่ทั้งนี้ก็ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนรวม เช่นความเสี่ยงของสินค้าที่มีโอกาสสูงในการเป็นสินค้าล้าสมัยที่ไม่มีมูลค่า หรือมีเพียงแค่มูลค่าซากเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาขนาดการสั่งผลิตที่เหมาะสมที่สุดกรณีสินค้าหลากหลายชนิดโดยการพิจารณาการเกิดสินค้าล้าสมัยฉับพลันของบริษัท ฮอล์มแมชชีนเนอรี่ เอเชีย จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตและส่งออกชิ้นส่วนเครื่องจักรและอุปกรณ์ด้วยการกลึง และการเจาะ โดยลักษณะงานเป็นงานที่มีความซับซ้อนและคุณภาพสูง

และสามารถผลิตในจำนวนน้อยที่มีปริมาณการสั่งซื้อจำนวนไม่มากได้

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยชิ้นนี้ได้แก่งานของ Masters (1991), Joglekar and Lee (1993), David and Mehrez (1995), และ Van Delft and Vial (1996) ซึ่งได้ทำการศึกษา EOQ model สำหรับสินค้าชนิดเดียวภายใต้การเกิดการล้าสมัยแบบเอ็กซ์โปเนนเชี่ยล อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้จะแตกต่างจากงานวิจัยข้างต้นคือในงานวิจัยชิ้นนี้จะทำการศึกษา EPL (Economic Production Lot Size) model สำหรับสินค้าหลายชนิด งานวิจัยอื่นๆที่น่าสนใจในหัวข้อนี้ได้แก่ Song and Chuin Lau (2004) ซึ่งทำการศึกษาระบบสินค้าคงคลังภายใต้การเกิดการล้าสมัยอย่างฉับพลันกรณีความต้องการไม่คงและมีนโยบายการตรวจสินค้าคงคลังแบบคาบ และ Pince and Dekker (2011) ซึ่งทำการศึกษาระบบสินค้าคงคลังสำหรับสินค้าที่เคลื่อนไหวช้าภายใต้การเกิดการล้าสมัยสำหรับนโยบายการตรวจสินค้าคงคลังแบบต่อเนื่อง

งานวิจัยชิ้นนี้สามารถนำไปศึกษาต่อยอดในประเด็นอื่นๆที่น่าสนใจได้อีกเช่น การทำการหาขนาดของสินค้าคงคลังกันชนที่เหมาะสมที่สุดภายใต้การเกิดการล้าสมัยอย่างฉับพลันและการเกิดการหยุดชะงักของการผลิตอันเนื่องมาจากเครื่องจักรขัดข้อง ซึ่งเป็นงานที่อยู่ระหว่างการวิจัยของผู้วิจัย

จากแนวคิดดังกล่าวข้างต้นเราจะพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาขนาดการสั่งผลิตที่เหมาะสมที่สุดกรณีสินค้าหลายชนิด โดยการวิเคราะห์ ABC (ดู Nahmias (2004) หน้า 203-204) ของสินค้ารวมทั้งสิ้น 322 รายการ พบว่ามีสินค้ากลุ่ม A จำนวน 67 รายการ คิดเป็น 21% ของจำนวนผลิตภัณฑ์ มีมูลค่า รวม 70% ของมูลค่าการขาย กลุ่ม B จำนวน 96 รายการ คิดเป็น 29% ของจำนวนผลิตภัณฑ์ มีมูลค่า รวม 20% ของมูลค่าการขาย กลุ่ม C จำนวน 96 รายการ คิดเป็น 50% ของจำนวนผลิตภัณฑ์ มีมูลค่า รวม 10% ของมูลค่าการขาย การวิเคราะห์ ABC จะทำให้เรารู้ว่าสินค้ากลุ่มใดมีมูลค่าสูงกว่าสินค้ากลุ่มอื่น ซึ่งสินค้ากลุ่มดังกล่าวต้องการการควบคุมดูแลด้านสินค้าคงคลังที่เข้มงวดมากกว่าสินค้ากลุ่มอื่น

หัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาขนาดการสั่งผลิตที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสินค้าหลากหลายชนิด โดยพิจารณาต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการเกิดสินค้าล้าสมัยในแบบจำลอง

2.การสร้างแบบจำลอง

ในแบบจำลองนี้ได้กำหนดสัญลักษณ์ต่างๆ ดังนี้

D = ปริมาณความต้องการต่อปี

t = ตัวแปรสุ่มที่แทนระยะการเกิดการล้าสมัยมีการกระจายแบบเอ็กโปเนนเชียลด้วยค่าคาดหวัง $E[t] = L$, $L = E[t]$ ค่าคาดหวังของระยะเวลาการเกิดการล้าสมัย

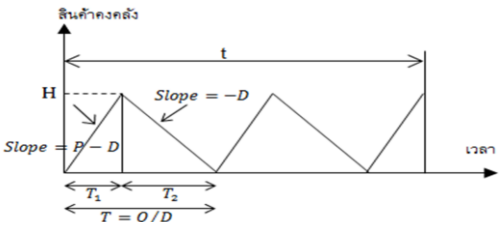
K = ต้นทุนคงที่ในการสั่งผลิตต่อครั้ง

h = ต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลังต่อหน่วยต่อ ปี, C = ต้นทุนต่อหน่วยของสินค้า, C_s = ต้นทุนต่อหน่วยที่เกิดขึ้นจากการขายซาก ขาดทุน

Q = ขนาดการผลิตต่อครั้ง,T = รอบเวลาการสั่งผลิต,

P = อัตราการผลิต

H = ปริมาณสินค้าคงคลังสูงสุด



รูปที่ 1 รูปแบบปริมาณสินค้าคงคลังของขนาดการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

จากรูปที่ 1 ใน 1 รอบการผลิต เครื่องจักรจะเริ่มทำการผลิตด้วยอัตรา P เพื่อตอบสนองความต้องการในอัตรา P (P>D) และจะเติมเต็มสินค้าคงคลังในอัตรา P-D ที่ระดับ H ในเวลา T_1 จึงหยุดผลิต หลังจากนั้นสินค้าคงคลังที่ถูกจัดเก็บไว้จะถูกนำมาใช้ด้วยอัตรา D เป็นเวลา T_2 จนหมดก็จะทำการผลิตรอบใหม่ ใน 1 รอบมีการผลิต Q หน่วยใช้เวลาในการผลิต T_1 ด้วยอัตราการผลิต P ดังนั้น T_1= Q/P จากรูปที่ 1 H/T_1= P-D ดังนั้น H = Q (1-D/P) ในหนึ่งรอบมีการใช้สินค้าไป DT ซึ่งเท่ากับจำนวนสินค้า Q ที่ผลิตได้ ดังนั้น Q = DT หรือ T = Q/D

สมมุติว่าทำการผลิตไปเป็นเวลา t แล้วเกิดการล้าสมัยอย่างฉับพลัน กำหนดให้ *N(t)* = t/T เป็นตัวแปรสุ่มที่แทนจำนวนครั้งของการสั่งผลิตที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบของการล้าสมัย

$E[N(t)]$ เท่ากับค่าคาดหวังของจำนวนครั้งของการสั่งผลิตที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบของการล้าสมัย

$$E[N(t)] = \frac{E[t]}{T} = \frac{L}{T} = \frac{LD}{Q} \qquad (1)$$

โดยค่าคาดหวังของต้นทุนรวมในหนึ่งรอบของการล้าสมัยประกอบด้วยผลรวมของค่าคาดหวังของต้นทุนการสั่งผลิต ต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลังและต้นทุนสินค้าล้าสมัย สมมุติว่าไม่ยอมให้มีสินค้าขาดสต๊อก แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถแบ่งได้เป็นสองกรณี คือ สินค้าคงคลังไม่มีมูลค่าซาก และสินค้าคงคลังมีมูลค่าซาก

กรณีที่ 1 : สินค้าคงคลังไม่มีมูลค่าซาก

1.1 ต้นทุนการสั่งผลิต กำหนดให้ FPC = ต้นทุนการสั่งผลิตในหนึ่งรอบของการเกิดสินค้าล้าสมัย

$$E[FPC] = KE[N(t)] = \frac{KLD}{Q} \qquad (2)$$

1.2 ต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลัง

กำหนดให้ HC = ต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลังในหนึ่งรอบการเกิดสินค้าล้าสมัย

$$E[HC] = \frac{hLQ(1-D/P)}{2} \qquad (3)$$

1.3 ต้นทุนสินค้าล้าสมัย

ค่าคาดหวังของต้นทุนสินค้าล้าสมัยที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบของการล้าสมัยสามารถหาได้จากผลคูณของต้นทุนต่อหน่วยของสินค้ากับค่าคาดหวังของปริมาณสินค้าคงคลังที่ถือครอง ณ เวลาใดๆ

กำหนดให้ I(t) เป็นตัวแปรสุ่มที่แทนระดับสินค้าคงคลังที่ถือครอง ณ เวลาใดๆ ดังนั้น

$$E[I(t)] = \frac{HT/2}{T} = \frac{H}{2} = \frac{Q(1-D/P)}{2} \qquad (4)$$

กำหนดให้ OC = ต้นทุนสินค้าล้าสมัยที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอบของการล้าสมัย ดังนั้น

$$E[OC] = \frac{CQ(1-D/P)}{2} \qquad (5)$$

1.4 ต้นทุนรวม กำหนดให้ TC(Q) = ต้นทุนรวมในหนึ่งรอบของการล้าสมัย

$$E[TC(Q)] = E[FOC]+E[HC]+E[OC] \qquad (6)$$

ดังนั้น

$$E[TC(Q)] = \frac{KLD}{Q} + \frac{hLQ(1-D/P)}{2} + \frac{CQ(1-D/P)}{2} \qquad (7)$$

เนื่องจาก $E[TC(Q)]$ เป็น convex ฟังก์ชั่น ดังนั้นเราจึงสามารถหา Q^* หรือขนาดการผลิตที่เหมาะสมที่สุดได้โดยการหาอนุพันธ์อันดับที่ 1 ของ $E[TC(Q)]$ และกำหนดให้เท่ากับศูนย์ จะได้ Q^* ดังนี้

$$Q^* = \sqrt{\frac{2KLD}{(hL+C)(1-D/P)}} \qquad (8)$$

กรณีที่ 2 : สินค้าคงคลังมีมูลค่าซาก

ในกรณีที่บริษัทสามารถขายซากได้หลังจากเกิดสินค้าล้าสมัย บริษัทจะได้รับเงินคืนมาบางส่วน แต่ก็ยังมีผลขาดทุนจากการขายสำหรับซากของสินค้าแต่ละหน่วยที่ขายไป

กำหนดให้ C_s เป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขายซากขาดทุนแต่ละหน่วย ซึ่งหาได้จากต้นทุนต่อหน่วยของสินค้าลบมูลค่าซาก (จำนวนที่คาดว่าจะได้รับจากการขายซาก) นั่นคือ

C_s = ต้นทุนต่อหน่วย – มูลค่าซาก

ในกรณีที่มีมูลค่าซากนี้ เราสามารถหาต้นทุนรวมในหนึ่งรอบของการล้าสมัยได้ดังนี้

$$E[TC(Q)] = \frac{KLD}{Q} + \frac{hLQ(1-D/P)}{2} + \frac{C_sQ(1-D/P)}{2} \qquad (9)$$

และจะได้ Q^* ดังนี้

$$Q^* = \sqrt{\frac{2KLD}{(hL+C_s)(1-D/P)}} \qquad (10)$$

กรณีสินค้าหลากหลายชนิด (Multiple Products)

ในกรณีที่บริษัทมีการผลิตสินค้าหลากหลายชนิด เราสามารถนำค่า Q^* ไปใช้ในการคำนวณขนาดการสั่งผลิตที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสินค้าแต่ละชนิดได้ดังต่อไปนี้

กำหนดให้ *i* = 1,2,3,….n เป็นดัชนีแทนสินค้าชนิดที่ *i*

กรณีที่ 1 : สินค้าคงคลังไม่มีมูลค่าซาก

$$Q_i^* = \sqrt{\frac{2K_iL_iD_i}{(h_iL_i+C_i)(1-D_i/P_i)}} \qquad (11)$$

โดยมีต้นทุนรวม $E[TC^*]$ คือ

$$E[TC^*] = \sum_{i=1}^{n} E[TC(Q_i^*)] \qquad (12)$$

กรณีที่ 2 : สินค้าคงคลังมีมูลค่าซาก

$$Q_i^* = \sqrt{\frac{2K_iL_iD_i}{\left(h_iL_i+C_{s_i}\right)(1-D_i/P_i)}} \qquad (13)$$

โดยต้นทุนรวม $E[TC^*]$ สามารถหาได้โดยสมการ (12) เช่นเดียวกันกับกรณีไม่มีมูลค่าซาก

3. ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบแบบจำลองโดยการเลือกสินค้าจากกลุ่ม A มาทำการหาขนาดการสั่งผลิตที่เหมาะสมที่สุด โดยกำหนดอัตราต้นทุนการถือครองสินค้าคิดเป็น 25% ของต้นทุนต่อหน่วย และระยะเวลาการเกิดสินค้าล้าสมัยเฉลี่ยคงที่เท่ากับ 2 ปี ต้นทุนการสั่งผลิตคงที่

เท่ากับ 725 บาท โดยมีผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 1และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงขนาดการผลิตที่เหมาสะมและต้นทุนรวม กรณีสินค้าคงคลังไม่มีมูลค่าซาก

งาน	ชิ้นส่วนเลขที่	D	Q	Q*	E(TC) บาท	E(TC*) บาท	ลดลง
1	60056487	1885	943	176	182,682	79,052	57%
2	60056480	1436	718	199	130,175	74,736	43%
3	60053122	1300	650	199	115,881	69,818	40%
4	60053058	1600	800	262	125,231	80,532	36%
5	60031617	131	131	47	264,403	179,361	32%

ตารางที่ 2 แสดงขนาดการผลิตที่เหมาะสมและต้นทุนรวม กรณีสินค้าคงคลังมีมูลค่าซาก

งาน	ชิ้นส่วนเลขที่	D	Q	Q*	E(TC) บาท	E(TC*) บาท	ลดลง
1	60056487	1885	943	180	174,882	77,259	56%
2	60056480	1436	718	203	125,605	73,281	42%
3	60053122	1300	650	203	111,981	68,500	39%
4	60053058	1600	800	267	121,607	79,203	35%
5	60031617	131	131	48	258,893	177,196	32%

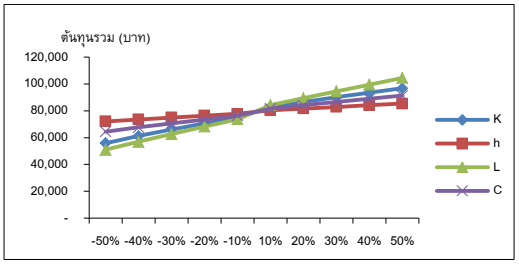
จากผลทดสอบทางตัวเลขของแบบจำลองพบว่า ขนาดการสั่งผลิตที่เหมาะสมของสินค้ากลุ่ม A ลดลงอย่างมากเปรียบเทียบกับขนาดการสั่งผลิตจริงในปัจจุบัน ส่งผลให้ต้นทุนรวมของสินค้ากลุ่ม A ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยกรณีสินค้าคงคลังไม่มีมูลค่าซาก ขนาดการผลิตปัจจุบันมีต้นทุนรวม 818,373 บาท ในขณะที่ขนาดการผลิตที่เหมาะสมจะทำให้ต้นทุนรวมทั้งหมดเท่ากับ 483,498 บาท ลดต้นทุนรวมได้ 41% ส่วนในกรณีสินค้าคงคลังมีมูลค่าซาก ขนาดการผลิตปัจจุบันมีต้นทุนรวม 792,969 บาท ในขณะที่ขนาดการผลิตที่เหมาะสมจะทำให้ต้นทุนรวมทั้งหมดเท่ากับ 475,440 บาท คิดเป็นต้นทุนรวมที่ลดลง 40%

4. วิเคราะห์ความไว

ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) เพื่อดูผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ที่มีต่อคำตอบของแบบจำลอง โดยค่าคงที่ที่นำมาทำการวิเคราะห์ความไวได้แก่ K, h, L,C และ Cs ผลที่ได้ในกรณีไม่มีมูลค่าซากแสดงในตารางที่ 3 รูปที่ 2 ตารางที่ 4 และ รูปที่ 3 และในกรณีมีมูลค่าซากแสดงในตารางที่ 5 รูปที่ 4 ตารางที่ 6 และรูปที่ 5

ตารางที่ 3 แสดงต้นทุนรวมของชิ้นส่วนเลขที่60056487 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ กรณีไม่มีมูลค่าซาก

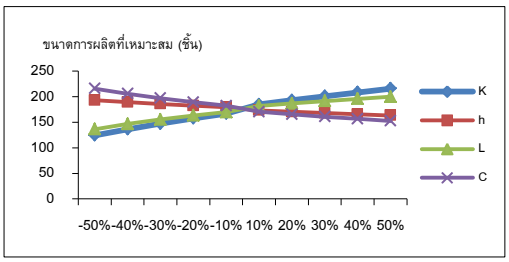
อัตราการเปลี่ยนแปลง	ต้นทุนรวมเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า E[TC*])			
	K	h	L	C
-50%	55,898	72,164	51,028	64,546
-40%	61,233	73,593	57,005	67,696
-30%	66,139	74,995	62,745	70,706
-20%	70,706	76,371	68,309	73,593
-10%	74,995	77,723	73,735	76,371
10%	82,910	80,359	84,281	81,644
20%	86,597	81,644	89,437	84,157
30%	90,133	82,910	94,532	86,597
40%	93,535	84,157	99,576	88,970
50%	96,818	85,386	104,576	91,281



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนรวมของชิ้นส่วน 60056487 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ต่างๆ กรณีไม่มีมูลค่าซาก

ตารางที่ 4 แสดงขนาดการผลิตที่เหมาะสมของชิ้นส่วนเลขที่60056487 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ กรณีไม่มีมูลค่าซาก

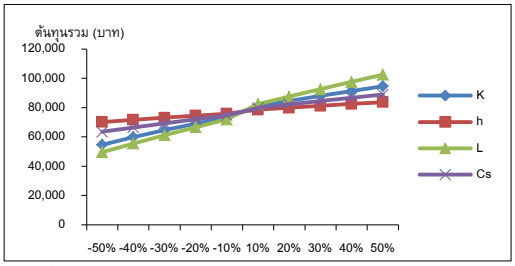
อัตราการเปลี่ยนแปลง	ขนาดการผลิตที่เหมาะสมเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า Q*			
	K	h	L	C
-50%	125	193	136	216
-40%	136	189	147	206
-30%	147	186	155	197
-20%	158	182	163	189
-10%	167	179	170	182
10%	185	173	182	171
20%	193	171	187	165
30%	201	168	191	161
40%	208	165	196	156
50%	216	163	200	153



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดการผลิตที่เหมาะสมของชิ้นส่วน 60056487 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ต่างๆ กรณีไม่มีมูลค่าซาก

ตารางที่ 5 แสดงต้นทุนรวมของชิ้นส่วนเลขที่60056487 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ กรณีมีมูลค่าซาก

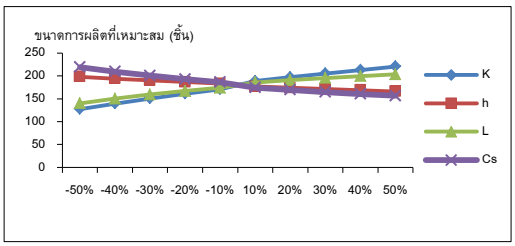
อัตราการเปลี่ยนแปลง	ต้นทุนรวมเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า E[TC*])			
	K	h	L	C_s
-50%	54,631	70,196	49,636	63,451
-40%	59,845	71,664	55,511	66,443
-30%	64,640	73,103	61,163	69,305
-20%	69,103	74,515	66,648	72,054
-10%	73,295	75,899	72,004	74,702
10%	81,030	78,596	82,432	79,735
20%	84,634	79,910	87,537	82,135
30%	88,089	81,203	92,586	84,468
40%	91,415	82,476	97,587	86,738
50%	94,623	83,729	102,547	88,949



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนรวมของชิ้นส่วน 60056487 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ต่างๆ กรณีมีมูลค่าซาก

ตารางที่ 6 แสดงขนาดการผลิตที่เหมาะสมของชิ้นส่วนเลขที่60056487 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ กรณีมีมูลค่าซาก

อัตราการเปลี่ยนแปลง	ขนาดการผลิตที่เหมาะสมเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า Q*			
	K	h	L	C_s
-50%	127	198	140	219
-40%	140	194	150	210
-30%	151	190	159	201
-20%	161	187	167	193
-10%	171	183	174	186
10%	189	177	186	175
20%	197	174	191	170
30%	205	171	195	165
40%	213	169	200	161
50%	221	166	204	157



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของขนาดการผลิตที่เหมาะสมของชิ้นส่วน 60056487 เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ต่างๆ กรณีมีมูลค่าซาก

จากการวิเคราะห์ความไวสามารถสรุปได้ว่า

เมื่อต้นทุนการสั่งผลิตคงที่(K)เพิ่มขึ้น ขนาดการสั่งผลิตต่อครั้ง(Q*)จะเพิ่มขึ้น นั่นคือบริษัทมีแนวโน้มผลิตครั้งละมากๆเมื่อต้นทุนคงที่ในการสั่งผลิตเพิ่มสูงขึ้น เมื่อต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลังต่อหน่วยต่อปี(h)เพิ่มขึ้น Q*จะลดลง นั่นคือบริษัทมีแนวโน้มถือครองสินค้าคงคลังน้อยลงหากต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลังมีค่าสูง เมื่อระยะเวลาเฉลี่ยในการเกิดสินค้าล้าสมัย(L)เพิ่มขึ้น Q*จะเพิ่มขึ้น นั่นคือบริษัทมีแนวโน้มสั่งผลิตสินค้าครั้งละมากขึ้นหากระยะเวลาเฉลี่ยในการเกิดสินค้าล้าสมัยยาวนานขึ้น ในทางกลับกันหากระยะเวลาเฉลี่ยในการเกิดสินค้าล้าสมัยลดลง บริษัทจะมีแนวโน้มสั่งผลิตสินค้าต่อครั้งด้วยจำนวนที่ลดลง เมื่อต้นทุนต่อหน่วยของสินค้า(C)เพิ่มขึ้น Q*จะลดลง นั่นคือบริษัทมีแนวโน้มสั่งผลิตสินค้าต่อครั้งด้วยจำนวนที่ลดลงหากต้นทุนต่อหน่วยสินค้าที่สั่งผลิตนั้นมีมูลค่าสูงขึ้น เมื่อต้นทุนต่อหน่วยในการขายซากขาดทุน(C_S)เพิ่มขึ้น Q*จะลดลง นั่นคือบริษัทมีแนวโน้มสั่งผลิตสินค้าต่อครั้งด้วยจำนวนที่ลดลงหากต้นทุนต่อหน่วยในการขายซากขาดทุนเพิ่มสูงขึ้น

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาขนาดการสั่งผลิตที่เหมาะสมที่สุดของระบบการผลิตที่ทำการผลิตสินค้าหลายชนิดภายใต้การเกิดการล้าสมัยอย่างฉับพลัน ผลการทดสอบแบบจำลองพบว่าขนาดการสั่งผลิตลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับนโยบายการผลิตที่บริษัทใช้อยู่ในปัจจุบัน ส่งผลให้ต้นทุนการดำเนินงานลดลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ยังให้มุมมองอันเป็นประโยชน์ต่อด้านการบริหารบางประการ เช่น ในกรณีที่ต้นทุนต่อหน่วยในการขายซากขาดทุนมีค่าสูง หรือในกรณีที่ระยะเวลาเฉลี่ยในการเกิดสินค้าล้าสมัยแต่ละครั้งมีค่าน้อย บริษัทไม่ควรที่จะสั่งผลิตสินค้าครั้งละมากๆ เพราะจะทำให้ต้นทุนรวมมีค่าสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ธรณิศ ทักษณา, การลดต้นทุนด้านสินค้าคงคลังโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ ABC แบบต่างหลักเกณฑ์, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2556

[2] James M. Masters, A Note on the Effect of

Sudden Obsolescence on the Optimal Lot size, College of Business The Ohio State University Columbus,1991.

[3] Rein Peterson and Edward A. Silver, Decision Systems For Inventory Management And Production Planning, New York: John Wiley & Sons, 1985.

[4] Richard J. Tersine, Principles of Inventory And Materials Management, Fourth Edition, Facsimile, 1993.

[5] Steven Nahmias, Production and Operations Analysis (McGraw-Hill/Irwin Series Operations and Decision Sciences) Hardcover – July, Fifth Edition, 2004.

[6] Sheldon M. Ross, Introduction to Probability Models, Fourth Edition, 1989

[7] Yuyue Song, Hoong Chuin Lau, A periodic-review inventory model with application to the continuous-review obsolescence problem, European Journal of Operation Research 159 (2004) 110-120.

[8] Joglekar, P., Lee, P., 1993. An exact formulation of inventory costs and optimal lot size in face of sudden obsolescence. Operations Research Letters 14, 283–290.

[9] David, I., Mehrez, A., 1995. An inventory model with exogenous failures. Operations Research 43, 902–903.

[10] Van Delft, Ch., Vial, J.P., 1996. Discounted costs, obsolescence and planned stockouts with the EOQ formula. International Journal of Production Economics 44, 255–265.

[11] Pince, Dekker, An inventory model for slow moving items subject to obsolescence. European Journal of Operational Research 213 (2011) 83-95.

การลดต้นทุนกระบวนการประกอบชิ้นงานสปอยเลอร์รถยนต์ โดยใช้วิศวกรรมคุณค่า

Cost Reduction in Assembly Process of Car Spoiler Using Value Engineering

ธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ[1*] พูลศักดิ์ บวบทอง[2]
[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: theerawa@buu.ac.th[*]

Theerawat Somsirikanjanakoon[1*] Poonsak Buabthong[2]
[1,2]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University.
E-mail: theerawa@buu.ac.th[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนกระบวนการประกอบชิ้นงานสปอยเลอร์รถยนต์โดยใช้วิศวกรรมคุณค่า (Value engineering) มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบอย่างเป็นขั้นตอนสำหรับผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถลดต้นทุนได้มากที่สุด ผลการวิจัยสามารถลดต้นทุนในส่วนผลิตภัณฑ์จาก1,116 บาทต่อชิ้น ลดลงมาเป็น 1,090 บาทชิ้น คิดเป็น 2.33% ซึ่งยังต่ำกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ที่ 3 % แต่ผลจากการลดต้นทุนตัวผลิตภัณฑ์ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการประกอบสปอยเลอร์ลดลงและค่าพัสดุคงคลังเนื่องจากไม่ต้องพึ่งชิ้นส่วนจากต่างประเทศ โดยเวลาในการประกอบสามารถลดลงได้ 28.94 วินาที ทำให้ลดต้นทุนการประกอบชิ้นงานลงได้อีก 2.31 บาทต่อชิ้นรวมเป็น 2.53% ขณะที่สามารถลดค่าใช้จ่ายรวมของพัสดุคงจากเดิม 26,420.50 บาทต่อปี ลดลงมาเป็น 1,909.24 บาทต่อปี คิดเป็น 92.77% หรือลดลง 0.76 บาทต่อชิ้น ผลสรุปการวิจัยสามารถลดต้นทุนกระบวนการประกอบชิ้นงานสปอยเลอร์ทั้งหมด 29.06 บาทต่อชิ้น หรือคิดเป็นต้นทุนที่ลดลง 2.6% แม้ยังต่ำกว่าค่าเป้าหมายแต่ผู้ว่าจ้างอนุโลมในผลที่ได้

คำหลัก การลดต้นทุน, วิศวกรรมคุณค่า, การศึกษางาน, สินค้าคงคลัง, กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

Abstract

The objective of this research is to reduce cost in an assembly process of the car spoiler using value engineering (VE) concept applied in the product design stage. Application with the VE, the product cost was reduced from 1,116 baht per piece to 1,090 baht per piece, or 2.33% reduction, which is lower than the target cost at 3%. The product cost reduction further affected the reduction in spoiler assembly time and inventory cost due to unnecessary import parts from oversea. The spoiler assembly time was reduced to 28.94 seconds resulting in the reduction of the assembly cost by 2.31 baht per piece, or 2.53% cost reduction. This research also reduced inventory cost from 26,420.50 baht per year to 1,909.24 baht per year, which was 92.77% cost reduction, or 0.76 baht per piece for product cost reduction. Overall, this research reduced the cost of car spoiler assembly process by 29.06 baht per piece, or 2.6% cost reduction. Although the cost reduction did not meet the target, the company satisfied with this result.

Keywords: Cost Reduction, Value Engineering, Time Study, Inventory, Analysis Hierarchy Process

1. บทนำ

เนื่องจากอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในปัจจุบันมีการแข่งขันกันมากตามกลไกของตลาดเพื่อรองรับกับความต้องการของลูกค้าและคู่แข่งขันที่มีมากขึ้น โดยเฉพาะคู่แข่งจากต่างประเทศ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเพื่อลดต้นทุนเป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการตระหนักยิ่ง [1] การพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ในขณะเดียวกันต้องเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการผลิตทั้ง ๆ ที่ค่าแรงงานการผลิตมีแนวโน้มที่สูงขึ้น จึงเป็นภาระที่ผู้บริหารต้องคิดหากลยุทธ์ต่าง ๆ ในการเพิ่มผลผลิต เพื่อให้สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้ และต้องมีการปรับกลไกการบริหารจัดการให้บรรลุเป้าหมายการเพิ่มผลผลิตด้วย[2] บริษัทกรณีศึกษาดำเนินธุรกิจในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ เนื่องจากทางผู้ประกอบรถยนต์ต้องการให้ผู้ส่งมอบลดราคาสินค้าของการประกอบสปอยเลอร์ลง 3% บริษัทกรณีศึกษาได้พิจารณาประยุกต์วิศวกรรมคุณค่าเพื่อการนี้เพราะสามารถประยุกต์ได้ตั้งแต่การออกแบบผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตและวิธีการโดยไม่ลดคุณภาพ [3]

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1.ศึกษาการลดต้นทุนกระบวนการประกอบชิ้นงานสปอยเลอร์โดยใช้หลักการวิศวกรรมคุณค่า

2.ลดต้นทุนการประกอบชิ้นงานสปอยเลอร์ $\leq$ 3%

3.การดำเนินการ

3.1 การเลือกโครงการ (General phase)

โดยการพิจารณาจากปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าสูงซึ่งเหมาะที่จะนำมาวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อเพิ่มผลกำไร เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์ที่ประกอบลักษณะเดียวกัน 2 โมเดล คือ X02A และ X02B จากข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม-พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ดังตารางที่ 1 พบว่าโมเดล X02B มีคำสั่งซื้อมากกว่าโมเดล X02A ดังนั้นจึงเลือกสปอยเลอร์โมเดล X02B มาศึกษาเพื่อลดต้นทุนกระบวนการประกอบชิ้นงานสปอยเลอร์ด้วยหลักการวิศวกรรมคุณค่า

3.2 รวบรวมข้อมูล (Information phase)

รวบรวมส่วนประกอบต้นทุนสำหรับการผลิตชิ้นงานสปอยเลอร์โมเดล X02B ต่อชิ้นดังตารางที่ 2

ตารางที่1 ความต้องการของลูกค้าตั้งแต่ มค.-พค. 2557

โมเดล	Jan	Feb	Mar	Apr	May	รวม(ชิ้น)
XO2B	2,247	1,788	4,871	1,912	2,571	13,389
X02A	1,496	1,503	618	1,020	1,614	6,251

ตารางที่ 2 ต้นทุนการผลิตชิ้นงานสปอยเลอร์โมเดล X02B ต่อชิ้น

รายการ	ราคา(บาท)
1. ค่าชิ้นส่วนประกอบ	866.91
2. ค่าโสหุ้ยการผลิต+ค่าแรงงาน	249.09
3. ต้นทุนรวม	1,116

3.3 ชิ้นส่วนประกอบและต้นทุนของชิ้นส่วน

ชิ้นส่วนประกอบสปอยเลอร์ประกอบด้วยรายการและต้นทุนชิ้นส่วนประกอบดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายการและต้นทุนชิ้นส่วนประกอบ

รายการ	ชิ้นส่วน	จำนวน	ต้นทุน/ชิ้น(บาท)	ต้นทุนรวม (บาท)
1	Nut(M6)	2	0.95	1.9
2	Insert Clip	3	8.10	24.3
3	Tape Spoiler A	2	6.10	12.2
4	Tape Spoiler B	2	5.25	10.5
5	Tape Spoiler C	2	1.50	3
6	Tape Spoiler D	2	1.10	2.2
7	Tamp Lamp A	2	0.80	1.6
8	Pick Seal A	1	1.12	1.12
9	Pick Seal B	6	0.44	2.64
10	Packing	2	0.33	0.66
11	Protector Spoiler C	2	0.33	0.66
12	Felt	1	1.90	1.90
13	Bolt(M6)	2	10.52	21.04
14	Screw Tapping	2	0.60	1.2
15	Bracket	2	5.57	11.14
16	Lamp Assy HMSL	1	0	0
17	Lamp Cover	1	23.75	23.75
18	Air Spoiler Assy RR	1	747.10	747.10
			รวม	866.91

3.4วิเคราะห์ที่ของชิ้นส่วน

จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หน้าที่ของชิ้นส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 4 แล้วเปรียบเทียบหาน้ำหนักความสำคัญของหน้าที่ โดยจะใช้ตัวอักษรแทนหน้าที่หลักดังตารางที่

5 จากนั้นให้น้ำหนักกับหน้าที่หลักด้วยการเปรียบเทียบทีละคู่ (Pairwise Comparison)[4] แล้วจัดเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อยดังตารางที่ 6 จากนั้นคำนวณค่า Value ดังตารางที่ 7 เพื่อวิเคราะห์น้ำหนักของฟังก์ชัน (F) และค่า Value พบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน และเห็นว่าควรปรับปรุงน้ำหนักของฟังก์ชันที่มีค่าตั้งแต่ 15 ขึ้นไปเนื่องจากเป็นหน้าที่หลักของผลิตภัณฑ์ และมีสัดส่วนของต้นทุนสูงแม้ว่าค่า Value จะเหมาะสม แล้วจัดกลุ่มความสำคัญของชิ้นส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์หน้าที่ของชิ้นส่วน

ชิ้นส่วน	หน้าที่		จำแนกหน้าที่		หมายเหตุ
	กริยา	นาม	หลัก	รอง	
PICK SEAL B	ช่วยเชื่อม	ประสาน		√	
	ทำให้สะดวก	ดึง	√		
PACKING	ช่วย	รัด	√		
PROTECTOR SPOILER C	ป้องกัน	การกระแทก	√		
FELT	ป้องกัน	การกระแทก	√		
BOLT (M6)	ช่วยยึด	ตำแหน่ง	√		
	ช่วย	การยึดเกาะ	√		
	คลาย	การประกอบ		√	
	ช่วย	ต่อกัน	√		
SCREW-TAPPING	ช่วย	การยึดเกาะ	√		
	ช่วย	ต่อกัน	√		
BRACKET	ช่วย	ต่อกัน		√	ลูกค้ากำหนด
	ประกอบ	ชิ้นส่วน	√		
LAMP ASSY-HMSL	ให้	แสงสว่าง	√		ลูกค้า supply
	เกิด	สัญญาณ		√	
LAMP COVER	ป้องกัน	การกระแทก	√		ลูกค้ากำหนด
	ก่อให้เกิด	ความสวยงาม		√	
AIR SPOILER ASSY RR	ก่อให้เกิด	ความสวยงาม	√		ลูกค้ากำหนด

ตารางที่ 5 การใช้ตัวอักษรแทนหน้าที่หลัก

No.	อักษร	หน้าที่	No.	อักษร	หน้าที่
1	A	ให้ตำแหน่ง	9	I	ทำให้สะดวกดึง
2	B	ช่วยประคอง	10	J	คลายการประกอบ
3	C	ช่วยยึดตำแหน่ง	11	K	ประกอบชิ้นส่วน
4	D	ช่วยต่อกัน	12	L	ให้แสงสว่าง
5	E	ช่วยการยึดเกาะ	13	M	เกิดสัญญาณ
6	F	ป้องกันการกระแทก	14	N	ก่อให้เกิดความสวยงาม
7	G	ต้านทานแรงดึง	15	O	ช่วยรัด
8	H	ช่วยเชื่อมประสาน			

ตารางที่ 6 การเรียงน้ำหนักหน้าที่หลักจากมากไปน้อย

No.	อักษร	หน้าที่	น้ำหนัก
1	C	ช่วยยึดตำแหน่ง	21
2	D	ช่วยต่อกัน	20
3	G	ช่วยการยึดเกาะ	19
4	F	ต้านทานแรงดึง	17
5	E	ป้องกันการกระแทก	15
6	A	ให้ตำแหน่ง	8
7	B	ช่วยประคอง	7
8	J	คลายการประกอบ	4
9	I	ทำให้สะดวกดึง	2
10	H	ช่วยเชื่อมประสาน	1
11	O	ช่วยรัด	0

ตารางที่ 7 การประเมินสัดส่วนหน้าที่ ต้นทุนและคุณค่า

อักษร	น้ำหนัก	%น้ำหนักฟังก์ชั่น (F)	ต้นทุน (บาท)	%ต้นทุน (C)	Value V= F/C
C	21	0.18	13.36	0.13	1.38
D	20	0.18	13.96	0.14	1.26
E	19	0.17	23.78	0.24	0.70
G	17	0.15	9.82	0.10	1.53
F	15	0.13	12.38	0.12	1.07
A	8	0.07	8.73	0.09	0.81
B	7	0.06	8.73	0.09	0.71
J	4	0.04	5.26	0.05	0.67
I	2	0.02	1.88	0.02	0.94
H	1	0.01	1.88	0.02	0.47
O	0	0.00	0.66	0.01	0.00
รวม	114.00	1.00	100.44	1.00	9.53

ตารางที่ 8 การจัดกลุ่มชิ้นส่วนที่จะปรับปรุง

อักษร	หน้าที่	ชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง	น้ำหนักฟังก์ชั่นรวม (F)	%น้ำหนักฟังก์ชั่นรวม
C	ช่วยยึดตำแหน่ง	Insert Clip/ Bolt	21	0.23
D	ช่วยต่อกัน	Insert Clip/ Bolt/ Screw	20	0.22
E	ช่วยการยึดเกาะ	Insert Clip/ Bolt/ Screw	19	0.21
G	ต้านทานแรงดึง	Tape A, B, C, D/ Tape Lamp A	17	0.18
F	ป้องกันการกระแทก	Tape A, B, C, D/ Tape Lamp A/ Protector/ Felt	15	0.16
		รวม	92	1.00

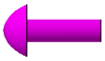
3.5 สร้างสรรค์ความคิด (Creation phase)

การสร้างสรรค์ความคิดหลังจากที่ได้วิเคราะห์หน้าที่หลักของชิ้นส่วนต่าง ๆ แล้วดังรูปที่ 1 เพื่อพิจารณาปรับปรุงดังต่อไปนี้

วัสดุเดิม

1 Bolt (M6) black zinc

Screw-tapping (M5,L=10)



3 Tape spoiler A (t=1.6 W=8.0 L=517)

4 Tape spoiler B (t=1.6 W=8.0 L=465)

5 Protector (t=2.0 W=30 L=30)

6 Felt (t=0.9 W=23 L=125)

วัสดุที่นำมาใช้แทน

1 Bolt (M6) white zinc

2 Screw-tapping (M5,L=8)

3 Tape spoiler B (t=1.6 W=8.0 L=465)

4 Tape spoiler C (t=1.6 W=8.0 L=115)

5 Tape spoiler D (t=1.6 W=8.0 L=80)

6 Tape lamp A (t=1.6 W=8.0 L=45)

7 Tape spoiler C (t=1.6 W=8.0 L=115)

8 Tape spoiler D (t=1.6 W=8.0 L=80)

9 Tape lamp A (t=1.6 W=8.0 L=45)

10 Tape lamp A (t=1.6 W=8.0 L=45)

11 Tape spoiler C (t=1.6 W=8.0 L=115)

รูปที่ 1 แนวคิดสร้างสรรค์

พบว่ามีเพียง สอง Function คือ Function ช่วยยึดตำแหน่ง และFunction ช่วยการยึดเกาะที่ไม่ติดเงื่อนไขทางเทคนิค(ข้อกำหนดที่ไม่สามารถแก้ไขได้) จึงเสนอรูปแบบการสร้างสรรค์ 3 แบบ คือ

แบบที่ 1 เปลี่ยน Bolt (m6)black zinc ที่นำเข้าจากต่างประเทศเป็น Bolt(m6)white zinc ที่ผลิตภายในประเทศ

แบบที่ 2 เปลี่ยนจาก Tape spoiler A (t=1.6 W=8.0 L=517 mm.) 2 ชิ้น มาเป็น Tape spoiler B (t=1.6 W=8.0 L=465 mm.) 1 ชิ้น

แบบที่ 3 รวมแนวคิดที่ 1และ 2 ทำให้มีต้นทุนใหม่ของทั้ง 3 แบบเท่ากับ847.87 บาท 859.96 บาทและ 840.92 ตามลำดับต่อจาก นั้นทำการประเมินผลแนวความคิดของผลิตภัณฑ์โดยใช้ AHP ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาตัดสินใจ คือ ต้นทุน(A) ความแข็งแรง(B) และความเหมาะสมของการใช้งาน(C) โดยพิจารณาจากความต้องการของลูกค้าและหน้าที่ของการใช้งาน ส่วนการเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยใช้ระดับความสำคัญ 1- 9 โดย 9 หมายถึงสำคัญที่สุดได้ผล ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบลำดับความสำคัญของเกณฑ์

ปัจจัย	A	B	C
A	1	9	7
B	1/ 9	1	1/ 3
C	1/ 7	3	1
ผลรวม	1.25	13.00	8.78

จากนั้นคำนวณหาค่า Eigen value ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ค่า Eigen value

ปัจจัย	A	B	C	รวม (Ki)	Eigen value (Ri)
A	0.80	0.69	0.80	2.29	0.76
B	0.09	0.08	0.09	0.25	0.08
C	0.11	0.23	0.11	0.46	0.15
รวม	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00

หลังจากการคำนวณหาค่า Eigen Value จะเห็นได้ว่าค่าน้ำหนักของต้นทุนมีความสำคัญที่สุด และสามารถคำนวณหาค่า Substitution factor selection index (SFSI) ด้วยสมการ SFSI = 0.76A+0.08B+0.15C

โดยทีมงานวิศวกรรมจะให้คะแนนแก่ปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดของแต่ละทางเลือกตามตารางแปลงค่าของ Raymond,2001[7]

ด้วยเกณฑ์ดังนี้

ระดับความสำคัญมากที่สุดเท่ากับ	1.000
ระดับความสำคัญปานกลางเท่ากับ	0.667
ระดับความสำคัญน้อยเท่ากับ	0.333
ไม่มีระดับความสำคัญเท่ากับ	0.000

ซึ่งทำให้ได้ผลสรุปค่า SFSI ดังตารางที่ 11 ของ Substitution factor selection index ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สรุปค่าSubstitution factor selection index ทั้ง 3 แบบ

ลำดับ	Design	A	B	C	SFSI
		0.76	0.08	0.15	
1	1	0.667	0.667	0.667	0.668
2	2	0.333	0.667	0.333	0.362
3	3	1.00	0.667	0.667	0.922

จากตารางที่ 11 แบบที่ 3 เป็นแบบที่ดีที่สุด จึงตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูล (Consistency ratio)[4] ดังสมการ ดังนี้

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{ki}{ri}}{n} = \frac{9}{3} = 3 \qquad (1)$$

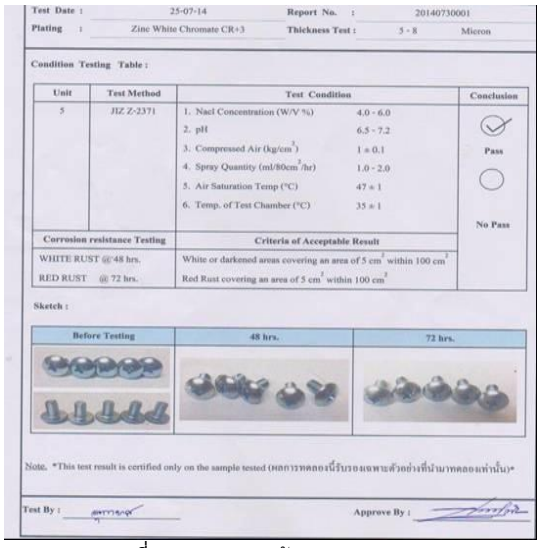
$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = \frac{3 - 3}{3 - 1} = 0 \qquad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0 \qquad (3)$$

จากการตรวจสอบ Consistency ratio ≤ 0 มีความสอดคล้องกันจึงสามารถสรุปได้ว่าแนวความคิดแบบที่ 3 สามารถใช้เกณฑ์เกี่ยวกับต้นทุนได้

3.6 ขั้นทดสอบและพิสูจน์ (Investigation phase)

ในการนำเสนอการเปลี่ยนแปลง Bolt (M6) black zinc ที่นำเข้าจากต่างประเทศเปลี่ยนมาใช้ Bolt (M6) white zinc ที่ผลิตภายในประเทศจากผลการทดสอบตามข้อกำหนด JIZ Z-2371 ของลูกค้าทั้งหมด 6 หัวข้อ ผลการทดสอบผ่านตามข้อกำหนดโดยอ้างอิงผลการทดสอบในรูปที่ 2


Test Date : 25-07-14 Report No. : 20140730001
Plating : Zinc White Chromate CR+3 Thickness Test : 5 - 8 Micron

Condition Testing Table :

Unit	Test Method	Test Condition		Conclusion
5	JIZ Z-2371	1. Nacl Concentration (W/V %)	4.0 - 6.0	Pass
		2. pH	6.5 - 7.2	
		3. Compressed Air (kg/cm²)	1 ± 0.1	
		4. Spray Quantity (ml/80cm²/hr)	1.0 - 2.0	
		5. Air Saturation Temp (°C)	47 ± 1	
		6. Temp. of Test Chamber (°C)	35 ± 1	No Pass
Corrosion resistance Testing		Criteria of Acceptable Result		
WHITE RUST @48 hrs.		White or darkened areas covering an area of 5 cm² within 100 cm²		
RED RUST @ 72 hrs.		Red Rust covering an area of 5 cm² within 100 cm²		

Sketch :

Before Testing	48 hrs.	72 hrs.

Note. *This test result is certified only on the sample tested (ผลการทดลองนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่นำมาทดลองเท่านั้น)*

Test By : Approve By :

รูปที่ 2 ผลการผ่านข้อกำหนด JIZ Z-2371

ส่วนชิ้นส่วนTape spoiler A (t=1.6 W=8.0 L=517) เป็น Tape spoiler B (t=1.6 W=8.0 L=465) มีการนำชิ้นงานตรวจสอบ Checking fixer (C/ F) ผลการตรวจสอบไม่พบปัญหาช่องว่างระหว่างชิ้นงาน Checking fixer (C/ F) เป็นอันสรุปว่าแบบที่ 3 สามารถทดแทนรูปแบบเดิมได้ ผลการปรับปรุงทำให้ต้นทุนลดลงได้ 25.99บาท ซึ่งยังต่ำกว่าค่าเป้าหมายอยู่ 7.49 บาทดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12เปรียบเทียบต้นทุนระหว่างแบบเดิมและแบบที่ 3

รายการ	ต้นทุนชิ้นงานแบบเดิม (บาท)	ต้นทุนชิ้นงานแบบเดิม (บาท)
1. ค่าชิ้นส่วนประกอบ	866.91	840.92
2. ค่าโสหุ้ยการผลิต+ค่าแรงงาน	249.09	249.09
3. ต้นทุนรวม	1,116	1,090.01
4. ผลต่าง	-	25.99
5. เป้าหมายลดลง 3%	33.48	

จากการทดแทนกระบวนการประกอบรูปแบบเดิมด้วยชิ้นส่วนในแบบที่ 3 นอกจากสามารถลดต้นทุนในส่วนของค่าวัสดุแล้วยังสามารถลดต้นทุนในส่วนค่าแรงจากเทปสปอยเลอร์ของแบบที่ 3 สั้นกว่าแบบเดิมทำให้เวลาติดตั้งทำได้คล่องตัวกว่าเดิม(การควบคุมระดับของเทปง่ายกว่าเดิม)ส่งผลให้เวลามาตรฐานลดลงจากเดิม

307.24 วินาที ลงมาอยู่ที่ 278.30 วินาที (ค่าแรงต่อวันเท่ากับ 300 บาท) ทำให้สามารถลดต้นทุนลงได้อีก 2.31 บาท/ชิ้น และค่าพัสดุคงคลังที่ลดลงจากการสั่งซื้อภายในประเทศ ส่งผลให้ต้นทุนพัสดุคงคลังทั้งปีลดลงจาก 26,420.50 บาทเหลือ 1909.24 บาท ลดลง 24ม511ใ26 บาทดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบค่าพัสดุคงคลังแบบเดิมและแบบใหม่

รายการ	แบบเดิม	แบบใหม่
1. ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดรายจ่ายที่สุด (ชิ้น)	5,000	3,471
2. จำนวนครั้งในการสั่งซื้อ (ครั้ง)	6	9
3. ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ (บาท)	120.50	173.57
4. ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (บาท)	26,300.00	1,735.67
5. ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	26,420.50	1,909.24
6. ผลต่าง (บาท)	-	24,511.26

เมื่อปริมาณความต้องการ Bolt (M 6) ของทุกรุ่นต่อปีเท่ากับ 32,134 ชิ้นแล้ว ทำให้สามารถลดต้นทุนค่าพัสดุคงคลังลงได้อีก 24,511.26/ 32,134 =0.76 ต่อชิ้น ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนได้ทั้งหมดเท่ากับ 29.06 บาทต่อชิ้น คิดเป็น 2.6% และได้รับการยอมรับของบริษัทที่ว่าจ้าง แม้ว่ายังไม่ได้ตามเป้าหมายสูงสุดคือ 3% ก็ตาม

4.สรุปผลการวิจัย

จากการประยุกต์ใช้วิศวกรรมคุณค่าที่มุ่งทดแทนชิ้นส่วน 2 อย่างคือ Bolt(M6) black zinc ที่นำเข้าจากต่างประเทศ เปลี่ยนมาใช้ Bolt (M6) white zinc ที่ผลิตภายในประเทศ และ Tape spoiler A (t=1.6 W=8.0 L=517) เป็น Tape spoiler B (t=1.6 W=8.0 L=465) ส่งผลให้สามารถลดค่าวัสดุได้ 25.99 บาท/ชิ้น ค่าแรงได้ 2.31บาท/ชิ้น และค่าพัสดุคงคลังต่อชิ้นได้ 0.76 บาท/ชิ้น รวมทั้งหมดเท่ากับ 29.06บาท/ชิ้นคิดเป็นเปอร์เซนต์เท่ากับ 2.60% เป็นไปตามเป้าหมายแม้ยังต่ำกว่าค่าเป้าหมายสูงสุดที่ 3%

เอกสารอ้างอิง

[1] ธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ, อำนาจเจริญ อินทดก การเพิ่มผลผลิตด้วยเทคนิคการซ่อมบำรุงเครื่องจักร, การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2557

[2] วันชัย ริจิรวนิช. ,การศึกษาการทำงาน: หลักการและกรณีศึกษา,กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2555

[3] อัมพิกา ไกรฤทธิ์, วิศวกรรมคุณค่า, กรุงเทพฯ: ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551

[4] เลิศชัย ระตะนะอาพร, การบริหารวิศวกรรมคุณค่า, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550

[5] เถลิง พลเจริญ,สุรเชษฐ์ บางเมืองม การลดต้นทุนโดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า. กรณีศึกษา เครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์,วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธนบุรี.2555

[6] นฤมล กูลศิริศรีตระกูล ,สมโภชน์ กูลศิริศรีตระกูล. การจัดการทรัพยากรโดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า. กรณีศึกษาเครื่องกลั่นน้ำมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.2554

[7] Raymond, H.L. Using Analytic Hierarchy Process Method to Prioritize Human Resource in Substitution Problem, Griffith ,America, 2001

การวิเคราะห์ต้นทุน โดยใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรมในอุตสาหกรรมผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

Cost Analysis Using Activity-Based-Costing In the Drinking Water Industry

สนธยา ภมรสูต* กาญจนา กาญจนสุนทร
สาขาวิชาวิศวกรรมธุรกิจ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400 E-mail: Sontaya.namfon@gmail.com*

Sontaya Bhamorasuta*, Kanchana Kanchanasuntorn
Department of Business Engineering, Graduate School, University of the Thai Chamber of Commerce,
Dindang, Bangkok, 10400, E-mail: Sontaya.namfon@gmail.co.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และนำเสนอแนวทางในการลดต้นทุน โดยใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรมในอุตสาหกรรมผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด ที่ครอบคลุมกิจกรรมการผลิต ไปจนกระบวนการส่งมอบสินค้า เนื่องจากข้อมูลในปัจจุบันพบว่า ค่าใช้จ่ายการผลิตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของต้นทุนทั้งหมดขององค์กร โดยพบว่ามีอัตราส่วนอยู่ที่ร้อยละ 26.07 ซึ่งต้นทุนในส่วนนี้สามารถนำมาวิเคราะห์ และทำการจัดสรรอย่างถูกต้อง เพื่อให้การวิเคราะห์โครงสร้างต้นทุนสามารถสะท้อนถึงต้นทุนที่แท้จริง ของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้ ในงานวิจัยนี้ได้นำระบบต้นทุนฐานกิจกรรมเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และจัดสรรต้นทุน โดยขั้นตอนประกอบด้วยการวิเคราะห์ผังกระบวนการทางธุรกิจ เพื่อศึกษากิจกรรมที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์ตัวผลักดันต้นทุนที่เหมาะสม การกระจายต้นทุนค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าใช้จ่ายการผลิตเข้าสู่กิจกรรมต่างๆ และการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของแต่ละกิจกรรม

ผลจากการศึกษาพบว่า สามารถแบ่งกิจกรรมทั้งหมดของบริษัทออกเป็น 7 กิจกรรมหลัก และ 30 กิจกรรมย่อย ซึ่งจากการคำนวณต้นทุนตามฐานกิจกรรมนั้น ผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่า กิจกรรมที่มีต้นทุนสูงที่สุด คือ กระบวนการส่งมอบสินค้า โดยมีสัดส่วนถึงร้อยละ 40.66 ของต้นทุนทั้งหมด ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ต้นทุน ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการส่งมอบสินค้า โดยการนำเสนอแนวทางการวางแผนการจัดส่งสินค้าและปรับปรุงเส้นทางขนส่งสินค้า โดยนำวิธีการส่งมอบสินค้าแบบระบบรถส่งนม (Milk Run) เข้ามาใช้ จากการวิเคราะห์ผลการปรับปรุงตามแนวทางดังกล่าว คาดว่าจะสามารถลดระยะทางในการส่งมอบสินค้าลงได้ร้อยละ 63.15 ต่อปี และจะสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการส่งมอบสินค้าลงได้ ประมาณ 92,405.28 บาท ต่อปี นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงที่เป็นไปได้อื่นๆ เพื่อลดต้นทุนให้กับองค์กรอีกด้วย

คำหลัก ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม, การลดต้นทุน, อุตสาหกรรมผลิตน้ำดื่ม

Abstract

This research study aimed to analyze and recommend ways to reduce costs using. Activity-Based Costing System in the Bottled Drinking Water Industry. The research covered the activities from those related to the production process to delivery process. As the current data showed that one of the major component in the cost structure is the factory overhead cost was is 26.07%, so this cost should be analyzed and allocated with more accuracy ratio in order to reflect the actual costs for each product.

This research led Activity-Based Costing system to assist in the analysis and cost allocation. The business process flow, company's activities, and the appropriate cost driver were analyzed and the overhead costs are distributed to each activities. Then the unit cost of each activities was calculated. The result was found that the company's activities can be divided into 7 main activity with the 30 subsidiaries of Activity-Based Costing activity. The results can be summarized as that the highest cost activity was the delivery process cost, representing 40.66% of the total cost. As a results, we have proposed the approach to reduce this cost by improving transportation routes. The method of delivery of the vehicle delivering milk (Milk Run) was used to improve the results. With such an approach, we expected to reduce the distance to deliver the goods by approximately 63.15% per year, and it can reduce the cost of delivering goods with an estimated 92,405.28 baht per year. In addition, the possible improvements are also proposed in such the way that the company can reduce its cost.

Keywords: Activity - Based Costing, Cost Reduction, Drinking Water Industry

1. บทนำ

ในปัจจุบันในแต่ละองค์กร ให้ความสำคัญกับเรื่องต้นทุนการผลิตเป็นอย่างมาก เนื่องจากต้นทุนเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยแสดงผลการดำเนินการหรือประสิทธิภาพขององค์กรได้ หากข้อมูลต้นทุนมีรายละเอียดชัดเจนและถูกต้องจะสามารถช่วยให้ผู้บริหารนำมาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์หรือตัดสินใจทางด้านต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงนำระบบต้นทุนฐานกิจกรรมมาใช้ในการคำนวณต้นทุนเพื่อให้ทราบถึงต้นทุนที่แท้จริงที่เกิดขึ้น ในกระบวนการผลิตและการส่งมอบสินค้า เพื่อทำให้ทราบถึงสาเหตุที่เกิดต้นทุนที่แท้จริง และนำมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้สามารถใช้ต้นทุนให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บริษัทในกรณีศึกษาวิจัยครั้งนี้ จดทะเบียนการค้าประกอบธุรกิจผลิตและจำหน่ายน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตรา "เบสท์" ซึ่งทางบริษัทนำเทคโนโลยี เครื่องมือ เครื่องจักร และระบบการผลิตน้ำดื่มที่มีคุณภาพและมาตรฐาน โดยผลิตภัณฑ์ของทางบริษัทนั้นได้ผ่านการรับรองมาตรฐานจากทางสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.)

ในปัจจุบัน สินค้าที่ผลิตภายใต้การดำเนินการของบริษัทฯ ได้แก่

1.1 ขวดชนิดพลาสติกใส ขนาด 600 มิลลิลิตร
1.2 ขวดชนิดพลาสติกใส ขนาด 600 มิลลิลิตร (แบบบาง)
1.3 ขวดชนิดพลาสติกใส ขนาด 1500 มิลลิลิตร

จากการวิจัยข้อมูลในอดีตของบริษัทกรณีศึกษานั้น พบปัญหาจากการคำนวณต้นทุน โดยทางบริษัทไม่ทราบต้นทุนที่แท้จริงในระบบการผลิต และการส่งมอบสินค้าจนถึงกระทั่งสินค้ามือลูกค้า (Cost To Serve) จึงไม่สามารถวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของราคาขายสินค้าในปัจจุบัน และสินค้าใหม่ในอนาคต ซึ่งส่งผลต่อการขาดความถูกต้องของข้อมูลในอดีต เพื่อนำมาวิเคราะห์ทิศทาง และปรับปรุงกระบวนการผลิต และการส่งมอบสินค้าในปัจจุบันและอนาคต

2. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาค้นคว้าเรื่องการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและการส่งมอบสินค้า โดยใช้ระบบแนวคิดตามระบบการคำนวณต้นทุนฐานกิจกรรม ซึ่งเป็นระบบแนวคิดของระบบการบริหารต้นทุนแบบใหม่ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายให้ผู้บริหารหันมาให้ความสนใจกับการบริหารกิจกรรม และต้นทุนที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงมีการบริหารโดยแบ่งออกเป็นกิจกรรมต่างๆ และถือว่ากิจกรรมเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดต้นทุน ส่วนผลิตภัณฑ์นั้นเป็นสิ่งที่ใช้กิจกรรมต่างๆ อีกทีหนึ่ง กิจกรรมคือ การกระทำที่เปลี่ยนทรัพยากรของกิจการออกมาเป็นผลผลิตได้ ดังนั้นการบัญชีต้นทุนกิจกรรมนอกจากเน้นการระบุกิจกรรมของกิจการแล้ว ยังพยายามระบุต้นทุนของกิจกรรม เพื่อใช้ในการคำนวณต้นทุนผลิตภัณฑ์ และเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพในการดำเนินงาน ซึ่งในการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรมมักนิยมอย่างแพร่หลาย จึงนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย

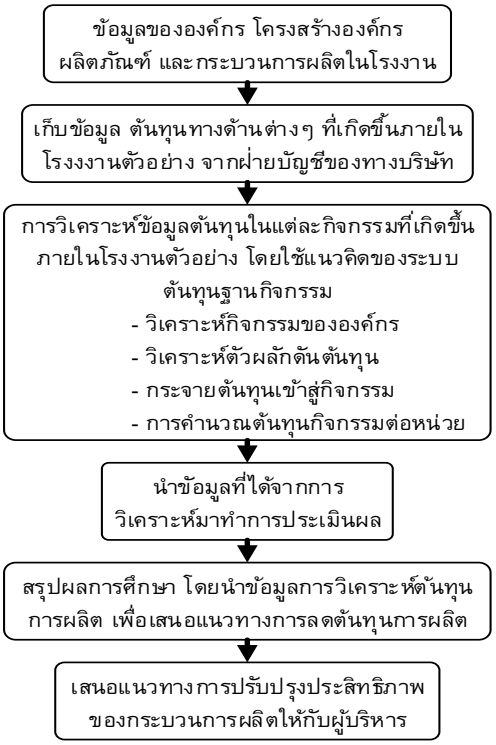
จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่า ระบบต้นทุนได้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง อาทิเช่น มีการศึกษาวิธีการจัดสรรค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเป็นแบบต้นทุนตามกิจกรรม [1] ได้ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงพบว่า การปันส่วนต้นทุนทางอ้อมไม่เหมาะสม ซึ่งควรปรับปรุงซึ่งเมื่อได้ทำการปรับปรุงแล้ว ทำให้บางผลิตภัณฑ์มีกำไรขั้นต้นลดลง บางผลิตภัณฑ์มีขาดทุนขั้นต้นก่อนการหักต้นทุนรวม นอกจากนี้ ยังมีกิจกรรมที่เพิ่มมูลค่าโดยคิดเป็น 39.34% ของกิจกรรมทั้งหมด และกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า 60.66% ของกิจกรรมทั้งหมด และพบว่าต้นทุนที่ไม่ได้นำมาคำนวณ เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเบี้ยประกัน ค่าบำรุงรักษา ค่าเช่าอาคาร ซึ่งเสนอให้นำมาคำนวณด้วย เพื่อเป็นข้อกำหนดในการตั้งราคาขายหรือเพื่อนำมาบริหารต่อไป

นอกจากนี้ยังมีการทำวิจัย การศึกษาต้นทุนการผลิตในแผนกการฉีดอะลูมิเนียมโดยใช้ต้นทุนฐานกิจกรรมโดยวิเคราะห์ต้นทุนค่าโสหุ้ย และคำนวณต้นทุนค่าโสหุ้ยของผลิตภัณฑ์ และเปรียบเทียบต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้ระหว่างวิธีคิดแบบเดิม และวิธีคิดแบบระบบต้นทุนฐานกิจกรรม [2] ซึ่งจากการเก็บข้อมูลพบว่าต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิตของแผนกการฉีดอลูมิเนียมในแม่พิมพ์มีสัดส่วนถึง 81.19% โดยในการปันส่วนค่าโสหุ้ยเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันนั้น พบว่ามีเกณฑ์ในการปันส่วนคือ จำนวนเวลาแรงงานทางตรง และเวลา 1 รอบการผลิต ซึ่งไม่ได้สะท้อนการใช้ทรัพยากรจริง ทำให้ต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้ไม่เป็นไปตามความต้องการใช้ทรัพยากรจริง และซึ่งเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิตที่คำนวณด้วยระบบต้นทุนกิจกรรมกับต้นทุนค่าโสหุ้ยผลิตภัณฑ์ที่คำนวณด้วยวิธีเดิม พบว่า ผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด มีค่าโสหุ้ยลดลง และผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด มีต้นทุนเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่คำนวณด้วยวิธีแบบเดิม และทำการวิเคราะห์กิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า และกิจกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่า โดยพิจารณาการปรับลดกิจกรรมที่มีต้นทุนกิจกรรมสูง ว่าควรปรับลดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า ไว้เป็นแนวทางในการปรับลดต้นทุนไว้ด้วย นอกจากนี้ยังมีการใช้ระบบต้นทุนกิจกรรมเป็นแนวทางในการลดต้นทุนการผลิต [3] โดยใช้เพื่อศึกษาแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตในธุรกิจผลิตน้ำตาลทรายขนาดกลาง โดยนำมาวิเคราะห์ต้นทุนตามฐานกิจกรรม และทำการวิเคราะห์กิจกรรมในกระบวนการผลิต และคำนวณต้นทุนการผลิตตามระบบต้นทุนฐานกิจกรรม สำหรับโรงงานตัวอย่างจากข้อมูลทางการบัญชี 2 รายการ คือ ค่าแรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายในการผลิต ส่วนการวิเคราะห์คุณค่ากิจกรรม จะทำการวิเคราะห์กิจกรรมที่ได้จากการประยุกต์ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม ซึ่งแบ่งออกเป็นกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า และเพิ่มมูลค่า โดยผลการวิจัยพบว่า การประยุกต์ต้นทุนตามฐานกิจกรรมนั้น ทำให้ได้ข้อมูลต้นทุนการผลิตที่มีความสอดคล้องกับกระบวนการผลิต เมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณต้นทุนการผลิตตามระบบต้นทุนแบบเดิม กรณีคำนวณต้นทุนการผลิตโดยไม่รวมค่าเสื่อมราคานั้น พบว่า น้ำตาลทรายดิบมีต้นทุนการผลิตลดลง 6.13 บาทต่อกระสอบ เนื่องจากได้รับการปันส่วนค่าใช้จ่ายการผลิตลดลง และในส่วนของน้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลทรายบริสุทธิ์นั้น พบว่า มีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น จากการได้รับการปันส่วนจากค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 19.38 บาทต่อกระสอบ กรณีคำนวณต้นทุนการผลิตโดยรวมค่าเสื่อมราคา น้ำตาลทรายดิบมีต้นทุนการผลิตลดลง 5.92 บาทต่อกระสอบ เนื่องจากได้รับการปันส่วนค่าใช้จ่ายลดลง น้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์มีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นจากการได้รับการปันส่วนค่าใช้จ่ายการผลิตเพิ่มขึ้น 20.75 บาทต่อกระสอบ นอกจากนี้การวิเคราะห์คุณค่าของกิจกรรมพบว่า กิจกรรมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายนั้น พบว่า เป็นกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า 11.43% ของจำนวนกิจกรรมทั้งหมด ซึ่งเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณา ในการลดการใช้กิจกรรมเหล่านั้น โดยเลือกใช้กิจกรรมอื่นๆ ที่มีต้นทุนน้อยกว่า เพื่อลดต้นทุนการผลิตต่อไป

และนอกจากนี้ ยังมีการศึกษาต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการวิเคราะห์บัญชีต้นทุนกิจกรรม โดยนำมาใช้พัฒนาระบบบัญชีในอุตสาหกรรมพลาสติกและเส้นใย และในอุตสาหกรรมมือถือ [4] ได้ศึกษาแนวคิดการจัดการโซ่อุปทานที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรมของการปฏิบัติของคนในองค์กร ซึ่งพบว่า ผลการวิเคราะห์ต้นทุนกิจกรรมในกระบวนการขนส่งทำให้ทราบต้นทุนที่แท้จริงและนำข้อมูลมาแสดงผลเพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการลดต้นทุนในการขนส่งได้

3. ระเบียบวิธีการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาต้นทุนการผลิตไปจนถึงการส่งมอบสินค้าจนสินค้าถึงมือลูกค้าในอุตสาหกรรมผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด โดยเริ่มจากการนำผังแสดงกระบวนการธุรกิจมาวิเคราะห์กิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในบริษัท และนำต้นทุนค่าโสหุ้ยของทางบริษัทมาทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีคิดระบบต้นทุนฐานกิจกรรม ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงาน แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการศึกษา

4. ผลการศึกษา

การคำนวณต้นทุนตามฐานกิจกรรมนั้น แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน

4.1 การวิเคราะห์กิจกรรมขององค์กร

การวิเคราะห์กิจกรรมโดยวิเคราะห์จากผังกระบวนการทางธุรกิจของทางบริษัท ทำให้ทราบว่ากิจกรรมในส่วนของการผลิตและการส่งมอบสินค้านั้นแบ่งออกเป็น 7 กิจกรรมหลัก และ 30 กิจกรรมย่อย

4.1.1 กระบวนการสั่งซื้อวัตถุดิบ

4.1.2 กระบวนการตรวจสอบวัตถุดิบ

4.1.3 กระบวนการล้างทำความสะอาดขวดบรรจุน้ำ

4.1.4 กระบวนการบรรจุน้ำลงขวด

4.1.5 กระบวนการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

4.1.6 กระบวนการบรรจุแพ็ค

4.1.7 กระบวนการส่งมอบสินค้า

ซึ่งกิจกรรมย่อยสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กิจกรรมหลัก และกิจกรรมย่อย

กิจกรรหลัก		กิจกรรมย่อย
กระบวนการสั่งซื้อวัตถุดิบ	A01	ตรวจสอบคำสั่งซื้อ
	A02	ออกคำสั่งซื้อ
	A03	อนุมัติคำสั่งซื้อ
	A04	ส่งใบคำสั่งซื้อให้ผู้ส่งมอบ
	A05	แจ้งแผนกสต๊อกเตรียมรับวัตถุดิบ
	A06	วางแผนความต้องการวัตถุดิบ
กระบวนการตรวจสอบวัตถุดิบ	B01	รับและตรวจสอบวัตถุดิบ
	B02	จัดเก็บวัตถุดิบเข้าคลังสินค้า
	B03	เคลื่อนย้ายสินค้าบนพาเลต
	B04	ตรวจสอบและเช็คเอกสารจากผู้นำส่งวัตถุดิบ
	B05	บันทึกสินค้ารับเข้า
	B06	ส่งเอกสารรับของให้บัญชี
	B07	ตรวจสอบวัตถุดิบคงเหลือ
	B08	ทำความสะอาดสถานที่เก็บสินค้า
กระบวนการล้างทำความสะอาดขวดบรรจุน้ำ	C01	ล้างทำความสะอาดขวดน้ำ
	C02	จัดเรียงขวดน้ำรอบรรจุ
กระบวนการบรรจุน้ำลงขวด	D01	บรรจุลงขวด
	D02	ปิดฝา
	D03	หุ้มซีลฝา
	D04	จัดเรียงสินค้ารอตรวจสอบ
กระบวนการตรวจสอบคุณภาพน้ำ	E01	ตรวจสอบคุณภาพน้ำ
	E02	ปรับปรุงคุณภาพน้ำ
กระบวนการบรรจุแพ็ค	F01	หุ้มซีลแพ็ค
	F02	จัดเรียงสินค้า
	F03	ตรวจนับสินค้า
	F04	จัดเก็บสินค้าเข้าคลัง
กระบวนการส่งมอบสินค้า	G01	ตรวจสอบสินค้าตามคำสั่งซื้อ
	G02	วางแผนการจัดส่งสินค้า
	G03	ยกสินค้าขึ้นรถขนส่ง
	G04	ส่งสินค้าให้ลูกค้า

4.2 การวิเคราะห์ตัวผลักดันต้นทุน

การกำหนดตัวผลักดันต้นทุน คือปัจจัยหรือสาเหตุที่ทำให้ต้นทุนรวมของกิจกรรมเปลี่ยนแปลงไป จะพิจารณาจากการกำหนดตัวปันส่วนต้นทุนจากกิจกรรมไปสู่สิ่งที่ต้องการจะคำนวณต้นทุน โดยรายละเอียดการกำหนดตัวผลักดันต้นทุนที่เหมาะสม โดยสรุปตัวผลักดันต้นทุนของบริษัท แสดงได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวผลักดันต้นทุน

กิจกรรหลัก	ตัวผลักดันต้นทุน
กระบวนการสั่งซื้อวัตถุดิบ	จำนวนครั้ง
กระบวนการตรวจสอบวัตถุดิบ	จำนวนครั้ง
กระบวนการล้างทำความสะอาดขวดบรรจุน้ำ	จำนวนชั่วโมงการทำงาน
กระบวนการบรรจุน้ำลงขวด	จำนวนชั่วโมงการทำงาน
กระบวนการตรวจสอบคุณภาพน้ำ	จำนวนครั้ง
กระบวนการบรรจุแพ็ค	จำนวนชั่วโมงการทำงาน
กระบวนการส่งมอบสินค้า	จำนวนครั้งในการส่ง

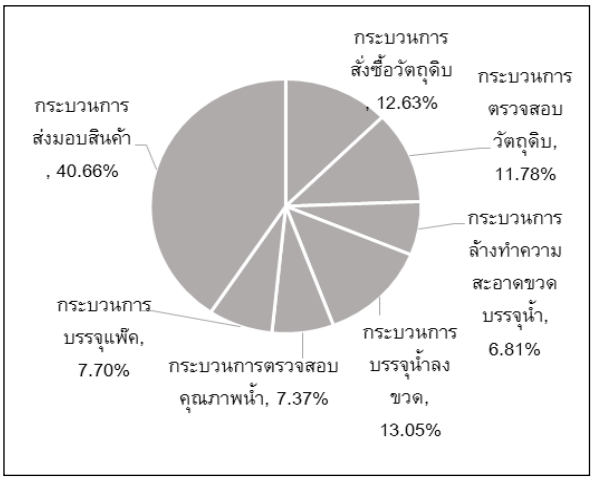
4.3 การกระจายต้นทุนเข้าสู่กิจกรรม

จากต้นทุนการผลิตทั้งหมดของบริษัทในกรณีศึกษา สามารถแยกตามผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งเป็นค่าวัตถุดิบทางตรง ค่าแรงงานทางตรง และค่าโสหุ้ยการผลิต ซึ่งต้นทุนค่าวัตถุดิบทางตรง รวม 1,511,457.12 บาท ค่าแรงงานทางตรง รวม 237,600 บาท และค่าใช้จ่ายในการผลิต รวม 616,897.96 บาท

สำหรับในส่วนค่าใช้จ่ายในการผลิตนั้น ดำเนินการกำหนดตัวผลักดันทรัพยากรที่สัมพันธ์กับระดับกิจกรรม จึงจะสามารถแสดงค่าใช้จ่ายโดยแบ่งตามกิจกรรมได้ ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ต้นทุนกิจกรรม

ค่าใช้จ่ายการผลิต	ต้นทุนกิจกรรม (บาท)
กระบวนการสั่งซื้อวัตถุดิบ	77,936.10
กระบวนการตรวจสอบวัตถุดิบ	72,667.00
กระบวนการล้างทำความสะอาดขวดบรรจุน้ำ	42,018.61
กระบวนการบรรจุน้ำลงขวด	80,493.81
กระบวนการตรวจสอบคุณภาพน้ำ	45,442.24
กระบวนการบรรจุแพ็ค	47,525.86
กระบวนการส่งมอบสินค้า	250,814.34



รูปที่ 2 สัดส่วนต้นทุนตามกิจกรรม

4.4 การคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของแต่ละกิจกรรม

เมื่อกระจายต้นทุนเข้าสู่กิจกรรมของแต่ละกิจกรรมเรียบร้อยแล้ว จึงนำมาคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของแต่ละกิจกรรมในขั้นตอนสุดท้าย ตามที่ได้กำหนดตัวผลักดันต้นทุนของแต่ละกิจกรรม ซึ่งในขั้นตอนนี้เป็นการคำนวณหาสัดส่วนต้นทุนของกิจกรรมแต่ละกิจกรรมต่อหน่วย

ตารางที่ 4 ต้นทุนกิจกรรมต่อหน่วย

กิจกรรหลัก	ต้นทุน (บาท) (1)	ตัวผลักดันกิจกรรม (2)	ต้นทุนกิจกรรมต่อหน่วย (3) = (1)/(2)
กระบวนการสั่งซื้อวัตถุดิบ	77,936.10	53	1,470.49
กระบวนการตรวจสอบวัตถุดิบ	72,667.00	53	1,371.08
กระบวนการล้างทำความสะอาดขวดบรรจุน้ำ	42,018.61	2,376	17.68
กระบวนการบรรจุน้ำลงขวด	80,493.81	2,376	33.88
กระบวนการตรวจสอบคุณภาพน้ำ	45,442.24	48	946.71
กระบวนการบรรจุแพ็ค	47,525.86	2,376	20.00
กระบวนการส่งมอบสินค้า	250,814.34	190	1,320.08

5. สรุป

จากการศึกษาการวิเคราะห์ต้นทุนตามฐานกิจกรรมนั้น จากผลการศึกษาวิเคราะห์ภาพรวมพบว่า กิจกรรมที่มีต้นทุนสูงที่สุด คือ กระบวนการส่งมอบสินค้า โดยสัดส่วนของต้นทุนกิจกรรมดังกล่าวอยู่ที่ 40.66% และกระบวนการบรรจุน้ำลงขวด สัดส่วนต้นทุนอยู่ที่ 13.05% กระบวนการสั่งซื้อวัตถุดิบ สัดส่วนต้นทุนอยู่ที่ 12.63% กระบวนการตรวจสอบวัตถุดิบ สัดส่วนต้นทุน 11.78% กระบวนการบรรจุแพ็ค สัดส่วนต้นทุน 7.70% กระบวนการตรวจสอบคุณภาพน้ำ สัดส่วนต้นทุน 7.37% กระบวนการล้างทำความสะอาดขวดบรรจุน้ำ สัดส่วนต้นทุน 6.81% และพบว่าในส่วนกิจกรรมส่งมอบสินค้านั้นมีอัตราส่วนมากที่สุด อยู่ที่ 40.66% ของต้นทุนทั้งหมด

ดังนั้นจึงได้วิเคราะห์แนวทางในการลดต้นทุนของกิจกรรมส่งมอบสินค้า ซึ่งจากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบว่า สาเหตุส่วนใหญ่ที่ส่งผลต่อต้นทุนการส่งมอบสินค้าที่สูงนั้น คือการขาดการวางแผนการขนส่ง จึงขอนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยการนำระบบรถส่งนม (Milk Run) เป็นตัวกำหนดเส้นทางเดินรถในการส่งมอบสินค้าเข้ามาใช้ พบว่า จะสามารถลดระยะทางในการส่งมอบสินค้าลงมาได้ประมาณ 63.15% ต่อปี ซึ่งพบว่าจะสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการส่งมอบสินค้าลงได้ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วนั้น จะสามารถลดต้นทุนในส่วนของอัตราค่าน้ำมันได้ จากเดิม 250,814.34 บาท ต่อปี ลดลงประมาณ 92,405.28 บาท ต่อปี คงเหลืออยู่ที่ 158,409.06 บาท ต่อปี ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนที่ลดลง เท่ากับ 36.84% ต่อปี

ทั้งนี้ผู้วิจัย จึงขอเสนอแนวทางเพิ่มเติม โดยการนำข้อมูลกิจกรรมที่ได้ จากการคำนวณต้นทุนฐานกิจกรรมมาวิเคราะห์กิจกรรมที่สามารถปรับปรุงได้ และกิจกรรมที่ไม่สามารถปรับปรุงได้ ซึ่งเป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่สามารถนำมาเป็นแนวทางในการลดต้นทุนที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรม เพื่อลดความสูญเปล่าที่จะเกิดขึ้น โดยนำเสนอแนวทางการแก้ไข อาทิเช่น ในกระบวนการสั่งซื้อนั้น มีกิจกรรมที่เป็นกิจกรรมที่สามารถปรับปรุงได้ คือ กิจกรรมตรวจสอบใบสั่งซื้อ วางแผนความต้องการวัตถุดิบ และแจ้งแผนกคลังสินค้าเตรียมรับวัตถุดิบ นั้นจะสามารถปรับปรุงแก้ไขโดยแก้ไขที่ระบบภายในของทางบริษัทเอง โดยการปรับปรุงแก้ไขของในส่วนมาตรฐานการในการสั่งซื้อสินค้า ซึ่งเสนอแนวทางโดยการนำเสนอแบบฟอร์มในการสั่งซื้อ เพื่อลดขั้นตอนในการตรวจสอบใบสั่งซื้อ และในส่วนของกิจกรรม วางแผนความต้องการวัตถุดิบ และแจ้งแผนกคลังสินค้าเตรียมรับวัตถุดิบนั้น หากทางบริษัท มีการปรับปรุงแก้ไขในส่วนของ ในการอัพเดทสินค้าคงคลัง และการทำฐานข้อมูลที่เป็นข้อมูลกลาง ก็จะสามารถลดกิจกรรมดังกล่าวได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย และสาขาวิชาวิศวกรรมธุรกิจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย นอกจากนี้ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของบริษัทกรณีศึกษาที่ให้ความร่วมมือ คำแนะนำ คำปรึกษา ในเรื่องข้อมูลด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ชิดชนก ศิริสุนทรอนันต์, (2542).การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงวิธีการจัดสรรค่าใช้จ่ายในการผลิตเข้าเป็นต้นทุนผลิตภัณฑ์จากวิธีการอัตราเดียวเป็นต้นทุนตามกิจกรรม.การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง. ภาควิชาบัญชีวางแผนและควบคุม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] ดารารัตน์ ปัญกัณฑ์ม, (2552). การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตในแผนกการฉีดอะลูมิเนียม โดยระบบต้นทุนกิจกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[3] วาสนา วิทยาเกรียติเลิศ, (2546). การประยุกต์การบริหารฐานกิจกรรมในธุรกิจผลิตน้ำตาลทรายขนาดกลาง. บัญชีมหาบัณฑิตย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] เตชินี บุญรัตน์, ระวิวรรณ จึงวัชกุล. (2550). การวิเคราะห์ต้นทุนในกระบวนการขนส่งสินค้าและแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพการขนส่ง. ศึกษากรณีศูนย์กระจายสินค้า บริษัท ดีเอชแอล เอ็กเซล ซัพพลายเชน ประเทศไทย. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. วิทยาลัยนวัตกรรมอุดมศึกษา.

การศึกษาประสิทธิภาพการประมวลผลของระบบตรวจสอบด้วยภาพภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุม

A Study of Processing Efficiency of Vision System Under Controlled Environment

อภิชาติ โคตรบุญมี* และ สุจินต์ วุฒิชัยวัฒน์
Apichat Kootbunmee* Sujin Woottichaiwat
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000
E-mail: apichat809@hotmail.com*

บทคัดย่อ

ระบบตรวจสอบด้วยภาพช่วยในการตรวจสอบคุณภาพสินค้า เพื่อแก้ปัญหาทางด้านการขาดแคลนบุคลากรในสายการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ ภายใต้การควบคุมปัจจัยและสิ่งแวดล้อม และพัฒนาเทคนิคการติดตั้งระบบตรวจสอบด้วยภาพในสายการผลิต โดยศึกษาปัจจัยคือ ตำแหน่งการติดตั้งของวัตถุ มุมที่ทำกับวัสดุ ค่าความส่องสว่าง วัสดุที่ใช้ทดสอบ และ ขนาดของอุปกรณ์ขยายภาพ และเครื่องมือที่ผ่านการออกแบบให้สามารถศึกษา ภายใต้การควบคุมสภาวะโดยผลที่คาดว่าจะได้รับคือ สามารถติดตั้งระบบตรวจสอบด้วยภาพประเภทการตรวจจับภาพ จากสื่อสิ่งพิมพ์ให้กลายเป็นอิเล็กทรอนิกส์ (Optical Character Recognition ,OCR) ภายใต้ขอบเขตการศึกษา พัฒนาเทคนิคการติดตั้งระบบตรวจสอบด้วยภาพได้โดยไม่คาดเดาจากการปฏิบัติงานด้วยอุปกรณ์ที่ออกแบบจากการศึกษา โดยผลการศึกษาความสว่างส่งผลกับวัสดุ 3 ชนิดที่ต่างส่งผลให้ การติดตั้งตำแหน่งของวัตถุเปลี่ยนไป โดยมีระดับมุมมองการติดตั้ง และอุปกรณ์กำลังขยายของภาพเพื่อให้สามารถติดตั้งระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Abstract

Vision system is a tool, used for monitoring products' quality in order to solve the problem of inadequate processing line staff. To enhance the efficiency of quality control under controlled factor and environment and to develop quality control installing techniques in processing line, the related factors are studied, which are the installing location, the angle toward material, illuminance level, material testing and size of the magnifying tool. The tool is implemented under the controlled condition by aiming to transform vision system from printed media to optical character recognition, OCR. The study focuses on 2 locations, which are horizontally 90 and 80 degree, through 30, 45 and 60 degree angels with 200, 400 and 800 lux of metal, plastic and paper through the 8 16 25 and 50 millimeters magnifying tool. The study purposes are to develop vision system installing without prediction and enhance the effectiveness of installing system. The result are shown that the installing location affects the illuminance level of environment and changes the angles according to the illuminance level and tested material as well as magnifying tool.

Keywords: Vision System , Image Processing, Optical Character Recognition (OCR)

1. บทนำ

การนำระบบตรวจสอบมาตรฐานการผลิตเข้ามาตรวจสอบผลิตภัณฑ์มีอยู่หลายวิธีในการดำเนินงานโดยปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมได้นำระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision System) [1] มาเป็นเครื่องมือในการช่วยตรวจสอบผลิตภัณฑ์ มีบทบาทในการตรวจสอบคุณภาพ เนื่องจากระบบนี้สามารถตรวจเช็คได้อย่างมีคุณภาพและเป็นมาตรฐาน กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตอยู่ในอุตสาหกรรมการผลิตดังรูปที่ 1 เช่น อุปกรณ์ชิ้นส่วน เพราะระบบมีความแม่นยำ มีความน่าเชื่อถือ สามารถควบคุมคุณภาพได้อย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ระบบยังสามารถตรวจเช็คคุณภาพชิ้นงานได้ตั้งแต่ช่วงแรกๆ ของกระบวนการผลิต ซึ่งบางกระบวนการคนไม่สามารถเข้าไปในพื้นที่นั้นได้ทำให้สามารถคัดแยกชิ้นงานที่เสียออกแต่เนิ่นๆ ไม่ต้องปล่อยให้เสร็จสิ้นกระบวนการถึงจะมีการตรวจเช็ค [2]

รูปที่ 1. ผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการตรวจสอบสติกเกอร์ระบุรายละเอียดเครื่องยนต์ (label Emissions)

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการประมวลผลของระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision System) ภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุมแสงจากภายนอก และไม่เคลื่อนที่ เพื่อนำปัจจัยที่เกี่ยวข้อง มากำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ภายใต้ขอบเขตที่กำหนด

2.เพื่อจัดทำข้อมูลด้านเทคนิคในการติดตั้งระบบประมวลผลของระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision System) ภายใต้สภาวะแวดล้อมควบคุมแสงจากภายนอก และไม่เคลื่อนที่ และนำปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ที่ได้จากการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ภายใต้ขอบเขตการศึกษา ให้มีประสิทธิภาพในการทำงาน

1.2. ขอบเขตของการวิจัย

1.ศึกษาการติดตั้งอุปกรณ์รับภาพตำแหน่งด้านบนชิ้นงานทดสอบ และด้านล่างชิ้นงานทดสอบ โดยด้านบนและด้านล่างของชิ้นงานศึกษาทดลองโดยทำมุม 30 องศา 45 องศา และ 60 องศา โดยชิ้นงานถูกติดตั้งในอุปกรณ์สำหรับทดสอบบริเวณฐานจับยึดที่สามารถปรับตำแหน่งด้านบน และด้านล่างได้

2.ศึกษาความสว่างในห้องทดลองสภาวะควบคุม โดยกำหนดค่าความสว่างจากแหล่งให้แสงสว่างจากหลอดไฟ (Light Source) ตามค่าความสว่าง (Lux) ที่กำหนดคือ 200 (ต่ำกว่ามาตรฐาน), 400 (มาตรฐาน) , 800 (สูงกว่ามาตรฐาน) โดยความสว่างจะถูกวัดด้วยเครื่องมือวัดค่าความสว่าง (Lux Meter รุ่น LX-90) [3]

3.กำหนดวัสดุ 3 ประเภท เป็นตัวอย่างในการทดสอบ คือ อะลูมิเนียม (Aluminium : AL5083) อะคริลิค (Acrylics Sheet : M090) และ กระดาษ (Paper) ที่ใช้ในอุตสาหกรรม โดยมีการกำหนดให้วัสดุทั้ง 3 ประเภท พิมพ์ตัวอักษรแบบเดียวกัน และตัวเลขที่มีลักษณะเดียวกันโดยมีการเปลี่ยนขนาดของตัวอักษรที่พิมพ์ให้มีขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาดคือ ตัวอักษรขนาด 1.5 mm. (ขนาดเล็ก) 2 mm. (ขนาดกลาง) และ 3 mm. (ขนาดใหญ่) แล้วนำมาทดสอบตามขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้

4.กำหนดขนาดของเลนส์ขยายภาพ ที่มีผลต่อการทดสอบ ให้สามารถถ่ายภาพได้ เพื่อนำไปใช้ในการประมวลภาพได้ และสามารถติดตั้งระบบโดยไม่กระทบกับกระบวนการทำงานของพนักงานฝ่ายผลิตโดยมีขนาดของเลนส์ขยายภาพ ที่ขนาด 8, 12, 16, 35 มิลลิเมตร ทั้งหมด 4 ระดับ

5.การทดสอบระบบประมวลผล ของระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision System) ภายใต้ ในสภาวะไม่เคลื่อนที่ และสภาวะปิดภายในห้องควบคุมแสงจากภายนอก โดยใช้เครื่องมือที่ได้จากการพัฒนาและออกแบบมาเพื่อการดำเนินการศึกษา

6.ออกแบบและสร้างเครื่องมือสำหรับการพัฒนาระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision System) ภายใต้การศึกษาที่กำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ให้สามารถนำมาทดสอบใช้ในการศึกษาได้จริง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.สามารถติดตั้งระบบประมวลผล ของระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision System) ประเภทการตรวจจับภาพ จากสื่อสิ่งพิมพ์ให้กลายเป็นข้อความอิเล็กทรอนิกส์ (Optical Character Recognition)ได้ในสภาวะที่กำหนดในการศึกษา และปัจจัยที่เลือกศึกษาได้แก่ ตำแหน่ง ความเข้มแสง ประเภทของวัสดุ เลนส์ขยาย

2.สามารถกำหนดการติดตั้งระบบประมวลผลของระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision System) ได้โดยไม่เสียระยะเวลาในการติดตั้งหน้างานเพื่อทดสอบ และสามารถติดตั้งระบบได้โดยไม่ต้องคาดเดาหน้างานจริง

3.ทำให้ทราบถึงสาเหตุและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการติดตั้งระบบประมวลผล ของระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision System) และทราบข้อมูลทางเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับระบบประมวลภาพ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปพัฒนาเครื่องมือ และระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision System) ต่อไป

4.สามารถขยายผลจากการศึกษานี้เป็นแนวทางในการปรับปรุงหรือพัฒนาระบบที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบในแบบอื่นๆ ได้

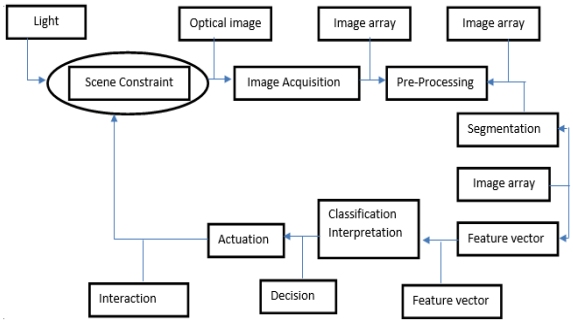
2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่ เกี่ยวข้อง

การศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบหลักการประมวลผลภาพ (Image Processing) เพื่อใช้ในการประมวลผลของระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision system) ต้องอาศัยความรู้พื้นฐานการออกแบบการทดลอง [4] ดังนี้

2.1 การจัดสภาพแวดล้อม (scene constraint)

จุดมุ่งหมายหลักของการจัดสภาพแวดล้อม คือ เพื่อลดความซับซ้อนในการ ประมวลผลให้มากที่สุด ทั้งนี้ก็เนื่องจากความสามารถของการมองเห็นและรับรู้ของอุปกรณ์ประมวลผลมีอยู่อย่างจำกัดเราจึงต้องช่วยลดความยุ่งยากของการประมวลผล มีรายการดังนี้

-การจัดการกับชิ้นงาน
-ระยะห่างระหว่างกล้องหรือเลนส์ถึงวัตถุ
-การจัดการเรื่องแสง
-การดึงข้อมูลภาพ
-การประมวลผลภาพ
-การแยกบริเวณ
-การหาขอบภาพ
-การคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ
-การจำแนกวัตถุและการแปรความหมาย



รูปที่ 2. ผังแสดงลำดับการทำงานของ การประมวลผลของระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision system)

2.2 Optical Character Recognition (OCR)

เป็นกระบวนการของการแปลงสื่อสิ่งพิมพ์ เช่น กระดาษ นิตยาสาร สัญญา หรือข้อมูลอะไรก็ตามที่อยู่ในรูปของเอกสารกระดาษ ให้กลายเป็นเป็นข้อความ หรือให้มีความฉลาดมากขึ้นกว่าการเป็น ข้อความธรรมดา ก็คือสามารถบันทึกไปเป็นไฟล์ประมวลผลคำที่สามารถแก้ไขได้ง่าย และบันทึกเก็บไว้ได้ ด้วยเทคโนโลยีนี้ได้เปิดโอกาสให้สามารถเลือกใช้วัสดุ หรืออุปกรณ์อื่นๆเพื่อใช้ในการสำรองข้อมูล [5]

2.3 การออกแบบวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองนี้เพื่อพัฒนาระบบวิชั่นและสามารถระบุขอบเขตการติดตั้งระบบวิชั่นสำหรบการทำงานที่แตกต่างกัน เพื่อให้ระบบวิชั่น สามารถนำไปใช้ได้กับทุกอุตสาหกรรมที่ต้องการตรวจสอบ OCR เพื่อนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยผลที่ได้จากการศึกษาสามารถสรุปได้เป็นดังนี้

1.สามารถกำหนดตำแหน่งที่สามารถติดตั้งระบบวิชั่นได้ โดยไม่เกิดความผิดพลาดจากการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิต

2.สามารถกำหนดค่าความสว่างและระยะที่สามารถติดตั้งระบบวิชั่นได้ โดยไม่เกิดความผิดพลาด

จากการถ่ายภาพซึ่งความว่างเป็นปัญหาหลักในการถ่ายภาพที่ดี มีคุณสมบัติของภาพที่เหมาะสมเพื่อนำไปประมวลข้อมูล

3.สามารถกำหนดสภาพแวดล้อมที่สามารถติดตั้งระบบวิชั่นได้เมื่อใช้กับวัสดุที่เลือกศึกษาในการทดลอง

3. วิธีการดำเนินงาน

ผู้ศึกษาทำการแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การออกแบบอุปกรณ์สำหรับการทดลอง ส่วนที่ 2 การนำปัจจัยที่กำหนดมาทดลองเพื่อเก็บข้อมูลไปวิเคราะห์ผลการติดตั้งระบบ (Vision system) ส่วนที่ 3 การจัดทำข้อมูลทางเทคนิคสำหรับการติดตั้งระบบภายใต้ของเขตการศึกษา

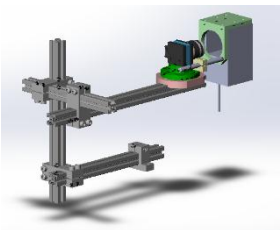
3.1 ส่วนที่ 1 การออกแบบอุปกรณ์การทดลอง

1.สามารถติดตั้งในหน้างานได้ทุกตำแหน่งของเครื่องจักร หรือสายการผลิตโดยออกแบบให้มีคุณสมบัติที่มีน้ำหนักเบาจากโครงสร้างอะลูมิเนียม มีความแข็งแรง หาง่ายในท้องตลาด ประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบประมวลผลของระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision system)

2.สามารถควบคุม และกำหนดทิศทางในการติดตั้งกล้องให้สามารถถ่ายภาพได้ทุกมุม เพื่อความสะดวกในการติดตั้งระบบ

3.ควบคุมระยะห่างระหว่างชิ้นงานที่ได้มาตรฐานในการเก็บข้อมูลที่ได้จากทดลอง

4.สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม และสะดวกในการทดลองดังรูปที่ 3



รูปที่ 3. ขาจับยึดกล้องและแหล่งกำเนิดแสงในการทดสอบ

3.2 ส่วนที่ 2 การศึกษาและการทดลอง

1.ปรับแต่งสถานที่ให้อยู่ในสภาวะปิด โดยสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆได้ เช่น ความสว่างของแสง มีพื้นที่ในการทดสอบ

2.วัดความสว่างของพื้นที่ในการทดสอบเบื้องต้นก่อนการดำเนินการทดสอบเพื่อควบคุมปัจจัยทางด้านแสงสว่างให้ตรงตามที่กำหนดคือ 200, 400, 800 ลักซ์

3.เมื่อทำการวัดค่าความสว่างแล้วเสร็จจึงเริ่มดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ในส่วนที่เหลือที่ใช้ในการทดสอบ คือ ตัวจับยึดปรับระดับชิ้นงาน และชุดจ่ายระบบไฟให้กับชุดกล้องทดสอบและติดตั้งชุดคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลภาพโดยติดตั้งให้หน้าจอ (Monitor) หันออกมาจากชุดกล้องเพื่อป้องกันแสงรบกวน

4.เมื่อทำการติดตั้งระบบประมวลผลของระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision system) แล้วเสร็จจึงเริ่มดำเนินการทดสอบโดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่เลือกใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพระบบประมวลผลของระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision system)

ตัวแปร	ปัจจัย 1	ปัจจัย 2	ปัจจัย 3	ปัจจัย 4	ปัจจัย 5	ปัจจัย 6
ชนิดตัวแปร	ตำแหน่ง	มุมติดตั้ง	ความสว่าง (ลักซ์)	วัสดุที่ตรวจสอบ	ขนาดของแผ่นป้าย	เลนส์
ระดับการศึกษา	ด้านบน	มุมกล้อง 60	800	วัสดุโลหะ	เล็ก	8 mm.
	ด้านล่าง	มุมกล้อง 45	400	วัสดุกระดาษ	กลาง	16 mm.
		มุมกล้อง 30	200	วัสดุพลาสติก	ใหญ่	25 mm.
						50 mm.

5.การทดสอบผู้ศึกษาจะทำการติดตั้งสแตน (Station) ในตำแหน่งที่ผ่านการวัดค่าและควบคุมค่าความสว่างแล้วโดยการติดตั้งจะเริ่มจากการตั้งค่าของตำแหน่ง มุมติดตั้ง ค่าความสว่าง วัสดุที่ตรวจสอบ ขนาดของเลนส์ตามลำดับ โดยสามารถจัดลำดับการทดสอบในแต่ละสภาวะ

6.เมื่อทำการตั้งค่าในแต่ละสภาพแวดล้อมแล้ว

เสร็จดำเนินการเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโดยพิจารณาเป็นเหตุการณ์ที่ทำการทดลองในแต่ละ สภาวะแวดล้อมที่กำหนด

7.นำผลที่ได้จากการทดลองมาสรุปเป็นข้อมูลทางด้านเทคนิคในการติดตั้งระบบประมวลผลของระบบตรวจสอบด้วยภาพ (Vision system)

3.3 ส่วนที่ 3 การจัดทำข้อมูลทางเทคนิคสำหรับการติดตั้งระบบภายใต้ของเขตการศึกษา

การจัดทำข้อมูลทางเทคนิคเพื่อสรุปผลการศึกษาที่ได้จากการทดลอง เพื่อนำข้อมูลไปประกอบการติดตั้งระบบการตรวจสอบด้วยภาพ โดยอยู่ภายใต้ขอบเขตปัจจัยที่กำหนดในการศึกษา

4.ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 อุปกรณ์ที่ผ่านการออกแบบสำหรับการทดลองสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ สามารถทำการทดลองได้ตามวัตถุประสงค์และดำเนินการจนครบจำนวนการทดลอง

4.2 การศึกษาและการทดลองผู้ศึกษาทำการทดลองเป็นจำนวนทั้งหมด 648 ครั้ง โดยการทดลองผู้ศึกษาทำการควบคุมการทดลองโดยกำหนดสภาพแวดล้อมที่เป็นปัจจัยในการทดลอง คือ ตำแหน่งการติดตั้งของวัตถุ ระดับมุมมองที่ศึกษา ค่าความสว่าง วัสดุที่ใช้ศึกษา 3 ประเภท คือ โลหะ พลาสติก และกระดาษ ที่มีขนาดแตกต่างกัน กำลังเลนส์ขยายโดยแบ่งออกเป็น 4 ขนาด โดยการศึกษาครั้งนี้สามารถเก็บในส่วนของระยะห่างระหว่างชิ้นงานถึงหน้าเลนส์ขยาย และระยะตำแหน่งฐานการติดตั้งของกล้องที่สูงจากพื้น และชิ้นงานวัสดุที่สูงจากฐานการติดตั้งวัสดุโดยสามารถกำหนดเป็นค่าที่สามารถบันทึกได้ดังนี้

โดยที่ x คือระยะห่างระหว่างหน้าเลนส์ถึงชิ้นงานทดสอบ Y1 คือระยะห่างระหว่างฐานอุปกรณ์จับยึดกล้องตรวจวัด ถึงตำแหน่งการติดตั้งกล้องตรวจวัดบริเวณฐานของกล้อง Y2 คือระยะห่างระหว่างฐานอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานวัสดุ

ทำการทดลองโดยปรับแต่งขาจับยึดกล้องและฐานติดตั้งชิ้นงานให้เป็นไปตามปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมดทำการวัดค่าความสว่างบริเวณทำการทดสอบและควบคุมพื้นที่ด้วยโปรไฟล์กันแสงจากภายนอก ทำการทดลองและบันทึกผลในตารางเก็บข้อมูล

รูปที่ 4. ภาพการวิเคราะห์ข้อมูลผ่านโปรแกรมแปลงผลโดยใช้ มุม 30 องศา ความสว่าง 200 กระดาษขนาดเล็ก เลนส์ 8

ตารางที่ 2 ผลการทดลองติดตั้งระบบ Vision System ในปัจจัยที่เลือกในการศึกษาที่กำหนด

ชนิดของวัสดุ	ทำมุมระดับ	ความสว่าง	ขนาดของวัสดุ	ขนาดของเลนส์	ระยะX	ระยะY
กระดาษ	30 องศา	200	เล็ก	8,12,16	105-210	60-121
			กลาง	8,12,16	133-266	77-153
			ใหญ่	8,12,16,35	161-322	92-407
	45 องศา	400	เล็ก	8,12,16	105-210	60-121
			กลาง	8,12,16	133-266	77-153
			ใหญ่	8,12,16,35	161-322	92-407
	60 องศา	800	เล็ก	8,12,16	105-210	182-163
			กลาง	8,12,16	133-266	230-460
			ใหญ่	8,12,16,35	161-322	278-1222
พลาสติก	30 องศา	200	เล็ก	8,12,16	105-210	105-210
			กลาง	8,12,16	133-266	133-266
			ใหญ่	8,12,16,35	161-322	161-322
	45 องศา	400	เล็ก	8,12,16	105-210	105-210
			กลาง	8,12,16	133-266	133-266
			ใหญ่	8,12,16,35	161-322	161-322
	60 องศา	800	เล็ก	8,12,16	105-210	182-163
			กลาง	8,12,16	133-266	230-460
			ใหญ่	8,12,16,35	161-322	278-1222
โลหะ	30 องศา	200	เล็ก	8,12,16	105-210	182-163
			กลาง	8,12,16	133-266	230-460
			ใหญ่	8,12,16,35	161-322	278-1222
	45 องศา	400	เล็ก	8,12,16	105-210	182-163
			กลาง	8,12,16	133-266	230-460
			ใหญ่	8,12,16,35	161-322	278-1222
	60 องศา	800	เล็ก	8,12,16	105-210	182-163
			กลาง	8,12,16	133-266	230-460
			ใหญ่	8,12,16,35	161-322	278-1222

4.3 การจัดทำข้อมูลเชิงเทคนิคเพื่อนำไปใช้ในการติดตั้งระบบ Vision System ภายใต้ขอบเขตการศึกษาที่กำหนดโดยผู้ศึกษาขอพิจารณาหารเลือกวัตถุเป็นหลักเกณฑ์การติดตั้งระบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

การเลือกระบบที่นำไปตรวจสอบวัสดุเป็น โลหะที่มีขนาดตัวอักษรขนาด 1.5 ถึง 3 มิลลิเมตร ควรเลือกการติดตั้งด้านบนที่ควรมีความสว่างอย่างน้อย 200 และทำมุมอย่างน้อย 45 องศา ใช้พื้นที่ในการติดตั้งที่มีระยะความสูงของชิ้นงานไม่เกิน 105 ถึง 322 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุ 182 ถึง 1,222 มิลลิเมตร โดยมีข้อจำกัดการติดตั้งวัสดุตำแหน่งด้านล่างที่มีความสว่างน้อยกว่า 200 และมุมต่ำกว่า 30 จะทำให้พื้นที่ไม่มีความสว่างเพียงพอต่อการตรวจจับตัวอักษรขนาดเล็ก

การเลือกระบบที่นำไปตรวจสอบเป็นพลาสติกที่มีขนาด 1.5 ถึง 3 มิลลิเมตร ควรเลือกการติดตั้งด้านล่างที่มีความสว่างอย่างน้อย 200 และทำมุมอย่างน้อย 45 องศาใช้พื้นที่ในการติดตั้งที่มีระยะความสูงของชิ้นงานไม่เกิน 105 ถึง 322 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุ 182 ถึง 1,222 มิลลิเมตร โดยมีข้อจำกัดการติดตั้งวัสดุตำแหน่งด้านบนที่มีความสว่างน้อยกว่า 200 หรือมากกว่า 800 และมุมต่ำกว่า 30 จะทำให้พื้นที่ไม่มีความสว่างเพียงพอต่อการตรวจจับตัวอักษรขนาดเล็ก และชิ้นงานจะเกิดการสะท้อนทำให้การตรวจจับภาพไม่มีประสิทธิภาพ

การเลือกระบบที่นำไปตรวจสอบวัสดุเป็นกระดาษ ที่มีขนาดตัวอักษรขนาด 1.5 ถึง 3 มิลลิเมตร สามารถเลือกการติดตั้งได้ทั้งด้านบนและ ด้านล่าง ที่มีความสว่างอย่างน้อย 200 และทำมุมอย่างน้อย 30 องศา ใช้พื้นที่ในการติดตั้งที่มีระยะความสูงของชิ้นงานไม่เกิน 105 ถึง 322 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุ 182 ถึง 1,222 มิลลิเมตร โดยวัสดุประเภทกระดาษเป็นวัสดุที่สามารถตรวจจับได้ง่าย และมีผลกระทบที่เกิดจากความสว่างน้อยที่สุด

5.สรุป และข้อเสนอแนะ

การทดลองที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ได้กับวัสดุที่กำหนดในการศึกษาโดยครอบคลุมวัสดุที่ใช้ในการผลิต โดยผลที่ได้สามารถบอกได้ว่า การพิจารณาการติดตั้งระบบ Vision System ให้ได้ผล และมีประสิทธิภาพนั้นต้องวิเคราะห์จากปัจจัยเรื่องแสงเป็นหลักสำคัญ และพิจารณาปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆตามที่ปรากฏในการทดลองเพื่อให้ ระบบ Vision System ไม่เกิดความผิดพลาดในการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

[1] บุญลือ บุญดง, ความหมายของระบบวิชั่น (Vision System), 10 ธันวาคม 2557, สืบค้นจาก (http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=2172)

[2] ประดิษฐ์ มิตราปิยานุรักษ์, ระบบตรวจสอบภาพชิ้นงานโดนใช้พีซีสำหรับการตรวจสอบฉลากที่พิมพ์บนขวด วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2538

[3] กระทรวงแรงงาน, กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่างและเสียง, เข้าถึงเมื่อ 25 ธันวาคม 2557, สืบค้นจาก (http://www.bsa.or.th)

[4] กิตติพงศ์ เงินถาวร, เชษฐพงศ์ ปาณวร, และศุภสิทธิ์ หวังไพโรจน์กิจ, ระบบตรวจสอบวัตถุ ด้วยการประมวลผลภาพ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยบูรพา, 2549

[5] ไทยโอซีอา, Optical character recognition, เข้าถึงเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2557, สืบค้นจาก (http://thaiocr.phaisarn.com/ocr.html)2554

การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการรีดยางรีเคลม

Efficacy Improvement of Reclaimed Tire Rolling Process

เอกรัตน์ โภคสวัสดิ์* ไกรศักดิ์ เกลี้ยงทอง เทิดพงษ์ ใจดี นุสรา เสนานิคม
สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช 80110 E-mail: pokksawat@yahoo.com*

Eakkarat Poksawat*, Kraqisak Lliangthong, Terdpong Chaidee, Nussara Senanikom
Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology
Rajamangala University of Tedchnology, Srivijaya, Thungsong, Nakhon Si Thammarat, 80110
E-mail: pokksawat@yahoo.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการรีดยางรีเคลมโดยการวิเคราะห์ปัจจัย ที่มีผลต่อการผลิตยางรีเคลม ทั้งนี้ได้ใช้แผนผังสาเหตุและผล มาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาในกระบวนการรีดยางรีเคลม โดยใช้เทคนิคการระดมสมอง และหลักการปรับปรุงงาน ECRS มาวิเคราะห์และดำเนินการปรับปรุง จากผลการวิจัยพบว่า สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการรีดยางรีเคลมได้ดังนี้ 1) ทำการอบรมในเรื่องการป้องกัน และ วิธีการทำงานที่ปลอดภัยให้พนักงาน เพื่อป้องกันและลดปัญหาการเกิดอุบัติเหตุของพนักงาน 2) ออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ขัดทำความสะอาดลูกกลิ้งเครื่องรีดรีเคลม เพื่อแก้ปัญหาเศษสิ่งแปลกปลอมติดในร่องของลูกกลิ้งจัดทำแผนบำรุงรักษา และอบรมวิธีการบำรุงรักษาด้วยตนเองเพื่อแก้ปัญหาการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร 3) ทำการทดลองนำยางมาแช่น้ำกรดเจือจางก่อนเข้าสู่กระบวนการรีด เพื่อแก้ปัญหาคุณสมบัติความเหนียวของเศษยางและการแช่น้ำกรดเจือจางแทนการราดกรดโดยตรงขณะรีดยังสามารถลดปริมาณการใช้น้ำกรดลดลงจากเดิม 10.8 ลิตร ลดลงเหลือ 4.5 ลิตร คิดเป็น 58.4% ลดค่าใช้จ่ายได้ 28.35 บาทต่อวัน และยังส่งผลดีต่ออันตราย และสุขภาพของพนักงาน รวมถึงการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรที่เกิดจากการกัดกร่อนของกรดอีกด้วย

คำสำคัญ: การเพิ่มประสิทธิภาพ ยางรีเคลม

Abstract

The research aimed to improve efficiency of reclaimed tire rolling process by analyzing parameters affecting reclaimed tire production. Cause and effect diagrams were used to find out actual causes of problems related to reclaimed tire rolling process. Brain storming techniques and principles of performance improvement –ECRS were employed to analyze and to improve its efficiency. Results found that efficacy of reclaimed tire rolling process could be improved as follows: 1) Training provision in terms of preventive measure and safe practice guidelines to reduce a chance of employers' accident, 2) design and Installation of rubbing tools to eliminate dirt and filths stick to reclaimed tire rolling cavity and setting up of self-maintenance program and providing training courses to prevent untimed machine's deterioration, and 3) experimentation was performed by submersion of rubber in diluted acid instead of

direct acid splashing as it was being rolled to minimize rubber's loss of flexibility causing slow rubber adhesion. The measure helped reduce diluted acid quantity used from 10.8 liter to 4.5 liter a batch (58.4%): saving up to 28.35 baht per day. This measure was beneficial to employers' health as well as reduced deterioration of related machine due to acid corrosion.

Key words: Efficacy improvement, reclaimed tire

1. บทนำ

บริษัทศรีตรังแอโกรอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) สาขาทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช ได้ทำการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 จำหน่ายให้กับบริษัทต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ การผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 จะใช้วัตถุดิบจากเศษยาง ยางก้อน ยางถ้วย และยางแผ่นดิบคุณภาพต่ำ มาตัดย่อย รีด และอัด เป็นแท่งตามขนาดมาตรฐานที่กำหนด แต่ในกระบวนการผลิตจะพบปัญหาเศษยางที่หลุดออกมาจากกระบวนการผลิตของสายการผลิตในเครื่องจักรหลัก เป็นจำนวนมาก ทางโรงงานจึงต้องนำเศษยางดังกล่าวมารวบรวมและนำมาเข้ากระบวนการรีดให้เป็นแผ่น จากเครื่องรีดขนาดเล็ก ก่อนจะนำกลับเข้ามาในสายการผลิตของเครื่องจักรหลักอีกครั้ง กระบวนการดังกล่าวนี้เรียกว่า "ยางรีเคลม" และจากการเข้าไปทำการศึกษากระบวนการรีดยางรีเคลมและสอบถามพนักงานในขั้นต้น พบว่ากระบวนการรีดยางรีเคลมในปัจจุบันมีวิธีการที่เสี่ยงที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและความเสียหายต่อเครื่องจักรทั้งทางตรงและทางอ้อม ทั้งนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้กรดซัลฟูริคที่นำมาใช้ปรับคุณสมบัติของเศษยาง และในกระบวนการรีดมักจะพบปัญหาการฉีกขาดของแผ่นยาง รวมถึงการที่ต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดลูกกลิ้งบ่อยครั้ง ส่งผลให้ขาดความต่อเนื่องในกระบวนการผลิ จากปัญหาดังกล่าว ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 ในส่วนของการรีดยางรีเคลม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการรีดยางรีเคลม

2. วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

2.1 ศึกษากระบวนการรีดยางรีเคลม

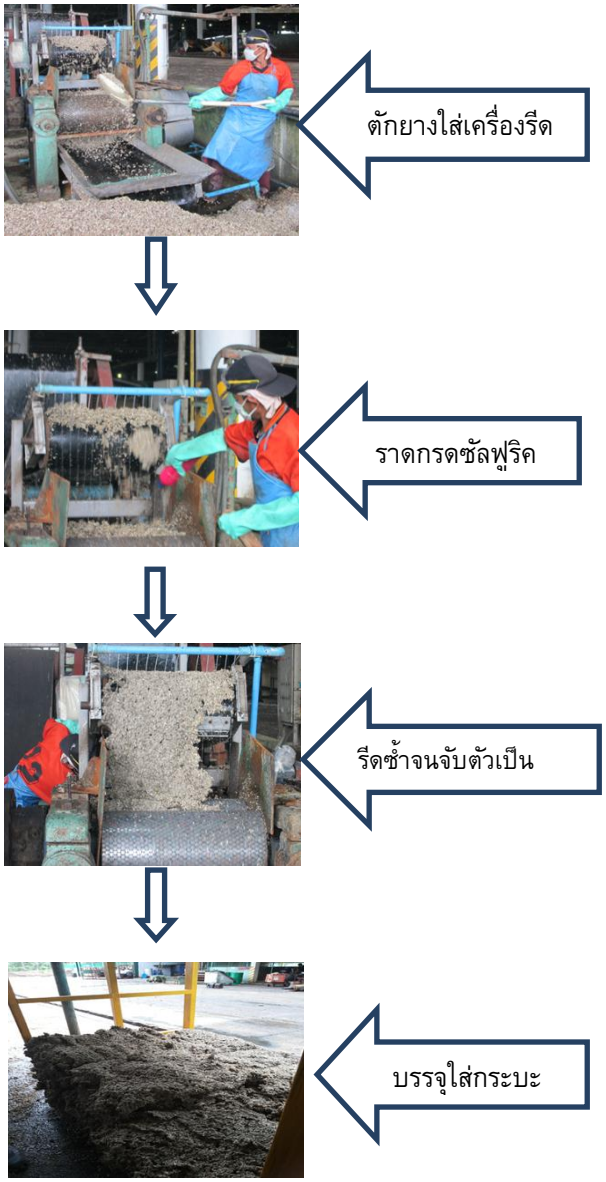
จากการศึกษาในกระบวนการรีดยางรีเคลม พบว่า เศษยางที่จะนำมารีดยางรีเคลมได้มาจากเศษยางที่หลุดออกมาจากกระบวนการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 ที่ผ่านกระบวนการบด รีด และทำความสะอาดในแต่ละขั้นตอน เช่น จากอ่างล้างยาง สกรูลำเลียง และตะแกรงบ่อดิน และในบ่อดิน ซึ่งมีขนาดไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ปริมาณเศษยางในแต่ละวันมีไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับปริมาณ และคุณภาพของวัตถุดิบที่เข้าสู่กระบวนการผลิตในแต่ละครั้ง

รูปที่ 1 เศษยางจากอ่างล้างยาง และจากบ่อดิน

เศษยางในแต่ละจุดถูกนำมารวมกองไว้ที่บริเวณเครื่องรีด และให้พนักงานตักใส่เครื่องรีด ในขณะรีดพนักงานจะราดกรดซัลฟูริค ลงโดยตรงบนแผ่นยาง เป็นระยะๆ เพื่อให้เศษยางจับตัวกันเป็นแผ่น และทำการรีดซ้ำจนได้แผ่นยางตามที่ต้องการ จากการบันทึกข้อมูล พบว่าน้ำหนักยางที่รีดต่อแผ่น ประมาณ 50 กิโลกรัม ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 6.48 นาที จำนวนรอบในการรีดโดยเฉลี่ย 8 รอบ ใช้กรดซัลฟูริค 10.8 ลิตร ต่อวัน และปริมาณยางที่รีดได้โดยเฉลี่ย 1,483 กิโลกรัมต่อวัน ได้แสดงขั้นตอนการรีดดังรูปที่ 2

2.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาของกระบวนการรีดยางรีเคลม พบว่า สาเหตุที่ส่งผลให้เกิดปัญหา มาจากสาเหตุหลักที่สำคัญ 4 ด้าน ได้แก่ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ และวิธีการทำงาน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้เทคนิคการวิเคราะห์สาเหตุด้วยแผนภูมิเหตุและผล[1]มาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาดังกล่าว ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการรีดรีเคลม

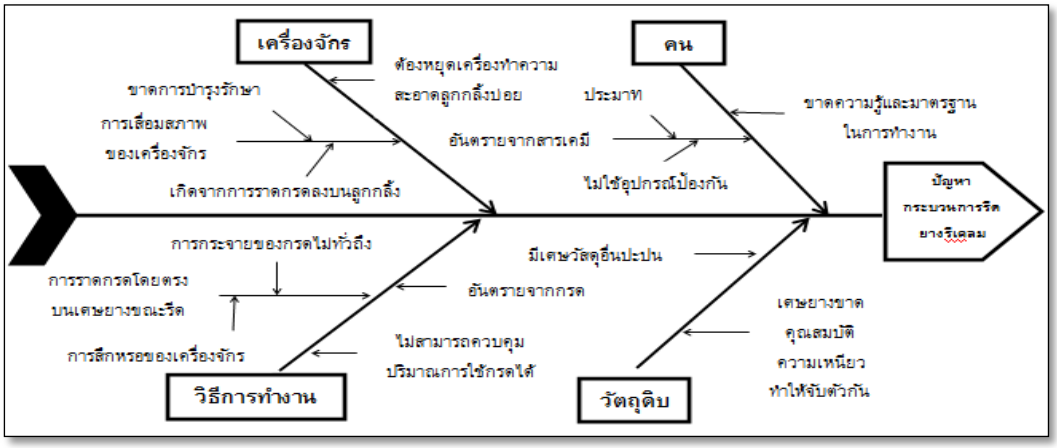
2.3 การวิเคราะห์หาแนวทางและดำเนินการ

จากการวิเคราะห์ปัญหาในข้างต้นคณะผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการระดมสมอง (Brain Storming)[2] โดยประชุมระดมสมองร่วมกับวิศวกรฝ่ายผลิต หัวหน้าแผนกรีเคลม และตัวแทนพนักงาน เพื่อช่วยกันวิเคราะห์ถึงสาเหตุ และแนวทางการปรับปรุงแก้ปัญหาทั้ง 4 ด้าน โดยใช้หลักการ ECRS มาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงงานร่วมด้วย

รูปที่ 4 การประชุมเพื่อกำหนดแนวทางการปรับปรุง

การวิเคราะห์สาเหตุทั้ง 4 ด้าน สามารถกำหนดแนวทางและดำเนินการปรับปรุง ดังนี้

1) ด้านคน พบว่าการปฏิบัติงานของพนักงานบางกิจกรรมมีความประมาท เช่นใช้มือหยิบเศษปลอมปนบริเวณลูกกลิ้งโดยไม่ได้ปิดเครื่อง และไม่สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ทำให้ได้รับอันตรายจากกรดซัลฟูริค ทั้งทางตรงและทางอ้อม และพนักงานแต่ละคนมีความเข้าใจถึงอันตรายที่เกิดจากกรด และวิธีการทำงานที่ปลอดภัยในการทำงานกับกรดแตกต่างกัน คณะผู้วิจัยจึงได้อบรมวิธีการทำงานที่ปลอดภัยและอันตรายที่เกิดจากกรดซัลฟูริค รวมถึงการใช้และการตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลแก่พนักงาน



รูปที่ 3 แผนผังสาเหตุและผล

รูปที่ 5 อุปกรณ์ป้องกัน และการอบรมพนักงาน

2) ด้านเครื่องจักร พบว่า ขณะปฏิบัติงาน ต้องหยุดเดินเครื่องบ่อย เพื่อทำความสะอาดลูกกลิ้ง เนื่องจากเศษยางและเศษปลอมปนอื่น ที่ติดที่บริเวณร่องของลูกกลิ้ง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการรีดลดลง แผ่นยางฉีกขาดได้ง่าย ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้ ออกแบบอุปกรณ์ ทำความสะอาดลูกกลิ้งไปติดตั้งที่เครื่องจักร เพื่อช่วยทำความสะอาดลูกกลิ้ง ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 ชุดทำความสะอาดลูกกลิ้ง

และจัดทำแผนการบำรุงรักษา พร้อมทั้งวิธีการบำรุงรักษาด้วยตนเอง[3] แล้วทำการอบรมพนักงาน และปิดแผ่นป้ายการบำรุงรักษาด้วยตนเองไว้บริเวณที่ปฏิบัติงาน เพื่อให้พนักงานผู้ใช้เครื่องจักรสามารถทำการบำรุงรักษาได้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

รูปที่ 7 การอบรมพนักงานป้ายแสดงการบำรุงรักษา

3) ด้านวัตถุดิบและวิธีการปฏิบัติงาน เนื่องจากสาเหตุของวัตถุดิบและวิธีการปฏิบัติงานมีความสัมพันธ์กัน สามารถแก้ไขควบคู่กันไปได้ จากการศึกษาพบว่าวัตถุดิบเป็นต้นทุนที่สูงที่สุดของการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 ดังนั้น หากมีการจัดการวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพก็จะทำให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมลดลง [4]สาเหตุโดยรวมทั้ง 2 ประเด็นนี้ เกิดจากการใช้กรดซัลฟูริค ราดลงโดยตรงบนแผ่นยางขณะรีดเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เศษยางมีความเหนียวจับตัวกันดี ซึ่งจะส่งผลให้เกิดอันตรายแก่พนักงานในขณะปฏิบัติงานและในระยะยาว รวมถึงการสึกหรอของเครื่องจักรที่เกิดจากการกัดกร่อนจากกรด และการที่มีเศษวัสดุปลอมปนที่มีความแข็ง เช่นเศษโลหะก็จะทำให้เกิดการสึกหรอของลูกกลิ้งได้เช่นกันดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้นำหลักการ ECRS มาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงงาน โดยการขจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออก และจัดลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่[5] โดยให้พนักตรวจหาเศษวัสดุปลอมปนในเศษยางที่ได้มาแต่ละกระบวนการก่อนที่จะนำมากองรวมกัน เพื่อป้องกันวัสดุปลอมปนในขั้นต้น ก่อนเข้าสู่กระบวนการรีด แล้วนำเศษยางมาแช่กรดเจือจาง ในกระบะทดลอง โดยใช้สัดส่วนของ เศษยาง 50 กิโลกรัม ต่อ น้ำ 75 ลิตร และ กรดซัลฟูริค 100 125 150 175 และ 200 ซีซี ตามลำดับ แช่ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปรีด แล้วสังเกตการจับตัวของเศษยางและการฉีกขาดจากการรีด เพื่อหาปริมาณการใช้กรดซัลฟูริค ที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากปริมาณการใช้กรดซัลฟูริค ในสัดส่วนที่น้อยที่สุด ที่สามารถทำให้เศษยางจับตัวกันได้ดี และไม่มีปัญหาการฉีกขาด ขณะทำการรีด

รูปที่ 8 การนำเศษยางแช่กรดเจือจาง และการรีดเศษยาง

3. ผลการดำเนินการวิจัย

จากการดำเนินการปรับปรุงตามแนวทางที่กำหนด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

3.1 ด้านพนักงาน

จากการเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานของพนักงาน โดยให้พนักงานใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ในระยะแรก พนักงานบางรายยังไม่ค่อยถนัดในการทำงาน แต่เมื่อใช้ไประยะหนึ่ง ก็สามารถทำงานได้ตามปกติ และเมื่อได้ทำการอบรมให้ความรู้เรื่องการป้องกันและวิธีการทำงานที่ปลอดภัย ทำให้พนักงานมีวิธีการเป็นระบบและมีความระมัดระวังเรื่องความปลอดภัยมากขึ้น

3.2 ด้านเครื่องจักร

หลังจากการนำชุดขัดทำความสะอาดลูกกลิ้งไปติดตั้ง สามารถช่วยให้การทำความสะอาดลูกกลิ้งทำได้รวดเร็ว และสะอาดขึ้น เมื่อได้จัดทำแผนบำรุงรักษาและได้อบรมพนักงานเรื่องการบำรุงรักษาด้วยตนเอง ทำให้พนักงานผู้ใช้เครื่องแต่ละคนสามารถทำการบำรุงรักษาในขั้นต้นได้ด้วยตนเอง ลดปัญหาการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรลงได้

3.3 ด้านวัตถุดิบและวิธีการทำงาน

จากการตรวจหาวัสดุปลอมปน สามารถกำจัดวัสดุปลอมปนได้ในระดับหนึ่ง ยังพบเศษวัสดุปลอมปน ปะปนกับเศษยางอยู่บ้าง ส่วนการแช่เศษยางในกรดเจือจางก่อนเข้าสู่กระบวนการรีด จากการสังเกตและสอบถามพนักงาน และหัวหน้าแผนกรีเคลม พบว่า กรดเจือจางได้กระจายแทรกซึมเข้ากับเศษยางได้อย่างทั่วถึง ส่งผลให้เศษยางจับตัวกันเป็นแผ่นได้ดี ลดปัญหาการฉีกขาดลงได้ โดยปริมาณการใช้กรดซัลฟูริคที่เหมาะสม คือ 150 ซีซี และเมื่อนำปริมาณการใช้กรดวิธีปัจจุบัน เปรียบเทียบกับวิธีเดิม ยังพบว่า สามารถ ลดปริมาณน้ำกรดลงจากเดิม 6.3 ลิตรต่อวัน คิดเป็น 58.4 % ซึ่งส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายลงได้ 28.35 บาทต่อวัน (คิดที่ราคา 4.5 บาท ต่อ ลิตร) ถึงแม้ว่าค่าใช้จ่ายจะลดลงได้ไม่มากนัก แต่วิธีการแช่ยางด้วยกรดเจือจางจะช่วยส่งผลดีต่ออันตราย และสุขภาพของพนักงาน รวมถึงการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรที่เกิดจากการกัดกร่อนของกรดอีกด้วย

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยใช้แผนภูมิเหตุและผล มาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา และใช้เทคนิคการระดมสมองร่วมกับหลักการปรับปรุงงาน ECRS มากำหนดแนวทาง และดำเนินการปรับปรุงซึ่งสามารถดำเนินการได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด แต่ปัญหาที่ได้ปรับแก้ไว้ดังกล่าวอาจจะเกิดกลับขึ้นมาใหม่ได้อีก หากพนักงานไม่ได้ปฏิบัติอย่างเคร่งครัด โดยเฉพาะพนักงานจ้างเหมาที่เร่งรีบทำการผลิตเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตเป็นสำคัญ ดังนั้นหัวหน้าแผนกรีเคลมต้องคอยตรวจสอบและควบคุม อย่างเคร่งครัด

ในส่วนของการทดลองใช้เศษยางแช่ในน้ำกรดเจือจาง คณะผู้วิจัยได้ใช้น้ำกรดเจือจางแช่เพียงครั้งเดียว ผู้วิจัยเห็นว่าหากนำน้ำกรดเจือจางมาใช้อีกครั้งโดยการเติมน้ำและกรดเพิ่มเติม แล้วนำไปใช้แช่เศษยางก็จะทำให้ลดปริมาณของน้ำ และกรดซัลฟูริค ได้อีกทางหนึ่ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้บริหาร และพนักงานของบริษัทศรีตรังแอรโกอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล และ งบประมาณที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, หลักการควบคุมคุณภาพ,พิมพ์ครั้งที่ 6, กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2550

[2] ณัฐพงศ์ เกศมาริษ และคณะ,เทคนิคการระดมสมอง, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2545

[3] ธานี โอบอ้อม, การบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม, กรุงเทพฯ: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2546

[4] เอกรัตน์ โภคสวัสดิ์, การจัดการต้นทุนการผลิตโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 20 ในประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2547

[5] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, การศึกษางานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ:ท้อป, 2552

การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิต กรณีศึกษากระบวนการผลิตเสื้อ T-Shirt

Solving an Assembly Line Balancing Problem. Case Study: T-Shirt Process.

พิเชฐ พุ่มเกษร*, สุวิมล ตาคำดี
ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี 25230
E-mail: Phichetp@Kmutnb.ac.th*

Pichet Pumkaesorn*, Suwimon Takumdee
Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongut's University of Technology North Bangkok Prachinburi Campus, Prachinburi 25230
E-mail: Phichetp@kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาการจัดสมดุลสายการผลิต กรณีศึกษากระบวนการผลิตเสื้อ T-Shirt ในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพิ่มประสิทธิภาพสายผลิตเสื้อ T-Shirt โดยมีเป้าหมายการสูญเสียความสมดุล (Balance Delay) ให้ต่ำที่สุด โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกผลิตภัณฑ์ ศึกษากระบวนการผลิตขั้นตอนต่างๆ งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์วิธีการใช้แก้ปัญหาเป็นแบบฮูริสติก (Heuristic) คือ ใช้จำนวน 3 วิธี คือ 1) กฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด (Largest-Candidate Rule) 2) วิธีการของกิลบริดจ์ และเวสเตอร์ (Kilbridge and Wester's Model) 3) วิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Ranked Positional Weights Method) ในการจัดสมดุลสายการผลิตมีจำนวนงานทั้งหมด 21 งาน 17 สถานี ค่าเวลารวมเท่ากับ 100.66 นาที และมีค่าการสูญเสียความสมดุลก่อนปรับปรุงเท่ากับ 38.03% จากการประยุกต์ทั้ง 3 วิธี ผลพบว่า มีจำนวนสถานีงานลดลงเหลือ 15, 15 และ 14 สถานีงาน เวลารวมทั้ง 3 วิธี ลดลงเหลือเท่ากับ 97 นาที และมีค่าการสูญเสียความสมดุล เท่ากับ 27.12%, 27.12% และ 21.91% ตามลำดับ

คำหลัก สมดุลสายการผลิต, กระบวนการผลิต

Abstract

This research was aimed at increasing potential in T-Shirt line production to minimize Balance Delay. Initially, products were selected to study in production process. Then, heuristic was performed by using mathematical proof that consist of 1) Largest-Candidate Rule 2) Kilbridge and Wester's Model and 3) Ranked Positional Weights Method. In line balancing, there are 21 works, 17 work stations, total time 100.66 minutes, and 38 percent of balance delay before adaptation. The result was that, amount of work stations decreased to 15, 15, and 14 work stations including total time of three methods was 97 minutes. In addition, Balance Delay were 27.12%, 27.12% and 21.91% respectively.

Keywords: Line Balance, Production process

1. บทนำ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมมีการแข่งขันเพื่อที่จะให้เกิดความอยู่รอดของบริษัท และมีกำไรสูงขึ้นตามเป้าหมายที่ถูกกำหนดขึ้น อุตสาหกรรมสิ่งทอมีบทบาทสำคัญต่อประเทศ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ผลผลิตและการจ้างแรงงานสูงสำหรับในภาคอุตสาหกรรมปัจจุบันกำลังประสบภาวการณ์แข่งขันอย่างรุนแรง ทั้งในเรื่องของคุณภาพ บริการ ราคา และปริมาณ เพื่อทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด สิ่งที่บริษัทต้องยึดถือปฏิบัติ คือผลิตสินค้าให้ได้ตรงตามปริมาณ ตรงตามที่กำหนดและด้วยต้นทุนที่ต่ำ โดยสามารถนำหลักการศึกษาการทำงานเข้ามาช่วยให้การใช้ทรัพยากรต่างๆ ที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด สามารถปรับปรุงขั้นตอนการทำงานที่ใช้เวลามากไม่เกิดประโยชน์เพราะเวลาถือเป็นต้นทุนชนิดหนึ่งที่องค์กรต้องใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถหาเวลามาตรฐานของงานต่างๆ ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการวางแผนการผลิตเป็นอย่างยิ่ง

บริษัทกรณีศึกษา จัดอยู่ในอุตสาหกรรมสิ่งทอประเภทการ์เมนท์ ซึ่งดำเนินการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปรับจ้างผลิต ผลิตสินค้าตามคำสั่งซื้อ (Make to Order) ของลูกค้าจากต่างประเทศ 100% มีสินค้าสำเร็จรูปที่หลากหลาย เช่น เสื้อคอกลม เสื้อทีเชิ้ต เสื้อคอวี เสื้อโปโล ฯลฯ จากการสัมภาษณ์ผู้บริหาร หัวหน้าฝ่ายผลิตและศึกษากระบวนการผลิต พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มียอดสั่งผลิตเป็นอันดับที่ 1 คือ เสื้อเชิ้ต (T-shirt) ผู้ศึกษาได้ศึกษาผลผลิต พบว่า มีการผลิตที่ไม่สม่ำเสมอ การผลิตไม่ถึงเป้าหมายที่กำหนดที่ตั้งไว้ โดยบริษัทตัวอย่างมีการจัดทำมาตรฐาน (เป้าหมาย) ด้วยการคำนวณค่า SAM (Standard Allowance Minute) ซึ่งค่า SAM เป็นค่าเวลามาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดขึ้น โดยคิดจากเวลาการเย็บชิ้นงานตัวอย่างของพนักงานที่เป็นตัวแทน ฝ่ายหน่วยตัวอย่าง ซึ่งไม่ได้พิจารณาถึงอัตราการทำงานของพนักงานโดยตรง จึงจำเป็นต้องมีเวลามาตรฐาน เพื่อที่จะได้ทราบอัตรากำลังการผลิตที่แน่นอนในแต่ละวัน และยกระดับความสามารถของพนักงาน ซึ่งเกิดจากการแก้ไขงาน (Rework) ซึ่งทางบริษัทตัวอย่างไม่มีข้อมูลในส่วนของงาน (Rework) เพื่อจัดพนักงานให้เข้าทำงานในแต่ละกระบวนการอย่างเหมาะสม และวางแผนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษางาน (Work Study) [1] [2]

การศึกษางานเป็นหลักการหนึ่งที่สามารถเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นปัจจุบันถูกนำมาใช้ในองค์กรต่างๆอย่างมากมายและมีผู้แปลความหมายของศาสตร์นี้หลายความหมายมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ความหมายของการศึกษางาน

เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล (2539) กล่าวว่า การศึกษางานคือเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้น [1]

เกชาลาวัลยะวัฒน์ และยุทธชัยบรรเทิงจิตร (2527) กล่าวว่า การศึกษางานเป็นการศึกษาระบบงาน (Work System) อย่างเป็นระบบระเบียบ

วิจิตรตัณฑสุทธิ์และคณะ (2543) กล่าวว่าการศึกษางาน (Work Study) เป็นคำที่ใช้แทนวิธีการต่างๆจากการศึกษาวิธีการทำงาน (Method Study) และการวัดผลงาน (Work Measurement) จากความหมายของการศึกษางานข้างต้นนั้นสามารถทาการสรุปได้ว่าการศึกษางาน (Work Study) หมายถึงการเก็บบันทึกข้อมูลอย่างมีขั้นตอนและตรวจตราอย่างรอบคอบของแนวทางการทำงานที่มีอยู่แล้วและเสนอขึ้นมาใหม่เพื่อนำไปสู่การพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2.2 การศึกษาวิธีการทำงาน (Methods Study)

การศึกษาวิธีการทำงาน (Methods Study) คือ การบันทึกงานวิธีการทำงานกระบวนการผลิต หรือระบบงานที่มีอยู่แล้วหรือที่จะกำหนดขึ้นมาใหม่อย่างมีระเบียบแบบแผนและพินิจพิเคราะห์ตรวจตราโดยถี่ถ้วนเพื่อเป็นลู่ทางในการพัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีการที่ง่ายและมีประสิทธิภาพสูงซึ่งจะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ (วิจิตรและคณะ, 2547:71)

2.2.1 ขั้นตอนการศึกษาวิธีการทำงาน

ก) การเลือกงานพิจารณาความสำคัญของงานตามลักษณะงานและที่ได้เปรียบเชิงเศรษฐศาสตร์

ข) เก็บข้อมูลบันทึกข้อมูลด้วยแผนภูมิและไดอะแกรมต่างๆ ภาพถ่ายหรือวีดีทัศน์

ค) วิเคราะห์วิธีการทำงานเทคนิคการปรับปรุงงานเทคนิคลดความสูญเสีย

ง) ปรับปรุงวิธีการทำงานเทคนิคการปรับปรุงงานเทคนิคลดความสูญเสีย

จ) วัดผลวิธีการทำงานประเมินเปรียบเทียบเวลาทำงานปริมาณงานที่ทำหรือผลผลิต

ฉ) พัฒนามาตรฐานวิธีการทำงานจัดทำข้อกำหนดและสภาพแวดล้อมของวิธีการทำงานที่ปรับปรุงแล้ว

ช) การส่งเสริมการใช้วิธีการทำงานวางแผน และติดตามการส่งเสริมการนำวิธีการทำงานที่ปรับปรุงแล้วไปปฏิบัติ

ซ) การติดตามการใช้วิธีการทำงานตรวจสอบการทำงานเป็นระยะๆว่าเป็นไปตามวิธีการทำงานที่ปรับปรุงแล้วหรือไม่

2.3 ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิต [5]

ปัญหาเรื่องการสมดุลสายงานผลิต จะขึ้นอยู่กับการจัดกระบวนการผลิตของแต่ละสถานี และงานการประกอบของสถานีต่างๆ ซึ่งจะต้องทำให้เวลาในแต่ละสถานีเท่ากัน โดยการรวมส่วนของงานต่างๆ เข้าด้วยกันเป็นสถานีงาน จึงจะทำให้การผลิตเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ในทางปฏิบัติเวลาที่ใช้ในแต่ละสถานีมักจะแตกต่างกัน ดังนั้น เวลาที่จะเป็นตัวกำหนดอัตราการผลิตของสายงานจึงขึ้นอยู่กับสถานีงานที่ใช้เวลานานที่สุด

การสูญเสียความสมดุล (Balance Delay) เป็นเครื่องชี้ถึงประสิทธิภาพของสายงานประกอบหรืองานผลิตที่มีความไม่สมบูรณ์เกิดขึ้น โดยพิจารณาที่เวลาสูญเปล่า (idle time) จากการจัดแจกงานลงในสถานีงาน ซึ่งจะแทนด้วยสัญลักษณ์ d และสูตรการหาจากสมการ (2.1)

$$d = \frac{nT_c - T_{wc}}{nT_c} \qquad (2.1)$$

d = ค่าการสูญเสียความสมดุล (Balance Delay)

n = จำนวนสถานีงานทั้งหมด

T_c = รอบเวลา (Cycle Time)

T_{wc} = งานทั้งหมด (Total Work Content)

2.4 การจัดความสมดุลของสายงานผลิตด้วยวิธีต่าง ๆ (Methods of Line Balancing) [4] [5] [6]

หัวข้อนี้จะพิจารณาถึงการแก้ปัญหา เรื่องการสมดุลของสายงานผลิตด้วยวิธีแบบธรรมดาชนิดต่าง ๆ วิธีการที่ใช้แก้ปัญหานี้จะเป็นแบบฮูริสติก (Heuristic) คือ อาศัยสามัญสำนึก (Common Sense) มากกว่าที่จะเป็นการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นจึงไม่อาจรับรองได้ว่าคำตอบที่ได้นั้นจะเป็นค่าเหมาะสมที่สุด วิธีการเหล่านี้ได้แก่

- กฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด (Largest-Candidate Rule) วิธีการนี้จะเริ่มต้นด้วยการเลือกส่วนของงาน เพื่อจัดลงในสถานีงาน โดยดูจากค่าของเวลา t_e เป็นหลัก
- วิธีการของกิลบริดจ์ และเวสเตอร์ (Kilbridge and Wester's Method) วิธีการนี้จะเริ่มต้นด้วยการเลือกส่วนของงานเพื่อนจัดลงสถานีงานโดยจะเป็นไปตามลำดับตำแหน่งที่อยู่ในผังการจัดลำดับงาน (Precedence Diagram)
- วิธีการที่ใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Ranked Positional Weights Method) วิธีการนี้เกิดจากการรวมกลยุทธ์ของกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด กับวิธีการของกิลบริดจ์เข้าด้วยกัน หรือจะใช้ชื่อเรียกว่า RPW วิธีการของ RPW นี้ จะคิดน้ำหนักในแต่ล่ะส่วนของงาน โดยใช้ค่า T_eของส่วนงานต่าง ๆ กับค่าที่อยู่ตอนหน้าของผังลำดับงาน หลังจากนั้นจึงจัดส่วนของงานลงในสถานีงานตามลำดับค่าของ RPW

3. วิธีดำเนินงาน

3.1 ศึกษาวิธีการทำงานและกระบวนการผลิตโดยรวมของบริษัท

3.2 เลือกศึกษาขั้นตอนการผลิต วีธีการผลิต ของบริษัท ไทยอิสเทอน อินดัสทรี้ จำกัด อย่างละเอียด จากการศึกษาข้อมูลโดยรวมของบริษัทผู้ศึกษาได้พบว่าปัญหาคือ การผลิตล่าช้า และยอดการผลิตที่ไม่แน่นอน ผลิตภัณฑ์ที่ทำการเลือกได้แก่เสื้อ T-Shirt เพราะผู้ศึกษาทำการเลือกจากยอดการผลิตที่มากที่สุดของบริษัท

3.3 ปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้ทฤษฎีการจัดความสมดุลของสายงานผลิต 3 วิธี (Methods of Line Balancing) ได้แก่ วิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด (Largest-Candidate Rule) วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์ (Kilbridge and Wester's Method) และวิธีการที่ใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Ranked Positional Weights Method)

3.4 ศึกษาขั้นตอนการผลิตวิธีการผลิตการทำงานของคนเครื่องจักรโดยวิธีเฝ้าสังเกตพฤติกรรมการทำงานของคนงานในแต่ละขั้นตอนการผลิตซึ่งผู้ศึกษาได้ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการเฝ้าสังเกตการณ์ให้คนงานเหล่านั้นทราบเป็นอย่างดีแล้ว

3.5 แบ่งขั้นตอนการผลิตออกเป็นงานย่อย

3.6 เก็บข้อมูลในการปฏิบัติงานจริงโดยการจับเวลาในแต่ละงานย่อย

3.7 รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเวลาที่จับได้เพื่อหาเวลาในการแบ่งสถานีงาน การแก้ปัญหาสมดุลสายการผลิต

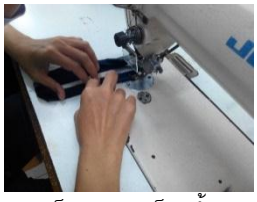
3.8 สรุปผลการจัดสมดุลสายการผลิต และนำเสนอรูปแบบการจัดสถานีงานที่เหมาะสมต่อไป

4. ผลการศึกษา

4.1 ศึกษาวิธีการทำงานและกระบวนการผลิตโดยรวมของบริษัทตัวอย่างดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงขั้นตอนการเย็บเสื้อ T-Shirt

กิจกรรม	ขั้นตอน	งานที่ทำก่อนหน้า
1	เย็บซอกคอ-ล็อกย้ำ	-
2	เจียนซอกคอ	1
3	โพ้งต่อไหล่	-
4	ลาไหล่	3
5	โพ้งเข้าคอ	3,4
6	เย็บติดกุ้นคอหลัง	3,4,5
7	เย็บคิ้วกันคอ	3,4,5,6
8	เย็บล้มคอหลัง	3,4,5,6,7
9	เย็บต่อตราเสื้อ/ไซร์	-
10	เย็บติดตรา/ไซร์	3,4,5,6,7,8,9
11	โพ้งเข้าแขน	3,4
12	ลาโรยวงแขน	3,4,11
13	โพ้งเข้าข้าง	3,4,11,12
14	ลาโรยข้าง	3,4,11,12,13
15	ลาชาย	3,4,11,12,13,14
16	ลาปลายแขน	3,4,11,12,13,14
17	เย็บย้ำชาย	3,4,11,12,13,14,15
18	เย็บย้ำปลายแขน	3,4,11,12,13,14,16
19	เย็บติดตราแคร์ข้าง	3,4,11,12,13,14
20	ตรวจสอบคุณภาพ	19
21	รีดตัวเสื้อ	20


เย็บซอกคอ-ล็อกย้ำ

โพ้งเข้าข้าง

ลาโรยข้าง

เย็บติดตราแคร์ข้าง

ตรวจสอบคุณภาพ

รีดตัวเสื้อ

รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างขั้นตอนในการผลิตเสื้อ T Shirt

จากการศึกษาสภาพปัจจุบันของสถานประกอบการพบว่า มีการสูญเสียความสมดุล (Balance Delay) เท่ากับ 38.03%

$$\frac{17(100.66)-1060.4}{17(100.66)} = 38.03\%$$

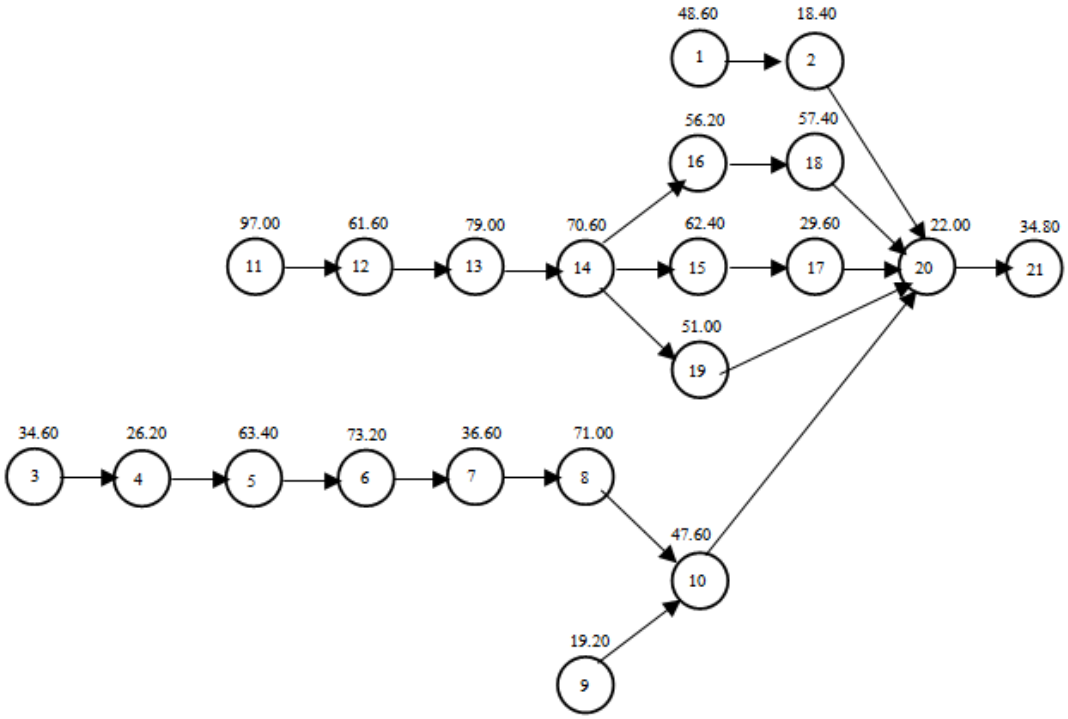
ผู้ศึกษาดำเนินการวิเคราะห์หารอบเวลาตามความต้องการของลูกค้า หรือจังหวะในการผลิตจากค่าเฉลี่ยใบสั่งซื้อย้อนหลัง 4 ใบสั่งซื้อ พบว่า มีค่าจังหวะในการผลิต (เป้าหมาย) เท่ากับ 100.66 วินาทีต่อตัว และเมื่อผู้ศึกษาได้พิจารณาเวลาในการผลิต พบว่าขั้นตอนที่มีรอบเวลาในการผลิตสูงสุด และสามารถเป็นไปได้มากสุดคือ 97 วินาที ซึ่งการศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดเวลาเป้าหมายในการจัดสถานีต่อไป

4.2 วิเคราะห์ผลการจัดสมดุลของสายการผลิต

ผู้ศึกษาใช้ทฤษฎี การจัดความสมดุลของสายงานผลิต 3 วิธี (Methods of Line Balancing) ดังนี้

4.2.1 วิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด (Largest-Candidate Rule)

<u>ขั้นตอนที่ 1 เขียนแผนภาพขั้นตอนการผลิต</u>



รูปที่ 2 แสดงแผนภาพขั้นตอนการผลิตเสื้อ T-Shirt

<u>ขั้นตอนที่ 2 ลงรายการส่วนของงานทั้งหมด</u> โดยเรียงลำดับค่า T_e จากค่าที่สูงสุดไปยังค่าที่ต่ำสุด

ตารางที่ 2 แสดงการจัดส่วนของงานตามค่า T_e โดยใช้กฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด

ส่วนของงาน	T_e (วินาที)	ส่วนของงานที่อยู่ก่อนหน้า
11	97.00	3,4
13	79.00	3,4,11,12
6	73.20	3,4,5
8	71.00	3,4,5,6,7
14	70.60	3,4,11,12,13
5	63.40	3,4
15	62.40	3,4,11,12,13,14
12	61.60	3,4,11
18	57.40	3,4,11,12,13,14,16
16	56.20	3,4,11,12,13,14
19	51.00	3,4,11,12,13,14
1	48.60	-
10	47.60	3,4,5,6,7,8,9
7	36.60	3,4,5,6
21	34.80	1-20
3	34.60	-
17	29.60	3,4,11,12,13,14,15
4	26.20	3
20	22.00	1-19
9	19.20	-
2	18.40	1

ขั้นตอนที่ 3 การจัดงานเข้าสู่สถานีงาน โดยมีเงื่อนไข 2 ประการ คือ เวลาในสถานีงานไม่เกิน 97 วินาที และส่วนของงานก่อนหน้าดำเนินการแล้วเสร็จ

ตารางที่ 3 แสดงการจัดงานเข้าสู่สถานี วิธีกฎเกณฑ์การกำหนด

ตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด (Largest-Candidate Rule)

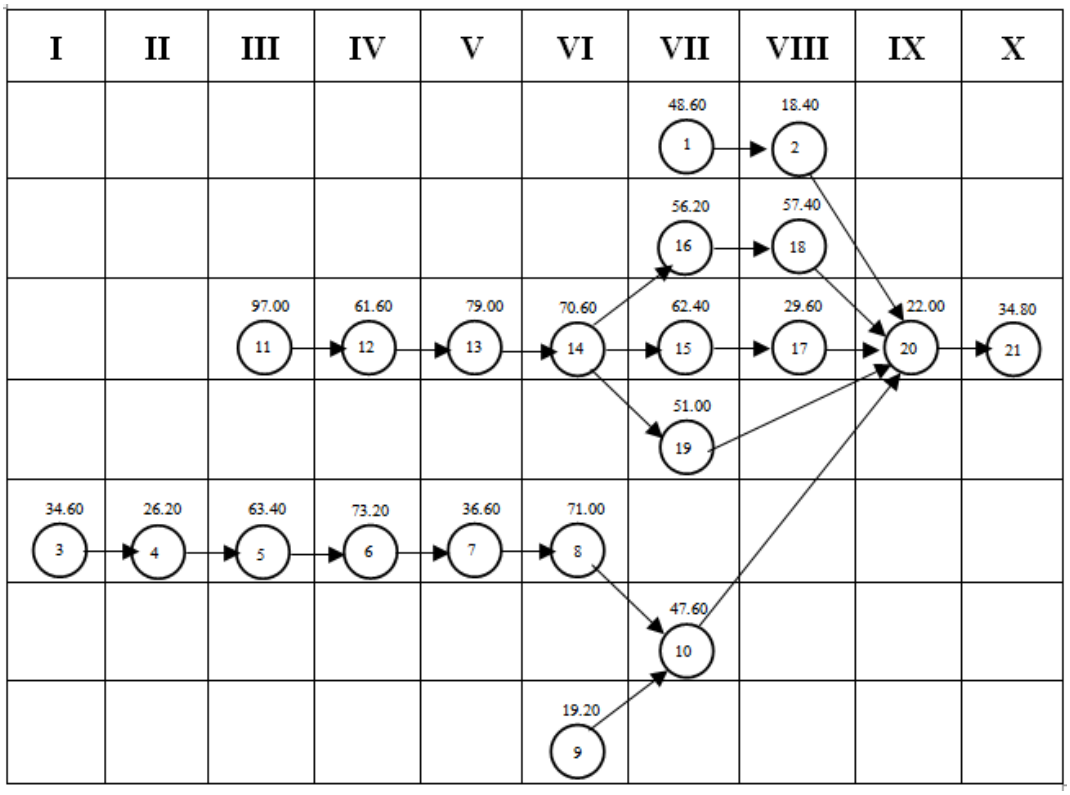
สถานีงาน	ส่วนของงาน	T_e (วินาที)	$\sum T_e$ ที่สถานีงาน
1	1	48.60	
	3	34.60	83.20
2	4	26.20	
	9	19.20	
	2	18.40	63.80
3	11	97.00	97.00
4	5	63.40	63.40
5	12	61.60	61.60
6	13	79.00	79.00
7	6	73.20	73.20
8	14	70.60	70.60
9	15	62.40	
	17	29.60	92.00
10	16	56.20	
	7	36.60	92.80
11	8	71.00	71.00
12	18	57.40	57.40
13	19	51.00	51.00
14	10	47.60	
	20	22.00	69.60
15	21	34.80	34.80

ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการคำนวณการสูญเสียความสมดุล (Balance Delay)

$$\frac{15(97)-1060.4}{15(97)} = 27.12\%$$

4.2.2 วิธีการของกิลบริดจ์ และเวสเตอร์ (Kilbridge and Wester's Method)

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างผังการจัดลำดับงาน โดยมีจุดเชื่อม (Node) เพื่อเชื่อมส่วนของงาน จะถูกแสดงไว้ในสดมภ์ ส่วนของงานที่ 1 และ 2 จะอยู่ในสดมภ์ที่ I ส่วนของงานที่ 3 , 4 และ 5 จะอยู่ในสดมภ์ที่ II และส่วนของงานอื่น ๆ จะถูกจัดไว้ในสดมภ์ที่อยู่ถัดไป อย่างไรก็ตามก็มีข้อควรสังเกตคือ ส่วนของงานที่ 5 อาจจะอยู่ได้ ทั้งในสดมภ์ที่ III หรือ IV โดยไม่ทำให้ขัดต่อข้อจำกัด



รูปที่ 3 แสดงการจัดส่วนงานตามวิธีการของกิลบริดจ์ และเวสเตอร์

ขั้นตอนที่ 2 ลงรายการส่วนของงานตามลำดับของสดมภ์ โดยเริ่มจากส่วนบนสุดของสดมภ์ที่ I ถ้าปรากฏว่า

มีส่วนของงานที่สามารถจัดได้มากกว่า 1 สดมภ์ ให้ใส่ส่วนของงานนั้นในทุกๆ สดมภ์ ซึ่งสามารถจะสับเปลี่ยนไปมาได้ นอกจากนั้นยังมีค่าอื่นๆ เช่น ค่า T_e ของแต่ละส่วนงานและผลบวกของค่า T_e ในแต่ละสดมภ์

ตารางที่ 4 แสดงผลการจัดสดมภ์ และเวลารวมในแต่ละสดมภ์

ส่วนประกอบ	สดมภ์	T_e (วินาที)	ผลบวกของสดมภ์ T_{es}
3	I	34.60	34.60
4	II	26.20	26.20
11	III	97.00	
5	III	63.40	160.40
12	IV	61.60	
6	IV	73.20	134.80
13	V	79.00	
7	V	36.60	115.60
14	VI	70.60	
8	VI	71.00	
9	I,II,III,IV,V,VI	19.20	160.80
1	I,II,III,IV,V,VI,VII	48.60	
16	VII	56.20	
15	VII	62.40	
19	VII	51.00	
10	VII	47.60	265.80
2	VIII	18.40	
8	VIII	57.40	
17	VIII	29.60	105.40
20	IX	22.00	22.00
21	X	34.80	34.80

ตารางที่ 4 แสดงการจัดงานเข้าสู่สถานี วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์ (Kilbridge and Wester's Method)

สถานีงาน	ส่วนประกอบ	T_e (วินาที)	$\sum T_e$ ที่สถานีงาน
1	3	34.60	
	4	26.20	60.80
2	5	63.40	63.40
3	11	97.00	97.00
4	6	73.20	73.20
5	12	61.60	61.60
6	7	36.60	36.60
7	13	79.00	79.00
8	8	71.00	71.00
9	9	19.20	
	14	70.60	89.80
10	1	48.60	
	10	47.60	96.20
11	15	62.40	62.40
12	16	56.20	56.20
13	19	51.00	
	2	18.40	69.40
14	17	29.60	
	18	57.40	87.00
15	20	22.00	
	21	34.80	56.80

ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการคำนวณการสูญเสียความสมดุล (Balance Delay)

$$\frac{15(97)-1060.4}{15(97)} = 27.12\%$$

4.2.3 วิธีการที่ใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Ranked Positional Weights Method)

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณค่า RPW ในแต่ละส่วนของงานโดยการรวมค่า T_e ของส่วนงานนั้น ๆ เข้ากับ T_e ของส่วนงานทั้งหมดที่ตามหลังในข่ายของแนวลูกศรของผังลำดับงาน และดำเนินการจัดลำดับงานใหม่ตามค่า RPW เรียงจากน้อยไปหามาก

ตารางที่ 5 แสดงการจัดลำดับงานตามเรียงตามค่า RPW จากน้อยไปหามาก

ส่วนของงาน	RPW	T_e (วินาที)	ส่วนของงานที่อยู่ก่อนหน้า
3	974.20	34.60	-
4	939.60	26.20	3
11	621.60	97.00	3,4
12	524.60	61.60	3,4,11
13	463.00	79.00	3,4,11,12
14	384.00	70.60	3,4,11,12,13
5	348.60	63.40	3,4
6	285.20	73.20	3,4,5
7	212.00	36.60	3,4,5,6
8	175.40	71.00	3,4,5,6,7
16	170.40	56.20	3,4,11,12,13,14
15	148.80	62.40	3,4,11,12,13,14
1	123.80	48.60	-
9	123.60	19.20	-
18	114.20	57.40	3,4,11,12,13,14,16
19	107.80	51.00	3,4,11,12,13,14
10	104.40	47.60	3,4,5,6,7,8,9
17	86.40	29.60	3,4,11,12,13,14,15
2	75.20	18.40	1
20	56.80	22.00	1-19
21	34.80	34.80	1-20

ขั้นตอนที่ 3 จัดส่วนของงานลงสถานีงานตามค่า RPW โดยพยายามหลีกเลี่ยงข้อจำกัดเกี่ยวกับส่วนของงานที่อยู่ก่อนหน้า (Precedence Constraint) และรอบเวลาที่กำหนด (97 วินาที)

ตารางที่ 6 แสดงการจัดงานเข้าสู่สถานี วิธีการที่ใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Ranked Positional Weights Method)

สถานีงาน	ส่วนของงาน	T_e (วินาที)	$\sum T_e$ ที่สถานีงาน
1	3	34.60	
	4	26.20	
	9	19.20	80.00
2	11	97.00	97.00
3	12	61.60	61.60
4	13	79.00	79.00
5	14	70.60	70.60
6	5	63.40	63.40
7	6	73.20	73.20
8	7	36.60	
	16	56.20	92.80
9	15	62.40	
	17	29.60	92.00
10	8	71.00	71.00
11	1	48.60	
	10	47.60	96.20
12	2	18.40	
	18	57.40	75.80
13	19	51.00	
	20	22.00	73.00
14	21	34.80	34.80

ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการคำนวณการสูญเสียความสมดุล (Balance Delay)

$$\frac{14(97)-1060.4}{14(97)} = 21.91\%$$

5 สรุปผลการวิเคราะห์การจัดสมดุลสายการผลิต

จากการคำนวณการจัดสมดุลสายการผลิต จำนวน 3 วิธี ได้แก่ กฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด (Largest-Candidate Rule) ,วิธีการของ กิลบริดจ์และเวสเตอร์ (Kilbridge and Wester's Method) และวิธีการที่ใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Ranked Positional Weights Method) พบว่า วิธีที่ดีที่สุดคือวิธีการที่ใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Ranked Positional Weights Method) เพราะมีค่าการสูญเสียความสมดุล (Balance Delay) น้อยที่สุด และสามารถลดจำนวนสถานีงาน จังหวะในการผลิต รอบเวลาในการผลิตให้ดียิ่งขึ้นแสดงดังตารางที่ 7 โดยมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 16.41% จากเดิมผลผลิตเสื้อ T-Shirt เท่ากับ 286 ตัว/วัน เป็น 296 ตัว/วัน คิดเป็นมูลค่าที่เพิ่มขึ้น 300 บาท/วัน หรือ 75,000 บาทต่อเดือน หรือ 900,000 บาท/ปี

ตารางที่ 7 สรุปผลการวิเคราะห์การจัดสมดุลสายการผลิตเสื้อ T-Shirt

	ก่อนปรับปรุง	วิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด	วิธี
ค่าการสูญเสียความสมดุล (Balance Delay)	38.03 %	27.12 %	
ค่า T_c (วินาที)	100.66	97	
จำนวนสถานีงาน	17	15	

เอกสารอ้างอิง

[1] เกษม พิพัฒน์ ปัญญานุกุล, การศึกษางาน (Work Study), พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ ประกอบเมไตร, 2537.

[2] จรูญ มหิทธาฟองกุล และคณะฯ. 2543."การศึกษาการทำงาน. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] ชุมพล ศฤงคารศิริ, การวางแผนและควบคุมการผลิต, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, พิมพ์ครั้งที่ 21, 2556.

[4] พิภพ ลลิตาภรณ์. 2549. "ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต (ฉบับปรับปรุง)". พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพมหานคร. ส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).

[5] วิจิตร ตัณฑสุทธิ์. 2535. "การศึกษาการทำงาน". พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม, พิเชฐ พุ่มเกษร, "เอกสารประกอบการสอนวิชา การวางแผนและควบคุมการผลิต", มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี, 2557.

การประยุกต์ใช้สายงานวิกฤตในการลดระยะเวลาของการทดสอบในการบวนการตรวจสอบคุณภาพ

Process Improvement By Using Critical Path In Decreate Lead Time For Testing To Quality Process

สุนิสา อยู่คง ประจวบ กล่อมจิตร* สิทธิชัย แซ่เหล่ม
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000 E-mail: prachuab@su.ac.th*

Sunisa Yukong, Prachuab Klomjit*, Sittichai Saelem
Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Muang, Nakornpathom, 73000, E-mail: prachuab@su.ac.th*

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมสิ่งทอในปัจจุบันมีการแข่งขันทางด้านการผลิต และการตลาดค่อนข้างสูง ซึ่งปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่จะทำให้ธุรกิจอยู่รอดได้นอกเหนือจากด้านการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ต้นทุนต่ำแล้วปัจจัยหลักอีกประการหนึ่งคือ การสร้างความน่าเชื่อถือให้กับธุรกิจนั่นก็คือการส่งมอบสินค้าได้ทันตามเวลาที่กำหนด ณ ปัจจุบันด้วยปัญหาและอุปสรรคในหลาย ๆด้านทำให้บริษัทไม่สามารถส่งมอบสินค้าได้ทันตามเวลาที่ลูกค้ากำหนด ซึ่งเป้าหมายโดยรวมของบริษัทได้ตั้งเป้าหมายไว้ที่ 35 วัน แต่เมื่อทำการผลิตจริงแต่ละหน่วยงานก็ได้พบปัญหาในด้านต่าง ๆ ส่งผลให้เป้าหมายที่บริษัทได้ตั้งไว้เกินจากที่กำหนดส่งให้ลูกค้าเป็น 36.6 วันซึ่งหน่วยงานตรวจสอบคุณภาพเป็นหน่วยงานหนึ่งที่พบปัญหาเหมือนกัน ทำให้เป้าหมายที่ตั้งไว้ของหน่วยงานจากเดิม 3 วัน เป็น 3.52 วัน การดำเนินงานเริ่มจากการศึกษากระบวนการทำงานและการประยุกต์ใช้เทคนิค CPM เพื่อหาสาเหตุ และหาปัจจัยต่าง ๆที่ส่งผลกระทบโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผลในการวิเคราะห์ปัญหา จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการเพื่อหาปัจจัยเสี่ยงและหาแนวทางในการปรับเปลี่ยนระบบการทำงาน จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ณ ปัจจุบัน Lead time ของการทำงานของหน่วยงานอยู่ที่ 3.52 วัน หลังจากทำการปรับปรุงทำให้ Lead time ของการทำงานลดลงเหลือ 3 วันซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่ทางหน่วยงานได้กำหนดไว้

คำสำคัญ : CPM /FMEA/ การลด Lead time

Abstract

Currently, the textile industry in the manufacturing And the market is quite high. One of the main factors that will make the business survive apart from the production guidelines P๋ quality. Low cost is another major factor. To build credibility for the business is to ship as soon as the current set of problems

and difficulties in many areas of the company can not deliver the products in time for the customer. The overall goal of the company is set to 35 days, but the actual production was found in each of the areas. As a result, the company has set up a target of 36.6 days, which is due to client audit quality is the one who found the same problem. The goals of the agency of the third day was 3.52 days. The start of the process and application of CPM technique to determine the cause. Then analyze the impact of process faults. And decision-making process by selectively analyzed to determine the affected joint and correlated with significant problems in the production process. Preventive measures in order to determine the factors that affect the problem. The study found that the current of the unit Lead time is 3.52 days after the making of the Lead time reduced to 3 days, which is the goal of the organization is defined

Key words : Critical Part Method / Failure Mode And Effect Analysis / Decreat Lead Time

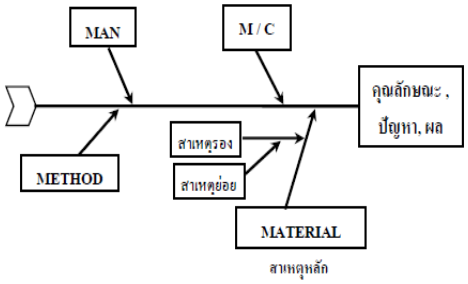
บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอในปัจจุบันมีการแข่งขันทางด้านการผลิต และการตลาดค่อนข้างสูง ซึ่งปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่จะทำให้ธุรกิจอยู่รอดได้นอกเหนือจากด้านการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ต้นทุนต่ำแล้ว ปัจจัยหลักอีกประการหนึ่งคือ การสร้างความน่าเชื่อถือให้กับธุรกิจนั่นก็คือการส่งมอบสินค้าได้ทันตามเวลาที่กำหนด ซึ่งเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่เป็นเครื่องผูกมัดทางด้านจิตใจที่ทำให้ลูกค้ามีความไว้วางใจและต้องการที่จะทำธุรกิจด้วย แต่ ณ ปัจจุบันด้วยปัญหาและอุปสรรคในหลาย ๆด้านทำให้บริษัทไม่สามารถส่งมอบสินค้าได้ทันตามเวลาที่ลูกค้ากำหนด ซึ่งเป้าหมายโดยรวมของบริษัทได้ตั้งเป้าหมายไว้ที่ 35 วัน แต่เมื่อทำการผลิตจริงแต่ละหน่วยงานก็ได้พบปัญหาในด้านต่าง ๆ ส่งผลให้เป้าหมายที่บริษัทได้ตั้งไว้เกินจากที่กำหนดส่งให้ลูกค้าเป็น 36.6 วัน ซึ่งหน่วยงานตรวจสอบคุณภาพเป็นหน่วยงานหนึ่งที่พบปัญหาเหมือนกัน ทำให้เป้าหมายที่ตั้งไว้ของหน่วยงานจากเดิม 3 วัน เป็น 3.52 วัน ในการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ผู้จัดทำมุ่งเน้นไปที่การแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการทำงาน โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล และการประยุกต์ใช้เทคนิค CPM และFMEA เข้ามาช่วยแก้ไขปัญหา เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นและทำได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

ทฤษฎี

ผังแสดงเหตุและผล (Cause And Effect Diagram)

คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของปัญหา (ผล) กับปัจจัยต่าง ๆ (สาเหตุ)ที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 1 ผังก้างปลาแสดงเหตุและผล

<u>ขั้นตอนการสร้างผังก้างปลา</u>

1. ชี้ลักษณะคุณภาพที่เป็นปัญหาออกมาให้ชัดเจน
2. ด้านขวาสุดเขียนปัญหาหรือความผิดพลาด ลากเส้นจากซ้ายไปขวามาที่กรอบหรือตัวปัญหา
3. เขียนสาเหตุหลักของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยใช้องค์ประกอบ 4M
4. เขียนสาเหตุรองและสาเหตุย่อย ๆ ลงไป ที่ส่งผลต่อ ๆ กันไป
5. สำรวจดูว่ามีสาเหตุอื่นใดอีกหรือไม่
6. จัดลำดับความสำคัญมากน้อยของสาเหตุเพื่อการแก้ไขต่อไป
7. เติมหัวข้อที่เกี่ยวข้องลงไป เช่น ชื่อผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนการผลิต วัน เดือน ปี ชื่อผู้ที่ระดมสมอง

<u>ข้อสังเกตการสร้างผังก้างปลา</u>

1. เป็นกลุ่มความคิดเห็นร่วมกันจากการระดมสมองอย่างเป็นระบบ

2. เขียนหัวปลา (ปัญหา) ให้กระชับ ชัดเจน

3. เจาะจงให้ชัดเจนในเรื่องขนาดและปริมาณด้วยข้อมูล ทั้งหัวปลาและก้างปลา

4. ต้องมีการแก้ไขเมื่อมีข้อมูลใหม่ที่ชัดเจน

5. อย่าพึงพอใจกับสาเหตุที่ได้เพียง 4 - 5 สาเหตุ เพราะสาเหตุแรก ๆ ที่เรารู้อยู่แล้วเป็นสาเหตุจากประสบการณ์ แต่สาเหตุหลัง ๆ จะเป็นสาเหตุที่ได้จากความคิดริเริ่มสร้างสรรค์โดยจะสังเกตได้ว่าถ้ามีเพียงไม่กี่สาเหตุเมื่อแก้ไขแล้วปัญหามักจะยังเกิดขึ้นอีก

6. ถ้าคิดว่าเป็นสาเหตุอื่น ๆ แน่นอนนอกจากการใช้สาเหตุหลัก 6M และ 1E แล้วก็ให้จำเพาะเจาะลงไปเลยประโยชน์ของการใช้ผังก้างปลา

1. จะได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็น ความชำนาญและประสบการณ์ของสมาชิกในกลุ่ม

2. สามารถนำไปใช้ได้กับทุกประเภทของปัญหา

3. สามารถมองภาพรวมและความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาได้ง่ายขึ้น

<u>การวางแผนและควบคุมโครงการด้วยเทคนิค PERT และ CPM</u>

1. แนวคิดเกี่ยวกับ PERT และ CPM

งานที่เป็นโครงการเป็นงานที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดที่ชัดเจน แน่นอน และสามารถกระจายออกเป็นงานย่อย ๆ ที่มีความสัมพันธ์กันได้ งานโครงการถือว่าเป็นงานชั่วคราวที่ไม่ได้ทำตลอดไปเหมือนงานประจำ เมื่อบรรลุเป้าหมายแล้วก็ถือว่าจบโครงการ งานโครงการเป็นงานที่ทำเพียงครั้งเดียว แต่ละโครงการจึงมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไป เช่น แตกต่างกันในด้านเป้าหมาย เวลา งบประมาณ บุคลากรผู้รับผิดชอบ และทีมงาน เป็นต้น

ในการบริหารงานโครงการขนาดใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมต่าง ๆ มากมายจำเป็นต้องมีการวางแผน กำหนดขั้นตอนในการทำงาน และควบคุมความก้าวหน้าของโครงการเป็นอย่างดี ในปัจจุบันมีเครื่องมือ หรือเทคนิคที่ใช้ในการบริหารโครงการที่นิยมใช้กัน ได้แก่ แผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) เทคนิคการประเมินผลและทบทวนโครงการ หรือ เพิร์ต (Project Evaluation and Review Technique: PERT) และระเบียบวิธีเส้นทางวิกฤติ หรือ ซีพีเอ็ม (Critical Path Method: CPM)

เทคนิคการประเมินผลและทบทวนโครงการ หรือ PERT และ ระเบียบวิธีเส้นทางวิกฤต หรือ CPM เป็นเทคนิคเชิงปริมาณด้านการวิเคราะห์ข่ายงาน (Network Analysis) ที่ใช้กันแพร่หลายในการวางแผนและควบคุมงานที่มีลักษณะเป็นงานโครงการ ซึ่งจะช่วยให้ผู้บริหารโครงการสามารถดำเนินโครงการให้สำเร็จตามเวลาและในงบประมาณที่กำหนด

<u>ความแตกต่างระหว่าง PERT และ CPM</u>

ข้อแตกต่างชัดเจนระหว่าง PERT และ CPM คือ เวลาในการทำกิจกรรม กล่าวคือ เวลาในการทำกิจกรรมของ PERT จะเป็นเวลาโดยประมาณซึ่งคำนวณได้ด้วยการใช้ความน่าจะเป็น PERT จึงใช้กับโครงการที่ไม่เคยทำมาก่อน หรือโครงการซึ่งไม่สามารถเก็บรวบรวมเวลาของการทำกิจกรรมได้ เช่น โครงการพัฒนาวิจัย ส่วน CPM นั้น เวลาที่ใช้ในกิจกรรมจะเป็นเวลาที่แน่นอนซึ่งคำนวณได้จากข้อมูลที่เคยทำมาก่อน เช่น อัตราการทำงานของงานแต่ละประเภท อัตราการทำงานของเครื่องจักร เป็นต้น CPM จึงใช้กับโครงการที่เคยทำมาก่อน ซึ่งมีความชำนาญแล้ว เช่น งานก่อสร้าง

2. การสร้างข่ายงาน (Network)

ข่ายงาน (Network) คือ แผนภูมิหรือไดอะแกรมที่เขียนขึ้นแทนกิจกรรมต่าง ๆ ที่ต้องทำในโครงการ โดยแสดงรายละเอียดกิจกรรมในโครงการและลำดับการทำงานของกิจกรรม หรืองาน ย่อย ๆ ตามลำดับก่อนหลังของกิจกรรม ทำให้ได้ภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น การสร้างข่ายงานมี 2 แบบ คือ

1) กิจกรรมบนเส้นเชื่อม (Activity on Arc: AOA)

เป็นการเขียนข่ายงานโดยใช้เส้นเชื่อม (Arc) แทนกิจกรรม โดยมีสัญลักษณ์ที่ใช้ดังนี้

◯ แทน จุดเชื่อม (Node) แสดงถึงเหตุการณ์เริ่มต้นหรือสิ้นสุดของกิจกรรมซึ่งวงกลมจะมีตัวเลขกำกับ โดยเริ่มจากเลขน้อยอยู่ทางซ้ายของข่ายงาน และเลขมากอยู่ทางขวาของข่ายงาน

⟶ แทน กิจกรรมที่ต้องทำ โดยมีหัวลูกศรแสดงถึงการสิ้นสุดของกิจกรรมนั้น ๆ กิจกรรม 1 กิจกรรมจะเขียนแทนด้วยลูกศร 1 อัน ซึ่งมักเป็นเส้นตรง

A, 2

(1)⟶(2) เส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดเชื่อมแสดงถึงกิจกรรม ซึ่งสามารถตั้งชื่อว่า A

และ 2 หมายถึงระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำกิจกรรม A ให้เสร็จ

(1)- - -→(2) เส้นประที่เชื่อมระหว่างจุดเชื่อม แสดงถึงกิจกรรมสมมติ (Dummy Activity) คือเป็นกิจกรรมที่ไม่มีตัวตนจริง ๆ ในโครงการ แต่นำมาใส่ในข่ายงานเพื่อช่วยในการแสดงขั้นตอนการดำเนินงานของกิจกรรมบางกิจกรรมให้ถูกต้องตรงกับความเป็นจริง

2) กิจกรรมบนจุดเชื่อม (Activity on Node: AON)

เป็นการเขียนข่ายงานโดยใช้จุดเชื่อมแทนกิจกรรม มีสัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังนี้

[A] จุดเชื่อม แสดงกิจกรรม A จุดเชื่อมนี้อาจใช้รูปสี่เหลี่ยม หรือวงกลมก็ได้เส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดเชื่อมแสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรมหรือลำดับการทำงาน เช่น ตามตัวอย่างเมื่อทำกิจกรรม A เสร็จแล้วจึงทำกิจกรรม B ได้อย่างไรก็ตาม เราจะใช้การเขียนข่ายงานแบบที่ 2 เนื่องจากเขียนได้ง่ายกว่า และยังไม่จำเป็นต้องใช้งานสมมติเข้ามาช่วยด้วย และจะใช้รูปสี่เหลี่ยมเป็นจุดเชื่อมเนื่องจากแสดงข้อมูลได้มากกว่า (บางครั้งต้องใส่ระยะเวลาลงไปด้วย)

<u>หลักในการเขียนข่ายงาน มีดังนี้</u>

1.จุดเริ่มต้นหรือเหตุการณ์เริ่มต้นของโครงข่ายงานต้องมีเพียง 1 จุด และจุดสิ้นสุดโครงข่ายงานต้องมีเพียงจุดเดียวหรือเหตุการณ์เดียวเท่านั้น

2.นิยมเขียนข่ายงานไปทางแนวนอน กล่าวคือ จุดเริ่มต้นของโครงการอยู่ทางซ้ายมือ และจุดสิ้นสุดของโครงการอยู่ทางขวามือ (ไม่นิยมเขียนจากบนลงล่าง)

3.ในการเขียนโครงข่ายงานหรือผังลูกศรจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

3.1ขณะที่กำลังเขียนงานนี้อยู่ มีงานใดต้อง ทำก่อนบ้าง

3.2ขณะที่กำลังเขียนงานนี้อยู่ มีงานใดต้อง ทำหลังจากงานนี้บ้าง

3.3ขณะที่กำลังเขียนงานนี้อยู่ มีงานใดต้อง ทำไปพร้อม ๆ กับงานนี้ บ้าง

4.พยายามหลีกเลี่ยงลูกศรตัดกัน

การวิเคราะห์ข่ายงาน

เมื่อทำการสร้างข่ายงานเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์ข่ายงานที่สร้างขึ้น เพื่อหาเส้นทางวิกฤติ (Critical Path) ซึ่งประกอบด้วยงานต่าง ๆ ที่มีความสำคัญ หรือ งานวิกฤติ (Critical Activity) ซึ่งนับเป็นงานที่กำหนดและควบคุมการเสร็จของโครงการ เนื่องจากหากงานเหล่านี้ล่าช้าไปจะทำให้โครงการเสร็จช้าไปด้วย ส่วนงานที่ไม่วิกฤติ (Non-critical Activity) เป็นงานที่อาจล่าช้ากว่าที่กำหนดไว้ได้ในช่วงเวลาหนึ่งโดยไม่กระทบกระเทือนต่อเวลาเสร็จสิ้นโครงการ

เส้นทางวิกฤตินี้จะเป็นเส้นทางที่มีระยะเวลายาวนานที่สุดของโครงการ ซึ่งระยะเวลาการดำเนินของเส้นทางวิกฤติเรียกว่า ระยะเวลาวิกฤติ (Critical time)

<u>การวิเคราะห์รูปแบบของการเสียและผลกระทบ (Failure Mode And Effect Analysis : FMEA)FMEA</u> คือเทคนิคหรือกระบวนการที่สร้างขึ้น เพื่อวิเคราะห์กิจกรรมในด้านการออกแบบหรือกระบวนการผลิตเพื่อให้แน่ใจได้ว่ามีการระบุถึงปัญหาหรือข้อบกพร่องใด ๆ ที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในกิจกรรมนั้น ๆ โดยพิจารณาถึงคุณลักษณะพิเศษระดับความรุนแรงผลกระทบที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งระบุถึงวิธีการป้องกันปัญหาดังกล่าวและตรวจสอบประสิทธิผลของการป้องกันFMEAมี 2 ชนิดใหญ่ด้วยกัน คือ

1. FMEA ด้านการออกแบบ กิจกรรมที่สร้างขึ้นในขั้นตอนการออกแบบ เพื่อพิจารณาคุณสมบัติของ

สินค้าตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า และสามารถผลิตได้ตามเป้าหมาย

2. FMEA ด้านกระบวนการ เป็นกระบวนการที่สร้างขึ้นโดยบริษัทผู้ผลิต เพื่อให้แน่ใจว่าได้มีการพิจารณาถึงข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้นทั้งหมด รวมทั้งสาเหตุและกลไกในการเกิดที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตการทำ FMEA จะมุ่งเน้นไปที่การออกแบบเสมอ ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product) หรือการออกแบบกระบวนการผลิตเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ (Process)สามารถกล่าวได้ว่า FMEA คือ กิจกรรมที่มีการจัดกลุ่มอย่างเป็นระบบและเป็นไปเพื่อ1. พิจารณาและประเมินลักษณะข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์หรือ
กระบวนการและผลที่เกิดขึ้นตามมาจากข้อบกพร่องนั้น

2. จากนั้นจึงกำหนดกิจกรรมที่สามารถกำจัด หรือ ลดโอกาสเกิดข้อบกพร่องข้างต้น

3. จัดทำกระบวนการที่กล่าวผ่านมาแล้วข้างต้นให้เป็นเอกสารในปัจจุบัน แนวโน้มของการพัฒนาด้านคุณภาพของอุตสาหกรรมคือ การปรังปรุงผลิตภัณฑ์ และกระบวนการต่างๆ อย่างต่อเนื่องในทุก ๆ ด้านที่เป็นไปได้ ดังนั้น จึงเป็นความจำเป็นอย่างหนึ่งในการนำเอา FMEA มาเป็นวินัยทางด้านเทคนิค เพื่อการบ่งชี้และช่วยลดโอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่องลง ให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แฟกเตอร์หนึ่งที่สำคัญที่สุดในการนำ FMEA มาใช้ก็คือระยะเวลาที่ทำ FMEA หมายความว่า FMEA ควรทำก่อนที่เหตุการณ์จริงจะเกิดขึ้นสำหรักระบวนการ (PFMEA) จะถูกจัดทำขึ้นก่อนที่จะมีการผลิตขึ้นจริง และเกี่ยวข้องกับการจัดทำรายงานของรูปแบบของการเสียหลัก พร้อมกับสาเหตุของการเสีย (FMEA) จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการกระทำที่จะเป็นการป้องกันข้อบกพร่อง และไม่ปล่อยให้ผลิตภัณฑ์ที่อาจเสียหรือไม่ทำงานตามที่อาจจะเสียหรือไม่ทำงานตามที่ออกแบบไว้ไปถึงมือลูกค้า วัตถุประสงค์ของ (FMEA)สำหรับกระบวนการคือ การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของการออดแบบผลิตภัณฑ์เทียบกับกระบวนการผลิต หรือกระบวนการประกอบที่ได้วางแผนไว้ เพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นไปตามการแก้ไขสามารถที่จะจัดทำขึ้นเพื่อที่จะขจัดสิ่งเหล่านี้ลดลงอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ (FMEA) ยังทำ ให้เกิดจัดทำ เอกสารที่เป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนากระบวนการผลิตกระบวนการประกอบ หรือโรงงานขึ้นอีกด้วย (FMEA) สำหรับกระบวนการประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

- บ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์หลักที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการเสียของกระบวนการ
- ประเมินกระทบต่อลูกค้าเมื่อมีการเสียเกิดขึ้น
- บ่งชี้ถึงตังเลขแปรกระบวนการที่จะต้องถูกควบคุมเพื่อลดการเกิดการเสียหาย หรือการตรวจจับการเสียหาย
- พัฒนารายการของระดับของรูปแบบของการเสียหลัก ซึ่งหมายถึงการจัดทำระบบการให้ลำดับความสำคัญสำหรับการพิจารณากิจกรรมเพื่อการแก้ไข
- จัดทำเอกสารของผลลัพธ์ของกระบวนการผลิตหรือประกอบในการทำงานเกี่ยวกับ (FMEA) นั้นจะใช้ (PFMEA) กับชิ้นงาน/กระบวนการใหม่ เมื่อมีการเปลี่ยนชิ้นงาน/กระบวนการใหม่และเมื่อนำเอาชิ้นงาน/กระบวนการไปใช้ในการทำงานหรือสภาพแวดล้อมใหม่ ซึ่งผู้จะที่จะต้องจัดทำก็คือ วิศวกรแผนกวิศวกรรมกระบวนการที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงนั้น ๆ ในระหว่างการเริ่มต้นกระบวนการของ (FMEA) วิศวกรผู้รับผิดชอบจะต้องทำงานร่วมกับตัวแทนจากทุก ๆ แผนกที่เกี่ยวข้อง ซึ่งควรจะรวมไปถึงแผนกประกอบผลิต วัสดุ ควบคุมคุณภาพให้บริการและจัดหา และแผนกประกอบที่อยู่ต่อจากกระบวนการนี้ (PFMEA) สมมติว่าผลิตภัณฑ์ตามที่ได้ออกแบบมานั้นจะเป็นไปตามความต้องการของการออกแบบ การเสียที่สำคัญซึ่งสามารถที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการออกแบบไม่ดีนั้นจะไม่ถูกรวมอยู่ใน (PFMEA) ซึ่งการบ่งชี้ผลกระทบ และวิธีการควบคุมได้ถูกรวบรวมอยู่แล้วใน (DFMEA)

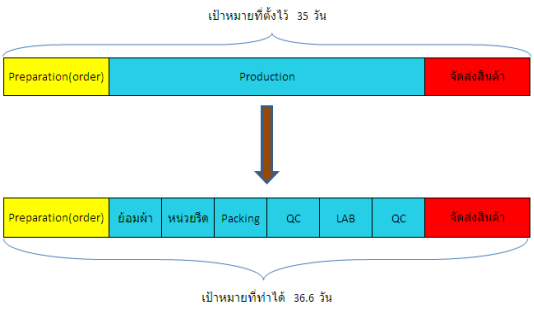
การดำเนินงานวิจัย

ประวัติและสภาพปัญหาโดยทั่วไปของโรงงานตัวอย่าง กระบวนการผลิตและกระบวนการตรวจสอบคุณภาพที่ดำเนินการอยู่ ณ ปัจจุบัน สภาพปัญหาที่พบของโรงงานตัวอย่าง นอกจากนี้ก็ยังมีการแสดงถึงขั้นตอนการวิจัย โดยอาศัยทฤษฎีที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ได้แก่ การวิเคราะห์หาเส้นทางวิกฤติ(Critical path) การหาสาเหตุโดยแผนภาพสาเหตุและผลในการวิเคราะห์ (Cause &Effect Diagram) การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและ

ผลกระทบ(Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) โดยจะนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางแก้ไข ซึ่งเป็นที่มาของการทำการวิจัย สรุปขั้นตอนการดำเนินงานได้ ดังนี้

1.การศึกษาปัญหา

จากข้อมูลในปี 2555 ตั้งแต่เดือน ม.ค.-มิ.ย. เวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละ bill(1bill ก็คือ 1product) เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการรับ Order(preparation) ไปยังกระบวนการผลิต ซึ่งมีตั้งแต่ หน่วยงานย้อมผ้า หน่วยงานรีด packing หน่วยงาน QC หน่วยงาน Lab และเมื่อผลการทดสอบจากหน่วยงาน Lab เสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะถูกส่งผลการทดสอบไปยังหน่วยงาน QC อีกครั้ง จากนั้นหน่วยงาน QC ก็จะส่งผลไปยังหน่วยงานจัดส่งเพื่อทำหน้าที่ส่งผ้าไปยังลูกค้า ซึ่งเป้าหมายโดยรวมที่ตั้งได้ตั้งแต่กระบวนการแรกจนกระทั่งถึงกระบวนการสุดท้ายตั้งไว้ที่ 35 วัน แต่ด้วยปัญหาและอุปสรรคต่างๆในหลายๆกระบวนการของการทำงานทำให้เป้าหมายที่ทำได้จริงเป็น 36.6 วัน



ภาพที่ 2 แสดงเป้าหมายในการทำงาน

ตารางที่1แสดงจำนวนงานและเวลาในการทำงานของโรงงานตัวอย่าง

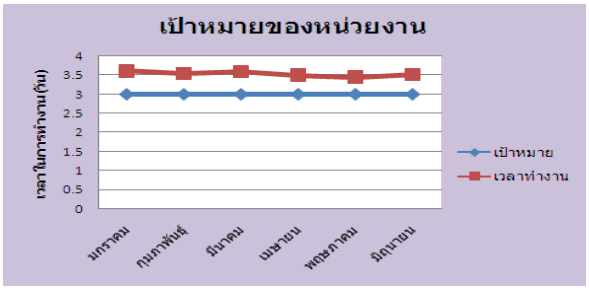
เดือน	จำนวนงานทั้งหมด	จำนวนLead Time (HR)	ค่าเฉลี่ย(HR)	ค่าเฉลี่ย (วัน)
ม.ค.	2994	3168849.60	1058.40	44.1
ก.พ.	3142	2955993.60	940.80	39.2
มี.ค.	3597	3444487.20	957.60	39.9
เม.ย.	2336	2152857.60	921.60	38.4
พ.ค.	2988	2825452.80	945.60	39.4
มิ.ย.	2840	2494656.00	878.40	36.6

ภาพที่ 3 แสดงเป้าหมายขององค์กร

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจะเป็นปัญหาภาพรวมของโรงงานตัวอย่างที่ไม่สามารถส่งผ้าให้ทันตามเวลาที่กำหนด ซึ่งเกิดจากปัญหาต่างๆของแต่ละกระบวนการและกระบวนการตรวจสอบคุณภาพก็เป็นหน่วยงานหนึ่งที่พบปัญหาเช่นนี้เหมือนกัน คือ เป้าหมายของหน่วยงานตรวจสอบคุณภาพตั้งไว้ที่ 3 วัน แต่เมื่อทำการทดสอบจริงก็ได้พบกับปัญหาต่างๆทำให้ไม่สามารถที่จะทำงานได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งเวลาที่ทำได้จริงเป็น 3.52 วัน

ตารางที่ 2 แสดงจำนวนงานและเวลาในการทำงานของกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ

เดือน	จำนวนงานทั้งหมด	จำนวนLead Time (HR)	ค่าเฉลี่ย(HR)	ค่าเฉลี่ย (วัน)
ม.ค.	2994	259400.16	86.64	3.61
ก.พ.	3142	266944.32	84.96	3.54
มี.ค.	3597	309917.52	86.16	3.59
เม.ย.	2336	196224.00	84.00	3.50
พ.ค.	2988	247406.40	82.80	3.45
มิ.ย.	2840	239923.20	84.48	3.52



ภาพที่ 4 แสดงเป้าหมายของหน่วยงาน

2.การศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานตัวอย่าง

โรงงานตัวอย่างที่ผู้ทำการวิจัยทำการศึกษาในครั้งนี้ เป็นโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ ตั้งอยู่ที่ จ. สมุทรสาคร ขณะนี้โรงงานตัวอย่างได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO 9001: 2000 รูปแบบของผลิตภัณฑ์ของ

โรงงานตัวอย่างเป็นประเภทผ้าสีเป็นผลิตภัณฑ์หลักผลิตเพื่อขายให้การ์เมนทในประเทศร้อยละ 80 และส่งออกขายยังต่างประเทศร้อยละ 20 ระบบการทำงานของโรงงานตัวอย่างมีการทำงาน 6 วันต่อสัปดาห์ ทำการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง แบ่งการทำงานออกเป็น 2 กะ คือ กะ A ทำงานระหว่างเวลา 08.00-20.00 น. กะ B ทำงานระหว่าง 20.00-08.00 น. โดยการทำงานทั้งสองกะจะมีการสลับเปลี่ยนกะอาทิตย์ละหนึ่งครั้ง มีการจ้างพนักงานเป็นแบบรายเดือนและรายวัน

2.2 กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ

ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.2.1 ขั้นตอนการรับงาน

การรับชิ้นงานผ้าตัวอย่าง(Sample) ก็คือหน่วยงาน QC จะทำการส่งชิ้นงานผ้าตัวอย่าง(Sample) ให้กับหน่วยงานตรวจสอบคุณภาพ โดยหน่วยงานที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบคุณภาพจะทำการตรวจเช็คว่าผ้าที่รับมานั้นข้อมูลที่มากับผ้าตรงกับข้อมูลในโปรแกรม QCSTD หรือไม่ ถ้าข้อมูลตรงกันถือว่าทำจะสามารถทำการทดสอบ Sample นั้นได้ แต่ในกรณีที่ข้อมูลที่มากับผ้าไม่ตรงกับโปรแกรม QCSTD จะต้องทำการส่งชิ้นงานผ้าตัวอย่าง(Sample) กลับไปยังหน่วยงาน QC

- ✓ Sample คือชิ้นผ้าตัวอย่างที่ตัดส่งมาเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพหลังจากผ่านกระบวนการฟอกย้อมและรีดเรียบร้อยแล้ว
- ✓ โปรแกรม qcstd เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของผ้าแต่ละbill

2.2.2 ขั้นตอนการตรวจเช็ค

ผู้ที่ทำหน้าที่ในการตรวจเช็ค จะทำหน้าที่ในการตรวจเช็คเลขที่ bill เบอร์ผ้า และ Item spec โดยจะยึดหลักการในการทดสอบว่าแต่ละ bill จะทำการทดสอบอะไรบ้าง โดยยึดจาก Item spec

- ✓ Item spec จะเป็นกำหนดว่าผ้าแต่ละ bill หรือแต่ละเบอร์ผ้าต้องการที่จะทำการตรวจสอบคุณภาพในเรื่องใดบ้าง

2.2.3 ขั้นตอนในการแบ่งงาน

ผู้ที่ทำหน้าที่ในการแบ่งชิ้นงาน จะทำการตัดแบ่งชิ้นงานให้แต่ละการทดสอบตามใบ check list ซึ่งทางผู้ที่ทำหน้าที่ในการตรวจเช็คงานได้ส่งมาให้(ซึ่งผ้าแต่ละ bill จำนวนการทดสอบของผ้าแต่ละ bill จะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับ Item spec ของผ้าแต่ละ bill ว่าต้องการให้ทำการทดสอบในเรื่องใดบ้าง)

- ✓ Check list คือ ใบที่แสดงรายการการทดสอบคุณภาพในเรื่องต่างๆของ Bill นั้นๆ

2.2.4 รายละเอียดของการทดสอบแต่ละการทดสอบ

2.2.4.1 การทดสอบ Washing คือ การทดสอบเพื่อดูการเปื้อนติดสีของผ้าหลังจากการซัก

2.2.4.2 การทดสอบ Perspiration คือ การทดสอบเพื่อดูความคงทนของผ้าต่อเหงื่อในสภาวะกรด-ด่าง

2.2.4.3 การทดสอบ PH คือ การทดสอบเพื่อดูค่าความเป็นกรด-ด่างของผ้า

2.2.4.4 การทดสอบ Strength คือ การทดสอบเพื่อดู % การยืด-หดของผ้า

2.2.4.5 การทดสอบ Heat คือ การทดสอบเพื่อดู % การยืด-หดของผ้าหลังจากได้รับความร้อน

2.2.4.6 การทดสอบ Wicking คือ การทดสอบเพื่อดูการดูดซึมน้ำของผ้า

2.2.4.7 การทดสอบ Migration คือ การทดสอบเพื่อดูการเปื้อนติดสีของผ้าหลังจากได้รับความร้อน

2.2.4.8 การทดสอบ Pilling คือ การทดสอบเพื่อดูการขึ้นขนของผ้า

2.2.4.9 การทดสอบ Snagging คือ การทดสอบเพื่อดูลักษณะการเกี่ยวของผ้า

2.2.4.10 การทดสอบ FTK คือ การทดสอบเพื่อดูการทิ้งตัวของผ้า

2.2.4.11 การทดสอบ Shrinkage คือ การทดสอบเพื่อดู % การยืด-หดของผ้าหลังจากการซัก

2.2.4.12 การทดสอบ Burst คือ การทดสอบเพื่อดูความคงทนของผ้าต่อแรงดึง

2.2.5 ขั้นตอนการประมวลผล

หลังจากทำการทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการประมวลผลการทดสอบ

2.2.7 ขั้นตอนการบันทึกข้อมูล

หลังจากที่ได้ผลการทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ทำการบันทึกข้อมูล

2.2.8 ขั้นตอนการตรวจสอบ report

เมื่อได้ทำการทดสอบและประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนที่จะนำผลการทดสอบส่งต่อให้หน่วยงาน QC จะต้องมีการตรวจสอบ report ให้เรียบร้อยก่อนส่งให้หน่วยงาน QC เมื่อตรวจสอบเรียบร้อยแล้วจะทำการ Comple แสดงว่างานของ Bill นั้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว

3.การกำหนดเป้าหมาย

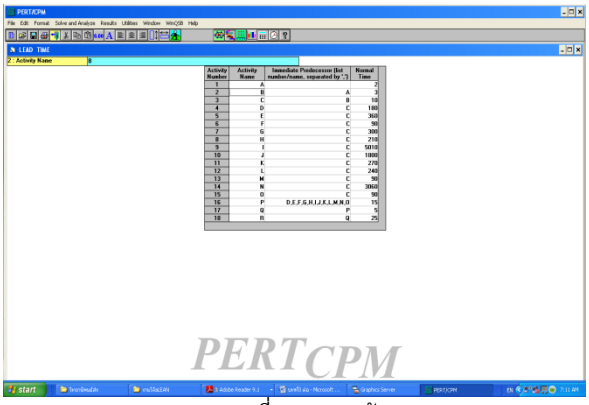
จากเป้าหมายที่ทางหน่วยงานได้ตั้งไว้ซึ่งไม่สามารถบรรลุตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้ ด้วยปัญหาในด้านต่าง ๆที่เกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการรับผ้ามาทดสอบ ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน ตลอดจนการทดสอบซึ่งระหว่างกระบวนการต่าง ๆทำให้เกิดปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆมากมาย ดังนั้นถ้าเราสามารถลดปัญหาหรือข้อบกพร่องต่าง ๆได้ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพได้ จะทำให้เป้าหมายในการทำงานของกระบวนการทดสอบลดลงจากเดิม 3.52 วันเป็น 3 วัน

4.การรวบรวมข้อมูล

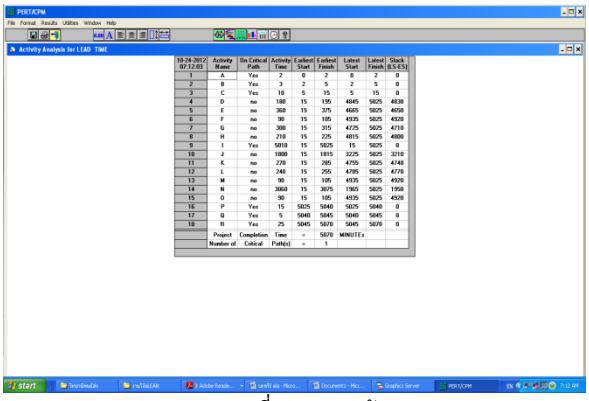
4.1 การวิเคราะห์หาเส้นทางวิกฤติว่าจุดใดในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพที่ส่งผลให้ Lead time ของกระบวนการตรวจสอบคุณภาพยาวเกินจากเวลาที่กำหนดจริง เป็นการวิเคราะห์เพื่อดูปัญหาโดยภาพรวมของกระบวนการทำงานว่าจุดใดที่เป็นสาเหตุที่ทำให้ Lead time ของกระบวนการทำงานยาวเกินจากเวลาที่กำหนด

ตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดขั้นตอนการทำงานในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ

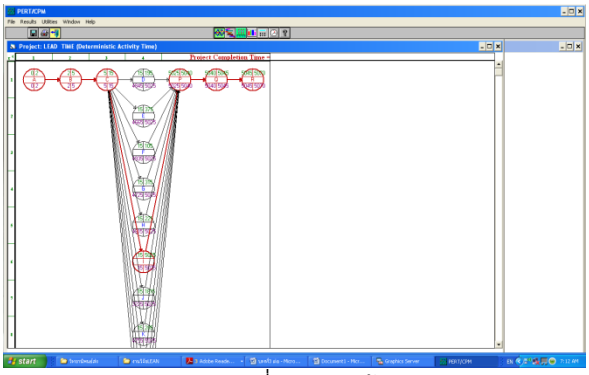
	กิจกรรม	รายละเอียด	กิจกรรมที่ต้องทำก่อน	เวลาที่ทำ (นาที)
1	A	รับ sample		2
2	B	ตรวจเช็คชิ้นงาน	A	3
3	C	แบ่งงาน	B	10
4	D	การทดสอบ Washing	C	180
5	E	การทดสอบ Perspiration	C	360
6	F	การทดสอบ PH	C	90
7	G	การทดสอบ Strength	C	300
8	H	การทดสอบ Heat	C	210
9	I	การทดสอบ Wicking	C	5010
10	J	การทดสอบ Migration	C	1800
11	K	การทดสอบ Pilling	C	270
12	L	การทดสอบ Snagging	C	240
13	M	การทดสอบ FTK	C	90
14	N	การทดสอบ Shrinkage	C	3060
15	O	การทดสอบ Burst	C	90
16	P	การประมวลผลทดสอบ	D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N,O,	15
17	Q	การบันทึกข้อมูล	P	5
18	R	การตรวจสอบ Report	Q	25



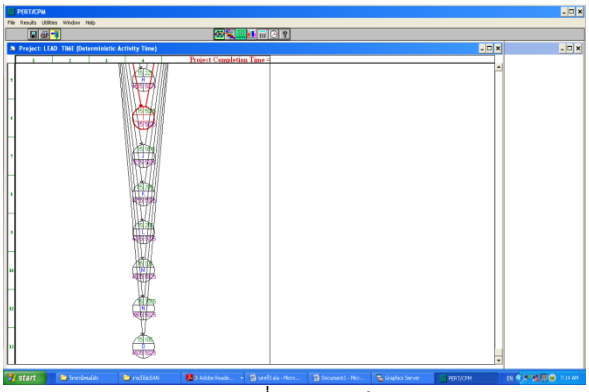
ภาพที่ 5 แสดงหน้าจอ CPM



ภาพที่ 6 แสดงหน้าจอ CPM



ภาพที่ 7 แสดงหน้าจอ CPM

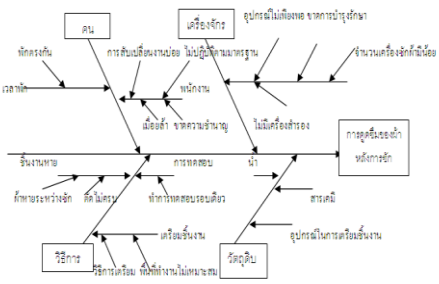


ภาพที่ 8 แสดงหน้าจอ CPM

จากการวิเคราะห์หาสายงานวิกฤตพบว่าสายงานวิกฤตที่ทำให้ Lead time ยาวเกินจากเวลาที่กำหนด คือ สายงานวิกฤต A-B-C-I-P-Q-R

4.2 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ซึ่งทำให้ Lead time ยาวเกินจากเวลาที่กำหนด ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งที่ถือว่ามีความสำคัญเนื่องจากเป็นขั้นตอนที่สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริง

การวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ Lead time ของการทดสอบการดูดซึมของผ้าหลังการซักเกินจากเวลาที่กำหนด



ภาพที่ 9 แสดงภาพผังแสดงเหตุและผล

4.3 การเลือกปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการดำเนินการที่ส่งผลให้ Lead time ของกระบวนการตรวจสอบคุณภาพยาวนาน

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ จากสาเหตุต่างๆที่เราได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลต่อ Lead time เกินเป้าหมายที่ควบคุมซึ่งปัญหาต่างๆได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง ซึ่งเป็นกลวิธีที่ใช้เพื่อการศึกษาถึงสาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบและค้นหาสาเหตุที่สำคัญมากที่สุด ขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ เมื่อตัวแทนแต่ละตำแหน่งตามที่กำหนด ได้ร่วมกันระบุข้อบกพร่องที่เกิดจากขั้นตอนการปฏิบัติงานในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพพร้อมกับระบุผลกระทบของข้อบกพร่อง ที่มีแนวโน้มจะเกิดขึ้นจากนั้นทำการประเมินระดับความรุนแรงของผลกระทบจากข้อบกพร่อง(Severity) ความถี่ของการเกิดข้อบกพร่อง(Occurrence) และความสามารถในการตรวจจับ ข้อบกพร่องก่อนส่งถึงมือลูกค้า (Detection) ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของปัญหาการทดสอบการซึมน้ำ

กระบวนการ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของ	S	สาเหตุที่ทำให้เกิด	O	การควบคุม	D	RPN	แนวปฏิบัติการแก้ไข				
									การแก้ไข	S	O	D	RPN
การทด	ปรับเปลี่ยนงานบ่อย	พนักงานทำงานซ้ำ	5	มีการเปลี่ยนหน้าที่ในการทำงานบ่อย	4	พยายามให้คนทำงานที่เดิม	2	80					
สอบการ	เวลาพักตรงกัน	งานหยุดระงักเนื่องจากไม่มีคนทำงาน	5	การจัดเวลาพักของพนักงาน	5	จัดตารางพักไม่ให้ตรงกัน	2	100					
ซึมน้ำ	เครื่องจักรมีน้อย	งานเสร็จไม่ทัน	6	เครื่องจักรเสีย	4	ผ้แผนการปารุงรักษา	3	72					
	ทำการทดสอบ	งานออกช้า	5	ไม่รู้ระบบงาน	6	จัดอบรมพนักงาน	2	60					
	การเตรียมชิ้นทดสอบ	งานออกช้า	5	มีรู้ระบบงานว่าอะไรควรทำก่อน	7	จัดอบรมพนักงาน	2	70					
	พื้นที่ในการทำงาน	ไม่สะดวกในการทำงาน	9	การแบ่งโซนพื้นที่การทำงาน	8	จัดพื้นที่การทำงานให้เหมาะกับลักษณะงาน	1	72					

จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของปัญหาการทดสอบการซึมน้ำนั้น แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีความเสี่ยงที่ส่งผลให้ Lead time เกินจากเป้าหมายที่เราได้กำหนดไว้ คือ เวลาพักของพนักงาน ส่วนปัจจัยรองลงมาก็คือ การปรับเปลี่ยนงานของพนักงานบ่อย เครื่องจักร พื้นที่ในการทำงาน และวิธีการทดสอบตามลำดับ ซึ่งจากปัจจัยที่มีความเสี่ยงนี้

เราก็ได้นำเอาปัจจัยที่มีความเสี่ยงมากที่สุดมาวิเคราะห์เพื่อปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานใหม่

ตารางที่ 5 แสดงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการทดสอบการดูดซึมน้ำ

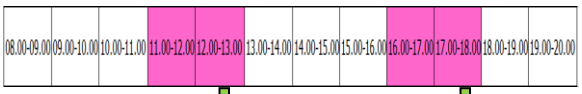
รองาน	เตรียมชิ้นงาน <ก่อนซัก>	ขั้นตอนการซักผ้า <25 wash>	เตรียมชิ้นงาน <หลังซัก>	condition ชิ้นงานก่อนทดสอบ	การทดสอบ	key ผลทดสอบ
10 min	10 min	ซักผ้า 25 wash = 41.6 hr เวลาที่ใช้เดินไปซักผ้า = 4.2 hr รวมเวลาทั้งหมด = 45.4 hr	10 min	24 hr	1.5 hr	10 min

จากตารางที่แสดงข้างต้นทำให้เห็นเป้าหมายที่เราได้กำหนดไว้ ซึ่งสิ่งที่เราทำได้จริงมันเกินจากเป้าหมายที่เราได้กำหนดไว้ ดังนั้นเราจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนซึ่งในที่นี้เราจะทำการปรับเปลี่ยนเวลาพักของพนักงานซึ่งเดิมจะทำการพักในเวลาเดียวกัน เปลี่ยนมาพักคนละช่วงกัน ดังนี้

<u>การปรับเปลี่ยนเวลาพักของพนักงาน</u>

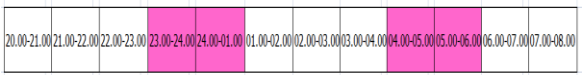
-เวลาพักของพนักงานปัจจุบันพนักงานจะพักทำงานในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ 6 พนักงานเข้าทำงานกะเช้า



เวลาพักของพนักงานคนที่ 1, 2 เวลาพักของพนักงานคนที่ 1, 2

ตารางที่ 7 พนักงานเข้าทำงานกะดึก

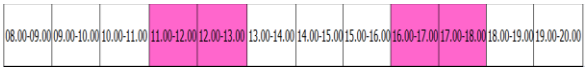


เวลาพักของพนักงานคนที่ 1, 2 เวลาพักของพนักงานคนที่ 1, 2

จากที่กล่าวมาข้างต้นการที่พนักงานพักในเวลาเดียวกันทำให้การทำงานเกิดความล่าช้าขึ้น จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนเวลาพักของพนักงานใหม่ ดังนี้

เวลาพักของพนักงานซึ่งถูกเปลี่ยนไปพักคนละช่วงเวลากัน

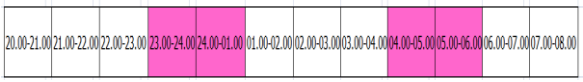
ตารางที่ 8 พนักงานเข้าทำงานกะเช้า



เวลาพักของ พนักงานคนที่ 1 เวลาพักของ พนักงานคนที่ 2 เวลาพักของ พนักงานคนที่ 1 เวลาพักขอ พนักงานคนที่ 2

ในการทำงานของพนักงานที่ทำงานในช่วงเวลาเข้าทำงานกะเช้า พนักงานแต่ละคนจะมีช่วงเวลาพักของแต่ละคนใน 2 ช่วงเวลาด้วยกันคือ ในการพักช่วงแรกพนักงานคนที่ 1 จะพักเวลา 11.00-12.00 ส่วนคนที่ 2 จะพักเวลา 12.00-13.00 และในส่วนการพักช่วงที่ 2 พนักงานคนที่ 1 จะพักเวลา 16.00-17.00 ส่วนคนที่ 2 จะพักเวลา 17.00-18.00

ตารางที่ 9พนักงานเข้าทำงานกะดึก



เวลาพักของ พนักงานคนที่1 เวลาพักของ พนักงานคนที่ 2 เวลาพักของ พนักงานคนที่1 เวลาพักของ พนักงานคนที่ 2

ในการทำงานของพนักงานที่ทำงานในช่วงเวลาเข้าทำงานกะดึก พนักงานแต่ละคนจะมีช่วงเวลาพักของแต่ละคนใน 2 ช่วงเวลาด้วยกันคือ ในการพักช่วงแรกพนักงานคนที่ 1 จะพักเวลา 23.00-24.00 ส่วนคนที่ 2 จะพักเวลา 24.00-01.00 และในส่วนการพักช่วงที่ 2 พนักงานคนที่ 1 จะพักเวลา 04.00-05.00 ส่วนคนที่ 2 จะพักเวลา 05.00-06.00

ผลดำเนินงานวิจัย

จากการดำเนินงานโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เพื่อปรับเปลี่ยนระบบการทำงาน ด้วยวิธีการปรับเวลาพักของพนักงาน ซึ่งเดิมพนักงานใช้เวลาพักในช่วงเวลาเดียวกัน เราจึงทำการเปลี่ยนเวลาพักให้อยู่คนละช่วงกันเพื่อที่จะให้พนักงานสามารถมาเปิดเครื่องซักต่อไปโดยไม่ให้เครื่องว่าง

จากการปรับเวลาพักของพนักงาน ทำให้เครื่องไม่สามารถหยุดซักได้เนื่องจากมีพนักงานทำงานตลอดส่งผลให้การซักผ้าใช้เวลาในการซักที่เปลี่ยนไปดังนี้

ตารางที่ 10 เวลาที่ใช้ในการซักผ้าหลังจากการปรับเปลี่ยนเวลาการซักผ้าในช่วงเดือนแรก

สัปดาห์	จำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการทดสอบผ้า(วัน)
1	79.2	3.30
2	79.2	3.30
3	78.0	3.25
4	76.8	3.20

ตารางที่ 11 เวลาที่ใช้ในการซักผ้าหลังจากการปรับเปลี่ยนเวลาการซักผ้าในช่วงเดือนที่สอง

สัปดาห์	จำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการทดสอบผ้า(วัน)
1	75.6	3.15
2	74.4	3.10
3	72.0	3.00
4	72.0	3.00

ตารางที่ 12 เวลาที่ใช้ในการซักผ้าหลังจากการปรับเปลี่ยนเวลาการซักผ้าในช่วงเดือนที่สาม

สัปดาห์	จำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการทดสอบ	เวลาที่ใช้ในการทดสอบผ้า(วัน)
1	84.0	3.50
2	82.8	3.45
3	81.6	3.40
4	79.2	3.30

จากตารางดังกล่าวข้างต้นในช่วงเดือนแรกพนักงานยังไม่สามารถปรับตัวในเรื่องของการซักผ้าให้ตรงตามเวลาที่ระบุได้ อาจเกิดจากพฤติกรรมการทำงานของพนักงานในเรื่องการปรับตัวทำให้มีการหลงลืม ซึ่งทำให้เครื่องซักผ้าหยุดโดยไม่มีพนักงานไปทำงาน ทำให้เวลาที่ใช้ในการทดสอบยังไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก เราจึงได้มีการเพิ่มในส่วนของนาฬิกาจับเวลาเข้ามาเพื่อคอยเตือนให้พนักงานไม่ลืมเวลาที่จะต้องไปซักผ้าจะส่งผลต่อการไม่ให้เกิดการรอคอยในช่วงที่เครื่องหยุดซักและต้องรอพนักงานไปซักผ้า ในช่วงเดือนที่สองเวลาในการทดสอบเริ่มดีขึ้นจนมาถึงช่วงเดือนที่สามเวลาที่ใช้ในการซักผ้าได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สายงานวิกฤตการหาสาเหตุโดยแผนภาพสาเหตุและผลในการวิเคราะห์และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบเพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายของโรงงานตัวอย่าง จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงทำการระดมสมองเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ส่งสินค้าไม่ทันตามเวลาที่กำหนด ซึ่งอาจเกิดจากคน เครื่องจักร วิธีการทำงาน พื้นที่ในการทำงาน หลังจากนั้นได้ทำการแจกแจงปัญหาและวิเคราะห์หาจุดที่ทำให้งานล่าช้า และมาวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่เป็นสาเหตุที่ทำให้งานล่าช้า จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ เพื่อหาปัจจัยเสี่ยงมากที่สุดที่มีผลต่อการทำงานทำให้งานออกล่าช้า และหาวิธีการแก้ไขปัญหาเพื่อนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงระบบการทำงานเพื่อให้งานออกทันตามเวลาที่กำหนดและส่งผลให้โรงงานตัวอย่างส่งมอบสินค้าได้ทันตามเวลาที่กำหนด

จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ทำให้ทราบว่าปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำงานที่ทำให้งานล่าช้าและไม่สามารถส่งมอบสินค้าไม่ทันตามเวลาที่กำหนดได้ ซึ่งมีปัจจัยหลายๆปัจจัยด้วยกัน คือ เวลาพักของพนักงาน การปรับเปลี่ยนงานของพนักงานบ่อย เครื่องจักร พื้นที่ในการทำงาน และวิธีการทดสอบตามลำดับและปัจจัยที่มีความเสี่ยงที่ส่งผลกระทบมากที่สุดที่ทำให้งานออกล่าช้า คือ เวลาพักของพนักงาน

การวิเคราะห์เพื่อปรับเปลี่ยนเวลาในการทำงานจากที่ได้ทำการเปลี่ยนเวลาพักของพนักงานที่ทำการทดสอบซึ่งจากเดิมที่พักในเวลาเดียวกันเปลี่ยนไปพักกัน

คนละช่วง เพื่อให้เวลาพักของพนักงานไม่ตรงกันและทำการทดสอบงานได้โดยที่งานไม่มีการหยุดชะงัก ทำให้เวลาที่ใช้ในการทดสอบงานซึ่งจากเดิมจะใช้เวลาในการทดสอบ 3.52 วัน เวลาที่ใช้ลดลงเหลือใช้เวลาในการทดสอบเพียง 3 วัน ทำให้สามารถทำงานได้ทันตามเป้าหมายที่เราได้กำหนดไว้

เอกสารอ้างอิง

[1]ประจวบ กล่อมจิตร การออกแบบโรงงานอุตสาหกรรม.--กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2555

[2]วุฒิชัย สังขทรัพย์.การศึกษาปัจจัยสนับสนุนการดำเนินงานการยศาสตร์โดยอาศัยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 2550

[3]อภิชาติ สนธิสมบัติ กระบวนการทางเคมีสิ่งทอ . กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด มหาชน , 2554:97-106

[4]กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริซ. การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ FMEA กรุงเทพมหานคร : บริษัทเทคนิคคอล แอพโพรช เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนสิ่ง จำกัด, 2547:107-122

[5]กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริซ.ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างานคิวซีเซอร์ . พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพมหานคร : บริษัทเทคนิคคอล แอพโพรช เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนสิ่ง จำกัด,2550.293-363

การจำลองสถานการณ์การเข้ารับบริการของผู้ป่วยนอกโดยโปรแกรม ARENA® กรณีศึกษาศูนย์จักษุ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Simulation of An Outpatient Services Using Arena® A Case Study of Eye Center Srinagarind Hospital Khon Kaen University

ทิพย์ธัญญา แก้วศิริ * อภิชาติ บุญมา พรเทพ ขอขจายเกียรติ
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000 E-mail: oewkhuyluy1202@hotmail.com*

Tiptunya Kaewsiri *, Apichat Boonma, Porntep Khokhajaikiat
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Muang, Khon Kaen, 40000, E-mail: oewkhuyluy1202@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบของการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโดยแพทย์ กรณีศึกษา ณ ศูนย์จักษุ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ ที่ทำให้เวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้ป่วยต่ำที่สุด ด้วยการจำลองสถานการณ์การเข้ารับบริการของผู้ป่วยในปัจจุบัน (ซึ่งการเข้ารับบริการในปัจจุบันแบ่งออกเป็นการรับบริการแบบ Service และ Consult Dent) โดยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์การเข้ารับบริการของผู้ป่วยตามรูปแบบของจำลองเหตุการณ์เดี่ยวด้วยโปรแกรม ARENA® ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบการจัดลำดับการเข้ารับบริการด้วยวิธี FCFS (วิธีที่ใช้ในปัจจุบัน), SPT, LPT และ Greedy random ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวัดผลประกอบด้วยเวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ย โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยหลักการทางสถิติ และทำการประเมินความสามารถในการให้บริการผู้ป่วย เมื่อมีปริมาณผู้ป่วยเข้ารับบริการเพิ่มขึ้น ผลการวิจัยพบว่า ในการเข้ารับบริการแบบ Service นั้น เวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้ป่วยที่ได้จากการจัดลำดับการเข้ารับบริการทั้ง 4 วิธี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธี SPT ให้ค่าเวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 139.73 นาที และ 118.81 นาที ตามลำดับ ซึ่งสามารถลดเวลาในระบบเฉลี่ยลงได้ 7.56 นาที หรือ 10.56% และสามารถลดเวลารอคอยเฉลี่ยลงได้ 7.56 นาที หรือ 8.99% เมื่อเทียบกับวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ขณะเดียวกัน ในการเข้ารับบริการแบบ Consult Dent นั้น ผลที่ได้คือ เวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้ป่วยที่ได้จากการจัดลำดับการเข้ารับบริการทั้ง 4 วิธี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยวิธี FCFS เป็นวิธีที่ให้ค่าเวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 90.13 นาที และ 72.24 นาทีตามลำดับ เมื่อทำการทดลองเพิ่มปริมาณผู้ป่วยในการเข้ารับบริการแบบ Service พบว่า วิธี SPT ให้ค่าเวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยต่ำที่สุด เพิ่มขึ้นได้ถึง 20% โดยพิจารณาจากเวลาการให้บริการ 8 ชั่วโมงใน 1 วัน และเมื่อทำการทดลองเพิ่มปริมาณผู้ป่วยในการเข้ารับบริการแบบ Consult Dent พบว่า วิธี FCFS ให้ค่าเวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยต่ำที่สุด เพิ่มขึ้นได้ถึง 57%

คำหลัก การจำลองสถานการณ์, เวลาในระบบเฉลี่ย, เวลารอคอยเฉลี่ย

Abstract

The research aims to study scheduling plan that minimize average total time and average waiting time for patient receiving medical services (classified into 2 forms i.e. “Service” and “Consult Dent”) from a case study doctor at Eye Center, Srinagarind Hospital. A patient flow model was developed based on current environment using a discrete event simulation software e.g. ARENA® and used to examine different scheduling plans including FCFS, SPT, LPT and Greedy Random. Key Performance Indicators such as average total time and average waiting time of different scheduling plans were statistically compared. Finally, system capacity to manage increase in patient arrivals was evaluated. In case of “Service”, the result indicates that average total time and average waiting time obtained from each scheduling plan is significantly different from one another. SPT performs better than other scheduling plans as it gives the minimum average total time and average waiting time of 139.73 and 118.81 minutes respectively. And thus, SPT can reduce average total time and average waiting time of 7.56 minutes or 10.56% and 10.56 minutes or 8.99% when compared to current scheduling plan (FCFS). In case of “Consult Dent”, the result indicates that average total time and average waiting time obtained from each scheduling plan is significantly different from one another. FCFS performs better than other scheduling plans as it gives the minimum average total time and average waiting time of 90.13 and 72.24 minutes respectively. When the number of patients increases, in case of “Service”, SPT gives the minimum average total time and average waiting time. Also, SPT can increase system capacity in patient arrivals of 20%. On the other hand, when the number of patients increases, in case of “Consult Dent” FCFS gives the minimum average total time and average waiting time. Also, FCFS can increase system capacity in patient arrivals of 57% based on service time of 8 hours in day.

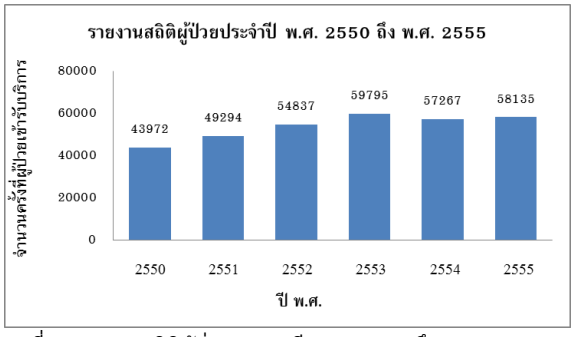
Keywords: Simulation, Average total time, Average waiting time

1. บทนำ

โรงพยาบาลศรีนครินทร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เป็นโรงพยาบาลของรัฐแห่งหนึ่งที่ให้บริการรักษาโรคตาแก่ประชาชนในจังหวัดขอนแก่นและจังหวัดต่างๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตลอดจนเป็นสถานศึกษาสำหรับนักศึกษาแพทย์และแพทย์เฉพาะทางด้านจักษุวิทยา โดยโรงพยาบาลศรีนครินทร์เปิดบริการศูนย์จักษุ ให้บริการตรวจรักษาและผ่าตัดเกี่ยวกับโรคเฉพาะทางตา ผู้ป่วยโรคตาทั่วไปมีขั้นตอนการให้บริการตั้งแต่การยื่นบัตร การซักประวัติ การทำหัตถการก่อนพบแพทย์ การพบแพทย์ และการรับบัตรนัด หลังจากนั้นผู้ป่วยจะไปสู่ขั้นตอนการรับยารวมกับแผนกผู้ป่วยนอก ศูนย์จักษุ โรงพยาบาลศรีนครินทร์เปิดให้บริการรักษาโรคตาทั่วไปและคลินิกโรคตาเฉพาะทาง (Special clinic) ตั้งแต่เวลา 08.30 - 16.30 น. ในวันจันทร์ถึงวันศุกร์

จากข้อมูลการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโรคตาที่ศูนย์จักษุ ฯ พบว่า ในปี พ.ศ.2550 – 2555 มีผู้ป่วยเข้ารับบริการจำนวน 43,972, 49,294, 54,837, 59,795 และ 58,135 ครั้งตามลำดับ (โรงพยาบาลศรีนครินทร์, 2555) ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ความถี่ที่ผู้ป่วยเข้ารับบริการที่ศูนย์จักษุ ฯ มีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี โดยตั้งแต่ปี พ.ศ.2550 - 2555 ค่าความถี่ที่ผู้ป่วยเข้ารับบริการสามารถนำไปคิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้นแต่ละปี เท่ากับ 12.10, 11.24, 9.04, -4.23 และ 1.51 ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 5.94 % ต่อปี ดังแสดงในภาพที่ 1

จากการศึกษากลุ่มตัวอย่างผู้ป่วยที่เข้ารับบริการของศูนย์จักษุฯ พบว่ากลุ่มตัวอย่างป่วยเป็นโรคทางตาที่หลากหลาย โรคทางตาแต่ละชนิดมีความซับซ้อนในการตรวจรักษาและใช้เวลาในการตรวจรักษาที่แตกต่างกัน โดยในปี พ.ศ. 2555 ศูนย์จักษุ ฯ มีจำนวนโรคหลักๆ ที่



รูปที่ 1 รายงานสถิติผู้ป่วยประจำปี พ.ศ. 2550 ถึง พ.ศ. 2555

แพทย์ของศูนย์จักษุ ฯ ให้การรักษาทั้งหมด 22 โรค ดังแสดงรายชื่อในภาคผนวก ก (โรงพยาบาลศรีนครินทร์, 2555) ในบรรดาโรคเหล่านี้ผู้ป่วยที่เป็นโรคตาบางชนิด เช่น จอประสาทตาฉีกขาดและหลุดลอก (Retinal Detachments with Retinal Breaks) จำเป็นจะต้องได้รับการตรวจรักษาอย่างเร่งด่วนเนื่องจากหากผู้ป่วยได้รับการรักษาล่าช้าอาจจะส่งผลให้การรักษาเป็นไปได้ยาก และผลการรักษาไม่เป็นที่น่าพอใจ โดยปกติแล้วโรคลักษณะนี้จะต้องใช้เวลานานในการตรวจรักษา เพราะว่าแพทย์ต้องใช้การตรวจหลายขั้นตอนและต้องมีการทำหัตถการเพิ่มเติม ขณะที่โรคตาอีกกลุ่มหนึ่ง เช่น หนังตาบนตกแต่กำเนิด (Congenital Ptosis) อาจจะไม่จำเป็นต้องได้รับการรักษาอย่างเร่งด่วนเนื่องจากการได้รับการรักษาล่าช้าจะไม่ส่งผลต่อการรักษา โดยปกติแล้วโรคลักษณะนี้จะใช้เวลาการตรวจรักษาน้อยกว่า ซึ่งผู้ป่วยที่เข้ามารับบริการในศูนย์จักษุ ฯ จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มโรค A หมายถึงผู้ป่วยที่มีอาการป่วยด้วยกลุ่มโรคที่มีอาการไม่รุนแรง กลุ่มโรค B หมายถึงผู้ป่วยที่มีอาการป่วยด้วยกลุ่มโรคที่มีอาการปานกลาง และกลุ่ม C หมายถึงผู้ป่วยที่มีอาการป่วยด้วยกลุ่มโรคที่มีอาการรุนแรง ซึ่งผู้ป่วยแต่ละกลุ่มโรคจะต้องได้รับการตรวจรักษาที่แตกต่างกันทำให้เวลาที่ใช้ในการตรวจรักษาของแพทย์แตกต่างกัน

ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าผู้ป่วยที่เข้ารับบริการในศูนย์จักษุ ฯ มีความเร่งด่วนในการเข้ารับการตรวจรักษาไม่เท่ากัน ดังนั้นผู้ป่วยที่ป่วยด้วยโรคที่มีความเร่งด่วนมากกว่าควรจะต้องได้รับการตรวจรักษาก่อน อย่างไรก็ตามจากการสอบถามเจ้าหน้าที่และแพทย์ผู้ทำหน้าที่รักษาผู้ป่วยของศูนย์จักษุ ฯ พบว่าศูนย์จักษุ ฯ ยังไม่ได้มีการพิจารณาถึงปัจจัยด้านความเร่งด่วนดังกล่าว ในการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วย โดยในปัจจุบันศูนย์จักษุ ฯ จัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโดยพิจารณาจากลำดับการมาถึงของผู้ป่วย ซึ่งอาจจะทำให้ผู้ป่วยที่ป่วยด้วยโรคที่มีความเร่งด่วนซึ่งใช้เวลานานในการตรวจรักษาและมาถึงศูนย์จักษุฯ ช้ากว่าผู้ป่วยที่ป่วยด้วยโรคที่มีความเร่งด่วนน้อยกว่า ต้องรอรับการรักษาเป็นเวลานานกว่าจะได้เข้ารับการรักษา ปัจจุบันศูนย์จักษุ ฯ มีจำนวนแพทย์รวมทั้งสิ้น 36 ท่าน แบ่งเป็นอาจารย์แพทย์ 16 ท่าน แพทย์ประจำบ้าน 10 ท่าน และแพทย์ใช้ทุน 10 ท่าน เนื่องจากในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจรักษาโดยอาจารย์แพทย์ท่านหนึ่งซึ่งออกตรวจทุก ๆ วันอังคาร โดยแพทย์กรณีศึกษาท่านนี้จะมีลักษณะการทำงาน 3 กรณี คือ กรณีเซอรวิซ (Service) หมายถึงแพทย์ทำหน้าที่ตรวจรักษาผู้ป่วยนอกเป็นงานหลัก และทำหน้าที่ให้คำปรึกษาแก่แพทย์ท่านอื่นในการตรวจรักษาผู้ป่วยนอก กรณีเคินซัลท เดนท (Consult Dent) หมายถึง แพทย์ทำหน้าที่ให้คำปรึกษาแก่แพทย์ท่านอื่นในการตรวจรักษาผู้ป่วยนอกเป็นงานหลัก และแพทย์ท่านนี้จะตรวจรักษาผู้ป่วยนอกด้วย และกรณี เคินซัลท วอรด (Consult Ward) หมายถึง แพทย์ทำหน้าที่ให้คำปรึกษาแก่แพทย์ท่านอื่นในการตรวจรักษาผู้ป่วยบนหอผู้ป่วยในเป็นงานหลัก และแพทย์ท่านนี้จะตรวจรักษาผู้ป่วยนอกด้วย เนื่องจากมีผู้ป่วยเข้ารับบริการตรวจรักษาปริมาณมาก เกิดปัญหาของการจัดการการให้บริการและสถานที่การให้บริการเกิดความแออัด จึงมีความจำเป็นที่ต้องกำหนดปริมาณผู้ป่วยที่นัดในแต่ละวันให้เหมาะสมกับความสามารถที่แพทย์และบุคลากรทางการแพทย์จะให้บริการได้ ดังนั้นการหาเวลาเฉลี่ยในการทำงานของแพทย์และบุคลากรทางการแพทย์ เพื่อใช้ในการจัดตารางนัดผู้ป่วยให้มีปริมาณผู้ป่วยนัดในแต่ละวันที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยให้การทำงานของแพทย์และบุคลากรทางการแพทย์ ตลอดจนการใช้เครื่องมือทางการแพทย์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากปัญหาและสาเหตุดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงศึกษาลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยในปัจจุบัน และสร้างแบบจำลองสถานการณ์การเข้ารับบริการของผู้ป่วยในปัจจุบัน จากนั้นแบบจำลองสถานการณ์การเข้ารับบริการของผู้ป่วยในปัจจุบันดังกล่าว ถูกนำมาใช้จัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วย ซึ่งปริมาณผู้ป่วยแต่ละกลุ่ม

โรคเป็นไปตามสถานการณ์ปัจจุบัน ด้วยวิธีการเอสพีที (Shortest Processing Time: SPT)[3] แอลพีที (Longest Processing Time: LPT)[3] การสุ่มแบบกรีดดี้ (Greedy Random)[1] และแบบปัจจุบัน (First Come Served Scheduling: FCFS)[3] เพื่อหาเวลาในระบบเฉลี่ย (Average Total Time) และเวลารอคอยเฉลี่ย (Average Waiting Time) ของผู้ป่วยแต่ละกลุ่มโรค และวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้ป่วยแต่ละกลุ่มโรคด้วยหลักการทางสถิติ เพื่อกำหนดรูปแบบการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยที่เหมาะสมและสามารถลดเวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้ป่วยให้ได้มากที่สุด ซึ่งจะช่วยลดความแออัดที่เกิดขึ้นในศูนย์จักษุ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ ลดระยะเวลาการรอคอยของผู้ป่วย และสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ป่วยที่มาเข้ารับบริการ

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เสนอรูปแบบการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโดยแพทย์กรณีศึกษา ณ ศูนย์จักษุ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ ที่ทำให้เวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้ป่วยต่ำสุด เมื่อปริมาณผู้ป่วยแต่ละกลุ่มโรคเป็นไปตามสถานการณ์ปัจจุบัน

2.2 เสนอรูปแบบการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโดยแพทย์กรณีศึกษาที่ทำให้เวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้ป่วยต่ำที่สุด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณผู้ป่วยที่เข้ารับบริการในแต่ละวันโดยใช้การจำลองสถานการณ์

3. วิธีการ

3.1 การเสนอรูปแบบการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโดยแพทย์กรณีศึกษา ณ ศูนย์จักษุ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ ที่ทำให้เวลาในระบบเฉลี่ยต่ำสุดและเวลารอคอยเฉลี่ยต่ำที่สุด เมื่อปริมาณผู้ป่วยแต่ละกลุ่มโรคเป็นไปตามสถานการณ์ปัจจุบัน มีขั้นตอนดังนี้

3.1.1 ศึกษารูปแบบการให้บริการของศูนย์จักษุ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ในปัจจุบัน โดยรวบรวมขั้นตอนการให้บริการ และกิจกรรมที่ต้องทำในแต่ละจุดบริการ

3.1.2 ศึกษารูปแบบการเข้ารับบริการของผู้ป่วยในปัจจุบัน ณ ศูนย์จักษุ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ โดยรวบรวมข้อมูลจำนวนผู้เข้ารับบริการ เวลาในการเข้ารับบริการ และพฤติกรรมการเข้ารับบริการ

3.1.3 ศึกษาลักษณะโรคที่ผู้ป่วยเข้ารับบริการตรวจรักษา ณ ศูนย์จักษุ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ โดยแบ่งโรคออกเป็นกลุ่มตามความยากง่ายและระยะเวลาที่แพทย์ใช้ในการรักษา

3.1.4 ศึกษาเวลาการทำงานของแพทย์กรณีศึกษา พร้อมทั้งคำนวณหาเวลาเฉลี่ยในการทำงานของแพทย์ท่านนี้ โดยทำการเก็บข้อมูลทุกวันอังคาร

3.1.5 ศึกษาลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยในปัจจุบัน

3.1.6 สร้างรูปแบบการจำลองสถานการณ์ [2][4] การเข้ารับบริการของผู้ป่วยในปัจจุบันโดยแพทย์กรณีศึกษา

3.1.7 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสถานการณ์ข้างต้น

3.1.8 ใช้แบบจำลองสถานการณ์การเข้ารับบริการของผู้ป่วยที่สร้างขึ้นจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยด้วยวิธีการเอสพีที แอลพีที และวิธีการสุ่มแบบกรีดดี้ จากนั้นวิเคราะห์ค่าเวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ย

3.1.9 เปรียบเทียบค่าเวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยของวิธีการจัดลำดับแบบปัจจุบัน กับการจัดลำดับด้วยวิธีเอสพีที การจัดลำดับด้วยวิธีแอลพีที และการจัดลำดับด้วยวิธีการสุ่มแบบกรีดดี้ เมื่อปริมาณผู้ป่วยแต่ละกลุ่มโรคเป็นไปตามสถานการณ์ปัจจุบัน โดยใช้หลักการทางสถิติ เพื่อเสนอรูปแบบการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโดยแพทย์กรณีศึกษา ณ ศูนย์จักษุ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ ที่ทำให้เวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยต่ำสุด

3.2 การเสนอรูปแบบการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโดยแพทย์กรณีศึกษาที่ทำให้เวลาในระบบเฉลี่ยของผู้ป่วยต่ำที่สุดและเวลารอคอยเฉลี่ยต่ำที่สุด เมื่อปริมาณผู้ป่วยที่เข้ารับบริการในแต่ละวันเพิ่มขึ้นโดยใช้การจำลองสถานการณ์ มีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 จำลองสถานการณ์การเข้ารับบริการของผู้ป่วยด้วยวิธีการปัจจุบัน เมื่อปริมาณผู้ป่วยที่เข้ารับบริการในแต่ละวันเพิ่มขึ้น

3.2.2 จำลองสถานการณ์การเข้ารับบริการของผู้ป่วยที่จัดลำดับด้วยวิธีการที่ทำให้มีเวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยต่ำที่สุดจากขั้นตอน 3.1 เมื่อปริมาณผู้ป่วยที่เข้ารับบริการในแต่ละวันเพิ่มมากขึ้น

3.2.3 เปรียบเทียบรูปแบบการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยที่ทำให้เวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้ป่วยต่ำที่สุด ด้วยหลักการทางสถิติ เมื่อปริมาณผู้ป่วยที่เข้ารับบริการในแต่ละวันเพิ่มขึ้น

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการเสนอรูปแบบการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโดยแพทย์กรณีศึกษา ณ ศูนย์จักษุ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ ที่ทำให้เวลาในระบบเฉลี่ยต่ำสุดและเวลารอคอยเฉลี่ยต่ำที่สุด เมื่อปริมาณผู้ป่วยแต่ละกลุ่มโรคเป็นไปตามสถานการณ์ปัจจุบัน

กรณีเซอรวิซ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาในระบบเฉลี่ยพบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.000 น้อยกว่า α เท่ากับ 0.05 แสดงว่าค่าเวลาในระบบเฉลี่ยที่จัดลำดับด้วยทั้ง 4 วิธี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการจัดลำดับด้วยวิธีเอสพีทีมีค่าเวลาในระบบเฉลี่ยต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลารอคอยเฉลี่ยพบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.000 น้อยกว่า α เท่ากับ 0.05 แสดงว่าค่าเวลารอคอยเฉลี่ยที่จัดลำดับด้วยทั้ง 4 วิธี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการจัดลำดับด้วยวิธีเอสพีทีมีค่าเวลารอคอยเฉลี่ยต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยแต่ละกลุ่มโรคด้วยวิธีเอสพีทีสามารถทำให้เวลาในระบบเฉลี่ยลดลง 7.56 นาที หรือ 10.56% และสามารถทำให้เวลารอคอยเฉลี่ยลดลง 7.56 นาที หรือ 8.99%

กรณีเคินซัลท เดนท ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลาในระบบเฉลี่ยพบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.000 น้อยกว่า α เท่ากับ 0.05 แสดงว่าค่าเวลาในระบบเฉลี่ยที่จัดลำดับด้วยทั้ง 4 วิธี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการจัดลำดับด้วยวิธีการแบบปัจจุบันมีค่าเวลาในระบบเฉลี่ยต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3 ส่วนผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเวลารอคอยเฉลี่ยพบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.000 น้อยกว่า α เท่ากับ 0.05 แสดงว่าค่าเวลารอคอยเฉลี่ยที่จัดลำดับด้วยทั้ง 4 วิธี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการจัดลำดับด้วยวิธีการแบบปัจจุบันมีค่าเวลารอคอยเฉลี่ยต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบเวลาในระบบเฉลี่ยของการจัดลำดับแต่ละวิธี โดยการเปรียบเทียบพหุคูณด้วยวิธีของ Duncan กรณีเซอรวิซ

Total Time					
Duncan[a,b]					
Method	N	Subset			
		1	2	3	4
SPT	9	139.7352			
ปัจจุบัน	9		147.2933		
Greedy	9			196.4344	
LPT	9				269.4211
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบเวลารอคอยเฉลี่ยของการจัดลำดับแต่ละวิธี โดยการเปรียบเทียบพหุคูณด้วยวิธีของ Duncan กรณีเซอรวิซ

Wait Time					
Duncan[a,b]					
Method	N	Subset			
		1	2	3	4
SPT	9	118.8091			
ปัจจุบัน	9		126.3722		
Greedy	9			175.4956	
LPT	9				248.4589
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

ตารางที่ 3 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบเวลาในระบบเฉลี่ยของการจัดลำดับแต่ละวิธี โดยการเปรียบเทียบพหุคูณด้วยวิธีของ Duncan กรณีเคินซัลท เดนท

Total Time					
Duncan[a,b]					
Method	N	Subset			
		1	2	3	4
ปัจจุบัน	9	90.1283			
Greedy	9		105.4489		
SPT	9			110.5290	
LPT	9				172.4367
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

ตารางที่ 4 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบเวลารอคอยเฉลี่ยของการจัดลำดับแต่ละวิธี โดยการเปรียบเทียบพหุคูณด้วยวิธีของ Duncan กรณีเคินซัลท เดนท

WaitTime					
Duncan[a,b]					
Method	N	Subset			
		1	2	3	4
ปัจจุบัน	9	72.2434			
Greedy	9		86.7093		
SPT	9			92.6296	
LPT	9				154.6200
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

4.2 เสนอรูปแบบการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโดยแพทย์กรณีศึกษาที่ทำให้เวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้ป่วยต่ำที่สุด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณผู้ป่วยที่เข้ารับบริการในแต่ละวันโดยใช้การจำลองสถานการณ์

กรณีเซอรวิซ การจัดลำดับด้วยวิธีเอสพีทีมีค่าเวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอยเฉลี่ยที่ต่ำกว่าวิธีการจัดลำดับด้วยวิธีปัจจุบัน อีกทั้งแพทย์กรณีศึกษาสามารถทำการตรวจรักษาผู้ป่วยได้สูงสุด 54 คนต่อวัน หรือแพทย์กรณีศึกษาสามารถทำการตรวจรักษาผู้ป่วยเพิ่มขึ้นได้สูงสุด 20% ดังแสดงในตารางที่ 5 และ 6

ส่วนกรณีเคินซัลท เดนท การจัดลำดับด้วยวิธีแบบปัจจุบันมีค่าเวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอยเฉลี่ยที่ต่ำกว่าวิธีการจัดลำดับด้วยวิธีเอสพีที อีกทั้งแพทย์กรณีศึกษาสามารถทำการตรวจรักษาผู้ป่วยได้สูงสุด 71 คนต่อวัน หรือแพทย์กรณีศึกษาสามารถทำการตรวจรักษาผู้ป่วยเพิ่มขึ้นได้สูงสุด 57% ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 5 ผลการจำลองสถานการณ์จัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยด้วยวิธีการเอสพีที เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณผู้ป่วย (เวลารอคอยเฉลี่ย)

กรณี	% ที่เพิ่มขึ้น	จำนวนผู้ป่วยเข้าระบบ	จำนวนผู้ป่วยออกจากระบบ	เวลารอคอยเฉลี่ย		
				กลุ่มโรค A	กลุ่มโรค B	กลุ่มโรค C
กรณีเซอรวิซ	0%	45	45	67.36	79.86	205.62
	20%	**54**	**54**	**70.96**	**94.67**	**260.83**
	45	65	54	70.96	94.67	260.83
กรณีเคินซัลท เดนท	0%	45	45	59.00	71.77	145.16
	40%	**63**	**63**	**63.25**	**92.87**	**238.72**
	45%	65	63	63.25	92.87	238.72

*หมายเหตุ 0% คือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณผู้ป่วย

ตารางที่ 6 ผลการจำลองสถานการณ์จัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยด้วยวิธีการเอสพีที เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณผู้ป่วย (เวลาในระบบเฉลี่ย)

กรณี	% ที่เพิ่มขึ้น	จำนวนผู้ป่วยเข้าระบบ	จำนวนผู้ป่วยออกจากระบบ	เวลาในระบบเฉลี่ย		
				กลุ่มโรค A	กลุ่มโรค B	กลุ่มโรค C
กรณีเซอรวิซ	0%	45	45	77.63	96.10	241.51
	20%	**54**	**54**	**81.40**	**111.42**	**296.29**
	45	65	54	81.40	111.42	296.29
กรณีเคินซัลท เดนท	0%	45	45	65.06	87.45	180.56
	40%	**63**	**63**	**69.29**	**109.26**	**272.34**
	45%	65	63	69.29	109.26	272.34

*หมายเหตุ 0% คือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณผู้ป่วย

ตารางที่ 7 ผลการจำลองสถานการณ์จัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยด้วยวิธีการปัจจุบัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณผู้ป่วย (เวลารอยคอยเฉลี่ย)

กรณี	% ผู้ป่วยที่เพิ่มขึ้น	จำนวนผู้ป่วยเข้าระบบ	จำนวนผู้ป่วยออกจากระบบ	เวลารอคอยเฉลี่ย		
				กลุ่มโรค A	กลุ่มโรค B	กลุ่มโรค C
กรณีเซอรวิซ	0%	45	45	167.23	155.73	163.71
	10%	50	50	185.57	176.14	179.68
	45%	**65**	**65**	**234.8**	**225.16**	**222.56**
	60%	72	65	234.8	225.16	222.56
กรณีเคินซัลท เดนท	0%	45	45	155.68	168.93	180.47
	45%	65	65	201.27	223.08	230.24
	57%	**71**	**71**	**211.04**	**242.46**	**242.93**
	60%	72	71	211.04	242.46	242.93

*หมายเหตุ 0% คือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณผู้ป่วย

ตารางที่ 8 ผลการจำลองสถานการณ์จัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยด้วยวิธีการปัจจุบัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณผู้ป่วย (เวลาในระบบเฉลี่ย)

กรณี	% ผู้ป่วยที่เพิ่มขึ้น	จำนวนผู้ป่วยเข้าระบบ	จำนวนผู้ป่วยออกจากระบบ	เวลาในระบบเฉลี่ย		
				กลุ่มโรค A	กลุ่มโรค B	กลุ่มโรค C
กรณีเซอรวิซ	0%	45	45	177.10	171.53	200.05
	10%	50	50	195.23	191.94	216.16
	45%	**65**	**65**	**244.27**	**240.82**	**258.11**
	60%	72	65	244.27	240.82	258.11
กรณีเคินซัลท เดนท	0%	45	45	161.04	182.99	213.81
	45%	65	65	207.32	238.98	264.86
	57%	**71**	**71**	**217.07**	**258.44**	**276.93**
	60%	72	71	217.07	258.44	276.93

5. สรุป

รูปแบบการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโดยแพทย์กรณีศึกษา ณ ศูนย์จักษุ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ ที่ทำให้เวลาในระบบเฉลี่ยต่ำสุดและเวลารอคอยเฉลี่ยต่ำที่สุด เมื่อปริมาณผู้ป่วยแต่ละกลุ่มโรคเป็นไปตามสถานการณ์ปัจจุบัน กรณีเซอรวิซ คือรูปแบบการจัดลำดับด้วยวิธีเอสพีที ซึ่งสามารถทำให้เวลาในระบบเฉลี่ยลดลง 7.56 นาที หรือ 10.56% และสามารถทำให้เวลารอคอยเฉลี่ยลดลง 7.56 นาที หรือ 8.99% ส่วนกรณีเคินซัลท เดนท คือรูปแบบการจัดลำดับด้วยการปัจจุบัน

รูปแบบการจัดลำดับการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโดยแพทย์กรณีศึกษาที่ทำให้เวลาในระบบเฉลี่ยและเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้ป่วยต่ำที่สุด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณผู้ป่วยที่เข้ารับบริการในแต่ละวันโดยใช้การจำลองสถานการณ์ กรณีเซอรวิซ คือรูปแบบการจัดลำดับด้วยวิธีเอสพีที ซึ่งสามารถทำการตรวจรักษาผู้ป่วยได้สูงสุด 54 คนต่อวัน หรือแพทย์กรณีศึกษาสามารถทำการตรวจรักษาผู้ป่วยเพิ่มขึ้นได้สูงสุด 20% ส่วนกรณีเคินซัลท เดนท คือรูปแบบการจัดลำดับด้วยวิธีแบบปัจจุบัน ซึ่งสามารถทำการตรวจรักษาผู้ป่วยได้สูงสุด 71 คนต่อวัน หรือแพทย์กรณีศึกษาสามารถทำการตรวจรักษาผู้ป่วยเพิ่มขึ้นได้สูงสุด 57%

เอกสารอ้างอิง

ให้เรียงลำดับตามที่ปรากฏในเนื้อเรื่อง และให้เคร่งครัดกับแบบฟอร์มดังแสดงในตัวอย่างข้างล่างนี้

[1] กันต์ ศรีจันท์ทองศิริ, Greedy Algorithms, กรุงเทพฯ สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร, 2556

[2] รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ, คู่มือสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena ฉบับปรับปรุง, กรุงเทพฯ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2553

[3] วชิรพงษ์ สาลีสิงห์ (ม.ป.ป.), การจัดลำดับงานโดยกฎความสำคัญ, ข้อมูลจาก http://202.183.190.2FTPiWebAdmin/knw_pworld/image_content/44/44_productivity3.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 5 มิถุนายน 2556)

[4] สุพจน์ เหล่างาม, เทคนิคการจำลองสถานการณ์, ข้อมูลจากwww.logisticscorner.com (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 มิถุนายน 2556)

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน

Developing Program for Flow Shop Scheduling Problem

เบญจมาส เนตินิ[1*] ณิชกานต์ บุตรน้ำเพชร[2] คเณศ พลอยดนัย[3]
[1,2,3]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: netini_b@silpakorn.edu[*]
Benjamas Netini[1*] Nitchakan Bootnampet [2] Kanate Ploydanai[3]
[1,2,3]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: netini_b@silpakorn.edu[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ Visual Basic.Net โปรแกรมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการจัดตารางการผลิตแบบ flow shop นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาในการคำนวณและความยุ่งยากในการตรวจสอบสถานะของงาน เมื่อมีเครื่องจักรและงานจำนวนมากในระบบการผลิต ผลที่ได้จากการวิจัยคือ โปรแกรมจัดตารางการผลิตที่สามารถคำนวณเวลางานในการผลิตและแสดงเวลาเริ่มต้น-เวลาสิ้นสุดของแต่ละงานในรูปแบบของ Gantt Chart ซึ่งโปรแกรมสามารถตรวจสอบสถานะของงานในเครื่องจักรและสามารถบอกเปอร์เซ็นต์ความคืบหน้าของงานได้ นอกจากนี้โปรแกรมสามารถแปลงหน่วยของเวลาสิ้นสุดงานเป็นหน่วยอื่นได้ ตัวอย่างเช่น สัปดาห์ วัน และ ชั่วโมง เป็นต้น นอกจากนี้นักวางแผนและนักเรียนยังสามารถใช้โปรแกรมสำหรับทดสอบทฤษฎีของจอห์นสันและทฤษฎีของแคมเบลได้

คำหลัก โปรแกรมจัดตารางการผลิต การจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน ตรวจสอบสถานะงาน

Abstract

This research focuses on developing program by using Visual Basic.Net. The purpose of this program is to solve flow shop scheduling problem. In addition, the program helps to reduce the computation time and difficulty for checking job status when there are many machines and many jobs in production systems. The result of the research is the production scheduling program that can calculate flow time and show start - finish times in Gantt's chart. Whereof, the program is able to check status of jobs in machines and able to tell progress percentage of jobs. Furthermore program can convert units of finish time to other units for example weekly, daily, and hours. Besides, planners and students can use program for testing the Johnson's algorithm and Campbell's algorithm.

Keywords: Scheduling program Flow shop scheduling problem Check task status

1.บทนำ

การจัดตารางการผลิตนั้นเป็นกระบวนการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการระบบการผลิตที่สำคัญในอุตสาหกรรมปัจจุบันที่มีการแข่งขันที่สูงขึ้น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ปัญหาการจัดตารางการผลิตมีตั้งแต่ปัญหาขนาดเล็กจนกระทั่งปัญหาที่มีความซับซ้อน ในส่วนของปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบ flow shop Pinedo [1] จะเป็นระบบการผลิตที่ประกอบด้วยงาน n งาน เครื่องจักร m เครื่องวางเรียงกัน โดยมีเส้นทางการดำเนินงานที่เหมือนกัน งานแต่ละงานจะเริ่มผลิตจากเครื่องจักรที่ 1 แล้วจะถูกผลิตต่อไปจนถึงเครื่องจักรที่ m หลังจากที่งานถูกทำเสร็จบนเครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่ง (เครื่องจักรที่ 1 ถึง m-1) แล้ว จะต้องเข้าแถวคอยรอผลิตบนเครื่องจักรถัดไป เนื่องจากงานที่เข้าสู่ระบบมีจำนวนมากและจำนวนเครื่องจักรในโรงงานก็มีจำนวนมากเช่นกัน การตรวจสอบว่า ณ เวลาหนึ่งๆ งานชิ้นที่ต้องการทราบอยู่ที่เครื่องจักรใดและจะเสร็จในเวลาเท่าไรนั้นทำได้ยาก

Aldowaison and Allahverdi [2] ได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบ flow shop ซึ่งประกอบด้วยงาน n งานและเครื่องจักร m เครื่อง โดยต้องไม่มีการรอคอย (no-wait) โดยสร้างวิธีการฮิวริสติกขึ้นมา 4 วิธีการ Murata et al. [3] ศึกษาการประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึ่ม สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบ Flow shop โดยทำการพัฒนาและนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบผลกับอัลกอริทึ่มอื่นๆ นิภา จงจอหอ [4] ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดตารางการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมแก้ว โดยนำหลักการฮิวริสติกส์มาช่วย โดยใช้โปรแกรมอารีน่าทำการวิเคราะห์และออกแบบการจำลองสถานการณ์ พบว่า การจัดตารางการผลิตซึ่งใช้วิธีการจัดตารางการผลิตโดยพิจารณาที่เวลาการผลิตน้อยที่สุดเข้าก่อน (SPT) ทำให้ประสิทธิภาพในการจัดตารางการผลิตดีขึ้น โดยสามารถลดค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดจากปัญหาการผลิตไม่ตรงกำหนดส่ง ปรีดี ตันติประภาส [5] ได้ศึกษาผลกระทบของปัจจัยกฎการจัดลำดับ ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง ด้วยเทคนิคการจำลองแบบปัญหาทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม ARENA 2.2 ภานุวัฒน์ บุญรัตนสายัณห์, ณัฏฐา ประดิษฐ์เสถียร, ปิยะภัทร สุพานิชวาทิน และ รศ.อดิศักดิ์ พงษ์พูลผลศักดิ์ [6] ได้ศึกษาการจัดตารางเวลาการดำเนินงานในสายงานผลิตประกอบชิ้นงานชุดกรอบรูป กรณีศึกษาโรงงานพลาสติก เพื่อศึกษาแนวคิดวิธีการจัดตารางการดำเนินงานสายการผลิตแบบ flow shop ชนิด 2 เครื่องจักรด้วยวิธีของ Johnson's Algorithm และวิธีการจัดสมดุลสายงานประกอบด้วยวิธีของ Ranked Positioned Weight Method สืบพงศ์ แสงอุดร และ ธีรเดช วุฒิพรพันธ์ [7] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมแบบผสมเพื่อแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตชนิดสายการประกอบแบบ flow shop สุเทพ บุตรดี, ชัยวัฒน์ นุ่มทอง และ ปัญจพร แพใหญ่ [8] ได้ศึกษาวิธีการจัดตารางการผลิตแบบฮิวริสติกแบบผสมเพื่อประสิทธิภาพการผลิตสูงสุดของการผลิตเฟือง สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี, เดชา พวงดาวเรือง [9] ได้ศึกษาการจัดตารางการผลิตแบบ flow shop โดยใช้เทคนิคการสลับที่แบบสุ่มและวิธีฮิวริสติกสำหรับระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี ในกรณีที่ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบ flow shop ไม่ทราบลำดับก่อนหลังของงานที่ถูกผลิต

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่ได้กล่าวมานี้ พบว่ามีผู้ศึกษาการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบ flow shop ด้วยวิธีต่างๆ อาทิเช่น วิธีฮิวริสติก, การใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์, ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป และพัฒนาโปรแกรมขึ้นเพื่อแก้ปัญหา เป็นต้น แต่ยังไม่พบว่ามีผู้ศึกษาท่านใดทำการพัฒนาโปรแกรมจัดตารางการผลิตที่สามารถแสดงผลเป็น Gantt Chart และตรวจสอบสถานะของงานในสายการผลิตได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้โปรแกรม Visual Basic.Net ในการพัฒนาเป็นโปรแกรมจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบ flow shop ซึ่งโปรแกรมจะสามารถตรวจสอบได้ว่างานหนึ่งๆอยู่ที่เครื่องจักรใด และตรวจสอบเวลาแล้วเสร็จของแต่ละงานได้ รวมทั้งแสดงเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของแต่ละงานในรูปแบบของ Gantt Chart เพื่อช่วยในการตัดสินใจและทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับนักวางแผนและนักเรียน

นักศึกษา ยังสามารถใช้โปรแกรมนี้เพื่อทดสอบทฤษฎีของจอห์นสันและทฤษฎีของแคมเบลได้

2.ขั้นตอนการดำเนินการ

2.1 ขอบเขตการวิจัย

1. ใช้สำหรับการจัดตารางการผลิตแบบ flow shop
2. ทราบจำนวนเครื่องจักร จำนวนงาน และเวลาในการทำงานของแต่ละงาน
3. เครื่องจักรพร้อมใช้งานทันทีและงานแต่ละงานสามารถเริ่มได้ทันทีที่เวลาศูนย์
4. งานทุกงานต้องมีขั้นตอนการทำงานเหมือนกัน และเมื่อเริ่มทำงานใด ๆแล้วจะไม่ยอมให้มีการแทรกงานเกิดขึ้น
5. ไม่คิดเวลา Break down ของเครื่องจักร
6. สามารถนำไปใช้ได้โดยที่จำนวนงานไม่เกิน 100 งาน และจำนวนเครื่องจักรไม่เกิน 50 เครื่อง

2.2 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

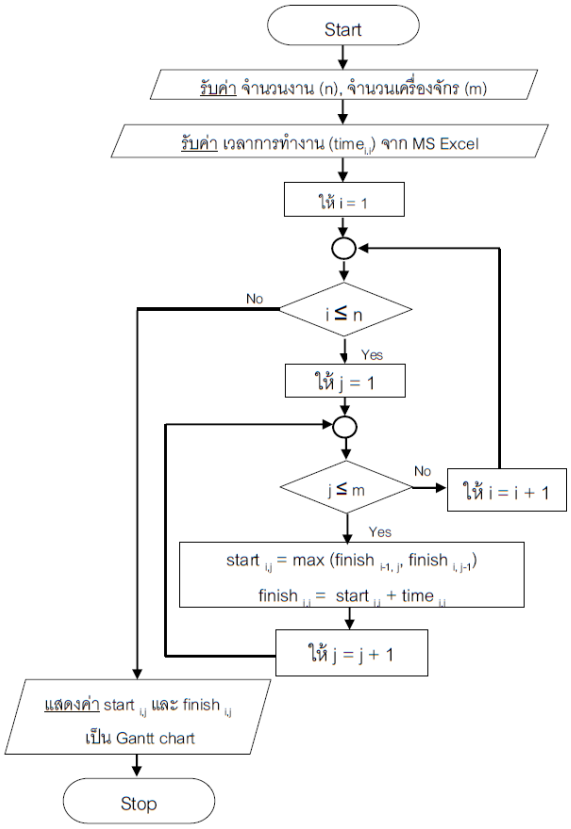
n = จำนวนงานที่นำมาจัดตารางการผลิต
m = จำนวนเครื่องจักรในกระบวนการผลิต
i = งานที่ i
j = เครื่องจักรที่ j
iFinish = งานที่ต้องการแปลงหน่วยเวลาแล้วเสร็จ
iCheck = งานที่ต้องการตรวจสอบสถานะ
jNow = เครื่องจักรที่งานที่ต้องการตรวจสอบสถานะอยู่
jWait = เครื่องจักรที่งานที่ต้องการตรวจสอบสถานะกำลังรอเข้า
t = เวลาที่เครื่องจักรทำงานไปแล้ว ซึ่งเป็นค่าที่นำไปใช้คำนวณ (ชั่วโมง)
hours = เวลาที่เครื่องจักรทำงานไปแล้ว ซึ่งเป็นค่าที่รับจากผู้ใช้ (ชั่วโมง)
minutes = เวลาที่เครื่องจักรทำงานไปแล้ว ซึ่งเป็นค่าที่รับจากผู้ใช้ (นาที)
$time_{i,j}$ = เวลาในการทำงานของงานที่ i ที่เครื่องจักร j (ชั่วโมง)
$start_{i,j}$ = เวลาที่งาน i เริ่มทำงานที่เครื่องจักร j (ชั่วโมง)
$finish_{i,j}$ = เวลาที่งาน i เสร็จสิ้นที่เครื่องจักร j (ชั่วโมง)
$finishWeeks_i$ = เวลาที่งาน i เสร็จสิ้น (สัปดาห์)
$finishDays_i$ = เวลาที่งาน i เสร็จสิ้น (วัน)
$finishHours_i$ = เวลาที่งาน i เสร็จสิ้น (ชั่วโมง)
progress1 = เปอร์เซ็นต์ความคืบหน้าของงานที่ i
progress2 = เปอร์เซ็นต์ความคืบหน้าของงานทั้งหมด

2.3 การคำนวณของโปรแกรมจัดตารางการผลิต

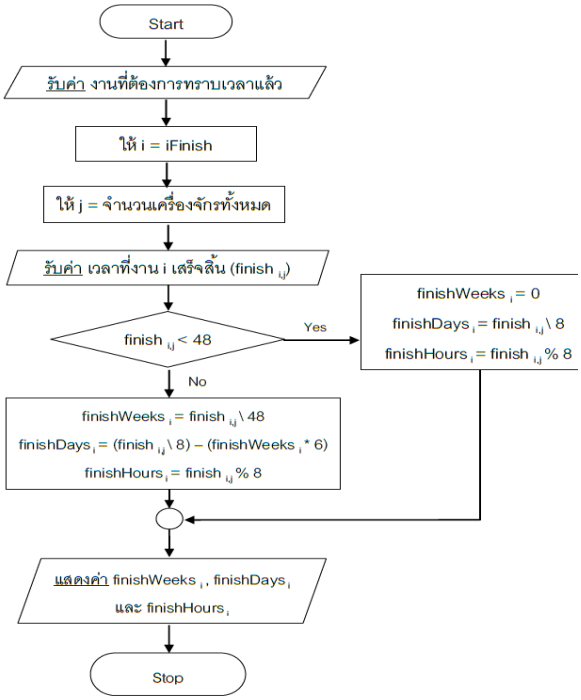
จากการวิเคราะห์ปัญหา พบว่าในโรงงานที่มีเครื่องจักรและงานในระบบจำนวนมาก การตรวจสอบว่า ณ เวลาหนึ่งๆ งานอยู่ที่เครื่องจักรใดแล้วจะเสร็จในเวลาเท่าไรนั้นทำได้ยากและต้องใช้เวลาพอสมควร อีกทั้งการคำนวณต่าง ๆก็อาจเกิดข้อผิดพลาดได้ จึงได้ออกแบบโครงสร้างของโปรแกรมจัดตารางการผลิตที่ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่

1. การคำนวณหาเวลางานในการผลิตและแสดงผลเป็น Gantt Chart
2. การคำนวณเพื่อแปลงหน่วยเวลาแล้วเสร็จของแต่ละงาน
3. การคำนวณเพื่อตรวจสอบสถานะหรือความคืบหน้าของงาน

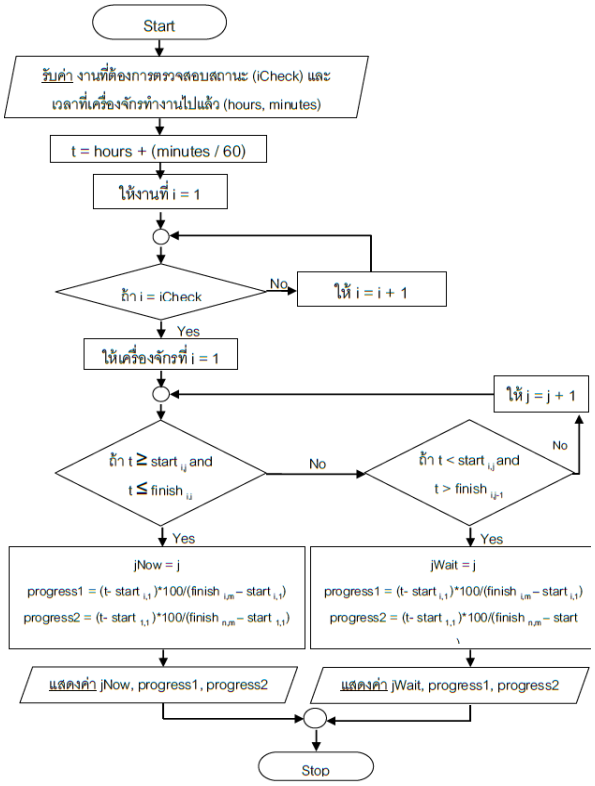
ซึ่งการคำนวณทั้ง 3 ส่วน สามารถแสดงเป็นภาพลำดับขั้นตอนได้ดัง ภาพที่ 1, ภาพที่ 2 และภาพที่ 3 ดังนี้



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการคำนวณเวลางานในการผลิตและแสดงเป็น Gantt chart



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการคำนวณเพื่อแปลงหน่วยเวลาแล้วเสร็จของงาน

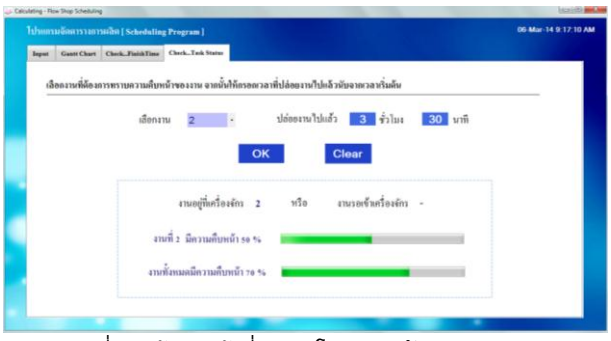


ภาพที่ 3 ขั้นตอนคำนวณเพื่อตรวจสอบสถานะของงาน

เมื่อได้ออกแบบโครงสร้างการคำนวณของโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว จึงนำไปออกแบบหน้าจอรับข้อมูลและแสดงผลข้อมูลที่ใช้สำหรับตอบโต้กับผู้ใช้งาน จากนั้นจึงพัฒนาเป็นโปรแกรมจัดตารางการผลิตโดยใช้โปรแกรม Visual Basic

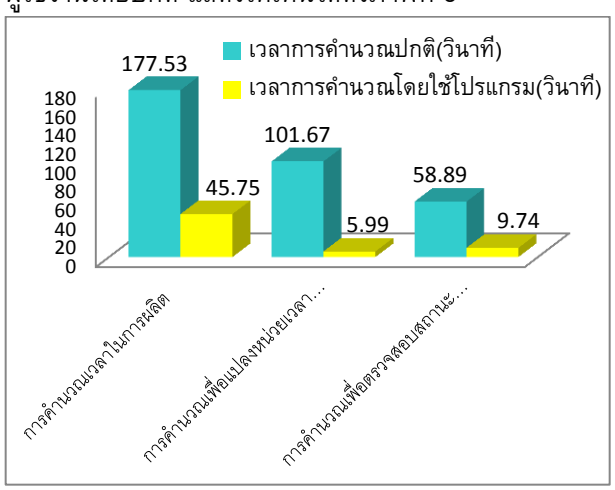
3.ผลการดำเนินการ

ผลที่ได้จากการวิจัยจะแสดงเป็นโปรแกรมจัดตารางการผลิตที่ประกอบไปด้วย 4 หน้า หน้าแรกของโปรแกรมคือ แท็บ Input ให้ผู้ใช้โปรแกรมกรอกจำนวนงานและจำนวนเครื่องจักร จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณเวลางานในการผลิต แล้วแสดงเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของแต่ละงานในรูปแบบของ Gantt Chart ในหน้าที่ 2 และหน้าที่ 3 สามารถแปลงหน่วยเวลาแล้วเสร็จของแต่ละงานได้ ในส่วนของหน้าที่ 4 สามารถตรวจสอบสถานะหรือความคืบหน้าของแต่ละงานได้ว่าขณะนี้งานอยู่ที่เครื่องจักรใด พร้อมทั้งแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความคืบหน้าของงานที่ต้องการทราบและเปอร์เซ็นต์ความคืบหน้าของงานทั้งหมด ดังตัวอย่างในภาพที่ 4 โดยการใช้งานโปรแกรมจัดตารางการผลิตนี้จะต้องบันทึกเวลาในการทำงานไว้ที่โปรแกรม Microsoft Excel และสามารถแก้ไขเวลาในการทำงานได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 4 หน้าจอหน้าที่ 4 ของโปรแกรมจัดตารางการผลิต

เพื่อลดความผิดพลาดในการนำไปใช้จริง ดังนั้นก่อนที่จะนำโปรแกรมจัดตารางการผลิตไปใช้ในการทำงานต้องพิสูจน์ได้ว่าการคำนวณของโปรแกรมมีความถูกต้องเหมาะสม สะดวกรวดเร็ว และง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งสามารถทำได้โดยการตรวจสอบความถูกต้องและความเร็วในการคำนวณของโปรแกรมเปรียบเทียบกับการคำนวณของผู้ใช้งานโดยปกติ แสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบเวลาระหว่างการคำนวณปกติกับการคำนวณโดยใช้โปรแกรม

นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถประยุกต์ใช้งานได้โดยการนำไปทดสอบทฤษฎีการจัดตารางการผลิตต่างๆ จะช่วยให้เห็นภาพของผลลัพธ์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเพราะในโปรแกรมมีแผนภูมิแกนต์ ซึ่งทฤษฎีที่นำมาทดสอบได้แก่ วิธีการจัดตารางการผลิตของจอห์นสันและวิธีการจัดตารางการผลิตของแคมเบล

4.สรุป

จากการพัฒนาโปรแกรมจัดตารางการผลิตสำหรับการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow Shop) ที่สามารถคำนวณเวลางานในการผลิต ตรวจสอบได้ว่างานหนึ่งๆอยู่ที่เครื่องจักรใด แล้วจะเสร็จสมบูรณ์ในเวลาเท่าไร รวมทั้งแสดงเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของแต่ละงานในรูปแบบของ Gantt Chart ซึ่งการคำนวณของโปรแกรมมีความถูกต้อง สะดวกรวดเร็วและง่ายต่อการใช้งาน เหมาะสำหรับการนำไปช่วยในการทำงานของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีงานในระบบจำนวนมากและมีเครื่องจักรจำนวนมากซึ่งยากต่อการตรวจสอบ นอกจากนี้แล้วยังสามารถใช้ทดสอบทฤษฎีของจอห์นสันและทฤษฎีของแคมเบลได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ช่วยในการเรียนสอนหรือการทดลองจัดตารางการผลิตแบบต่างๆได้

5.เอกสารอ้างอิง

[1] Pinedo, M. (2002). “Scheduling: Theory, Algorithms and Systems (2nd edition).” Prentice-Hall. Upper Saddle River. NJ

[2] Aldowaisan, T. and A. Allahverdi. (2004). “New heuristics for m-machine no-wait flow shop to minimize total completion time.” International Journal of Management Science. 32:345-352.

[3] Murata, T., H. Ishibuchi and H.Tanaka. (1996).” Genetic algorithms for flow shop scheduling problem.” Computers & Industrial Engineering. 30(4): 1061-1071.

[4] นิภา จงจอหอ. (2552). “การพัฒนาโปรแกรมเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดตารางการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมแก้ว.” ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[5] ปรีดี ตันติประภาส. (2542). “การจัดตารางการผลิตสำหรับระบบโฟลว์ชอป: กรณีศึกษาโรงหล่อ.” ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[6] ภานุวัฒน์ บุญรัตนสายัณห์, ณัฏฐา ประดิษฐ์เสถียร, ปิยะภัทร สุพานิชวาทิน และ อดิศักดิ์ พงษ์พูลผลศักดิ์. (2555). “การจัดตารางเวลาการดำเนินงานในสายงานผลิตประกอบชิ้นงานดกรอบรูป กรณีศึกษาโรงงานพลาสติก.” สาขาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[7] สืบพงศ์ แสงอุดร และ ธีรเดช วุฒิพรพันธ์. (2554). “การประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมแบบผสมเพื่อแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตชนิดสายการประกอบแบบไหลเลื่อน”

[8] สุเทพ บุตรดี, ชัยวัฒน์ นุ่มทอง และ ปัญจพร แพใหญ่. (2550).” วิธีการจัดตารางการผลิตแบบฮิวริสติกแบบผสมเพื่อประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด.” ศูนย์วิจัยระบบการผลิตแบบรวม ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[9] สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี, เดชา พวงดาวเรือง. (2554). “การจัดตารางการผลิตแบบไหลโดยใช้เทคนิคการสลับที่แบบสุ่มและวิธีฮิวริสติกสำหรับระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี.” คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

การเพิ่มผลผลิตโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการผลิตแบบลีน : กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม

Increasing Productivity by applying Lean Production Technique: A Case Study of Garment Factory

เนติญา การุณสถิตย์ชัย* สุรัตน์ ตรัยวนพงศ์ ระพี กาญจนะ
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 E-mail: netiya21@hotmail.com*

Netiya Garoonsatitchai*, Surat Triwanapong, Rapee Kanchana
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, E-mail: netiya21@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางด้านการเพิ่มผลผลิต ในกระบวนการตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูป จากการประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีน เพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงการผลิตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และผลการวิจัยนี้ เริ่มจากการศึกษารูปแบบผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อต้นทุนการผลิต และระยะเวลาในการส่งมอบสินค้าที่ไม่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า โดยทำการสำรวจหาความสูญเปล่า 7 ประการ (7 Waste) เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและแก้ไขปัญหาโดยการนำเอาเครื่องมือระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing Tools) มาจัดการความสูญเปล่ารวมถึงจัดการระบบการผลิตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ผลการปรับปรุงพบว่าการเพิ่มผลผลิตในกระบวนการด้านประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 23.90% เป็น 35.19% คิดเป็น 11.29% ด้านผลผลิตเพิ่มขึ้นจากเฉลี่ยต่อวัน 141 ตัวต่อวัน เป็นเฉลี่ยต่อวัน 306 ตัวต่อวัน คิดเป็น 54% ลดระยะเวลาในการผลิตรวมลงจาก 5.90 วัน เหลือ 1.60 วัน คิดเป็น 72.88% ลดชิ้นงานรอผลิตที่อยู่ในกระบวนการลง (Work in Process: WIP) จาก 1,880 ตัว ลดลงเหลือ 431 ตัว คิดเป็น 77.04%

คำหลัก ระบบการผลิตแบบลีน อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม

Abstract

The objective of this article is to increase production efficiency in sewing process by applying the lean manufacturing technique. The research methodology began with studying the types of products which significantly affected production costs and the delivery time as unsatisfied the customer's requirements. Then the seven wastes were identified and analysed in order to find the root cause and possible solution of the problems. The lean manufacturing tools were consequently applied to manage the wastes and the process system so as to increase the production efficiency. After improvement and implementation, the results illustrated that the production efficiency increased from 23.90% to 35.19%, as 11.29% improvement while the productivity rate also increased from average 141 shirts per day to 306 shirts per day, as 54% improvement. The cycle time decreased from 5.90 days to 1.60 days, as 72.88%

improvement and the number of work in process (WIP) decreased from 1,880 shirts to 431 shirts, as 77.04% improvement.

Keywords: Lean manufacturing system, garment industry

1. บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปส่งออกของประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมส่งออกที่สามารถนำรายได้เข้าประเทศเป็นอันดับต้นๆ แต่ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ปี 2010-2015 พบว่ามูลค่าการส่งออกติดลบและหดตัวลงมาก ซึ่งทำให้ความเชื่อมั่นในการลงทุนของลูกค้าลดลง และปัญหาเรื่องแรงงานที่มีค่าแรงขั้นต่ำสูงขึ้น ระยะเวลาในการส่งมอบสินค้าล่าช้า และอัตราการส่งออกอุตสาหกรรมนี้เติบโตขึ้นเพียง 0.86% และปี 2015 ประเทศไทยอาจจะถูกตัดสิทธิ์การเลี่ยงภาษีส่งออก (Generalised System of Preferences: GPS)[1] ซึ่งนักลงทุนส่วนใหญ่จะหันไปลงทุนหรือขยายฐานการผลิตไปยังประเทศที่ยกเว้นภาษี

ในฐานะผู้ผลิต จึงมีความจำเป็นในการเปลี่ยนแปลงเพื่อการพัฒนา และปรับปรุงประสิทธิภาพ ซึ่งมีจุดมุ่งหมาย คือเพิ่มยอดขายในตลาด และการคาดหวังของลูกค้าทั้งในด้านคุณภาพ รวมถึงการจัดส่งสินค้าที่มีความยืดหยุ่น ลดระยะเวลาในการผลิตให้สั้นลง เพื่อส่งมอบสินค้าทันตามกำหนดที่ลูกค้าต้องการ

ในปัจจุบันระบบการผลิตแบบลีน มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลก หัวใจสำคัญของระบบลีนคือ การเน้นการทำงานตามมาตรฐาน การผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just in Time) การสร้างคุณภาพในกระบวนการผลิต และการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นหลักประกันในคุณภาพและสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้กับลูกค้า

โรงงานกรณีศึกษานี้เป็นบริษัทผู้ผลิตในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มประเภท Outer Wear และ Sport Wear ลักษณะของธุรกิจเป็นแบบ Make to order ในกรณีนี้ถือเป็นก้าวแรกสำหรับโรงงานระดับ SMEs ในการเตรียมพื้นฐานการทำงานให้พร้อมกับการนำระบบการผลิตแบบลีนมาประยุกต์ใช้โดยมีการส่งเสริมกิจกรรมขั้นพื้นฐาน เพื่อก้าวเข้าสู่การนำระบบการผลิตลีนไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิตแบบลีน คือ วิธีการที่เป็นระบบในการระบุและกำจัดความสูญเสีย หรือสิ่งที่ไม่เพิ่มคุณค่าภายในกระแสคุณค่าของกระบวนการ โดยอาศัยการดำเนินการตามจำนวนความต้องการของลูกค้าด้วยระบบดึง(Pull System) ทำให้เกิดสภาพการไหลอย่างต่อเนื่อง ราบเรียบ และทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างคุณค่าให้แก่ระบบอยู่เสมอ [2]

ซึ่งระบบดังกล่าวต้องอาศัยการดำเนินตามจังหวะความต้องการของลูกค้าด้วยระบบดึง ทำให้เกิดสภาพการไหลอย่างต่อเนื่อง(Continuous Flow) สามารถปฏิบัติงานได้อย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา โดยไม่มีการขัดขวางหรือหยุดการผลิตด้วยเหตุอันใดก็ตาม และทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อสร้างคุณค่าให้แก่ระบบอยู่เสมอ

จากการค้นคว้างานวิจัย พบว่า การใช้ 7 wastes[4] และแผนภูมิก้างปลา[3] มาสำรวจหาสาเหตุของความสูญเปล่า ทำให้พบปัจจัยที่ทำให้ผลผลิตต่ำและก่อให้เกิดความสูญเสียในกระบวนการผลิต และจากงานวิจัยที่ผ่านมามีการประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีน [3],[5] โดยนำเอาเครื่องมือใน Lean Manufacturing Tools มาช่วยจัดการความสูญเสีย แก้ไขปรับปรุงในกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. การวิเคราะห์ปัญหา

3.1 การวิเคราะห์สภาพปัจจุบันของงานวิจัย

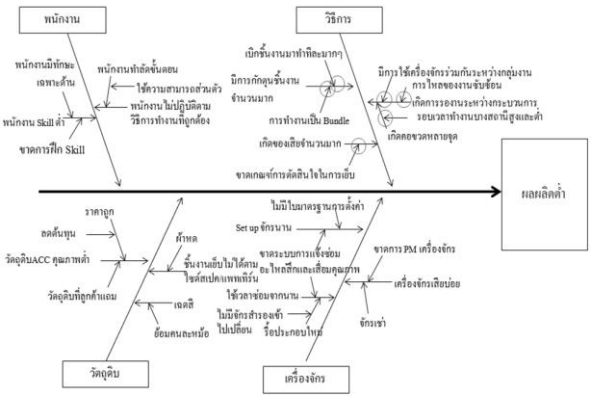
ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจสภาพปัจจุบัน รูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลทางด้านต้นทุนการผลิตที่ต่ำซึ่งได้สรุปข้อมูลก่อนการปรับปรุงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางสำรวจข้อมูลการผลิตก่อนการปรับปรุง

หัวข้อ	ข้อมูล	ก่อนปรับปรุง
1.ด้านการผลิต	ประสิทธิภาพการผลิต	23.90%
	%On Time Planning	63.13%
	ผลผลิตต่อวันเฉลี่ย	141(ตัว/วัน)
	Productivity	0.19
2.ระยะเวลาในการผลิตรวม	ระยะเวลาการผลิตรวมกระบวนการเย็บกรณีศึกษา	5.9 (วัน)
3.Work in Process: WIP	Work In Process(ตัว)	1880
	พื้นที่ใช้งาน (ก x ย) (ตรม)	173.3
	Movement ระยะทางการขนส่ง	149

3.2 วิเคราะห์ด้วยแผนภูมิก้างปลา

ใช้หลักของ 4 M ในการหาสาเหตุความเป็นไปได้ของปัญหาดังรูปที่ 1 พบว่าปัญหาที่เกิดจากวิธีการเป็นเป็นปัจจัยที่ทำให้ผลผลิตต่ำ และเป็นปัญหาในส่วนวิศวกรแก้ไขปรับปรุง



รูปที่ 1 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา

3.3 วิเคราะห์ถึงความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นและการเลือกเครื่องมือลีนมาปรับปรุงในการวิจัย

จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยผังก้างปลาสามารถสรุปความสูญเปล่าที่ก่อให้เกิดปัจจัยทางด้านการผลิตที่ต่ำดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปความสูญเปล่าและเครื่องมือในการปรับปรุง

Waste	สาเหตุ	เครื่องมือในการปรับปรุง
การรองาน	มีการใช้เครื่องจักรร่วมกันระหว่างกลุ่มงาน	Continuous Flow & Small Batch Manufacture
ของเสีย	เกิดของเสียจำนวนมากเนื่องจากขาดเกณฑ์การตัดสินใจในการเย็บ	Jidoka & Poka Yoke
ผลิตมากเกินไป	เกิดคอขวดหลายจุดเนื่องจากรอบเวลาทำงานบางสถานีสูงและต่ำ	Standardize Work ,Smooth Production & Takt Time ,Line Balancing
การขนส่ง	การไหลของงานซับซ้อน	Continuous Flow ,Pull System & Kanban
การกักตุน	การทำงานเป็น Bundle	
	เบิกชิ้นงานมาทำครั้งละมากๆ	Continuous Flow ,Pull System & Kanban

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การปรับปรุงความสูญเปล่าที่เกิดจากการรองาน

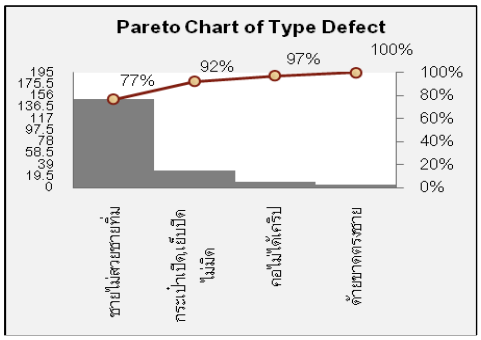
ผู้วิจัยใช้หลัก Continuous Flow & Small Batch Manufacture มาปรับปรุงให้งานไหลอย่างต่อเนื่อง ลดการหยุดชะงักของชิ้นงาน โดยทำการเขียน Material Flow Chart และLayout เครื่องจักร เพื่อดูเส้นทางการไหลของงาน สาเหตุในการรอคอยงานเกิดจากการใช้เครื่องจักรร่วมกันระหว่างกลุ่มงานโดยเอาชิ้นอะไหล่ไปทำในกลุ่มประกอบตัว แนวทางในการปรับปรุงคือ ทำการแยกงานส่วนอะไหล่ที่อยู่ใน กลุ่มประกอบตัวออกจากกันให้หมด แล้วจัดกลุ่มอะไหล่ออกเป็นกลุ่มย่อยๆ โดยไม่ให้ชิ้นงานไหลย้อนกลับ-ไปมา

4.2 การปรับปรุงความสูญเปล่าที่เกิดจากของเสีย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลของปัญหาของเสียของผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลงานซ่อมของสไตล์ 1300832 ซึ่งยอดตรวจงาน 5,040 ตัว ของเสีย 716 ตัว เปอร์เซ็นต์ของเสียอยู่ที่ 14.21% เป้าหมายบริษัทตั้งไว้ที่≤10% ซึ่งได้จำแนกของเสียดังตารางที่ 3 และรูปที่ 2

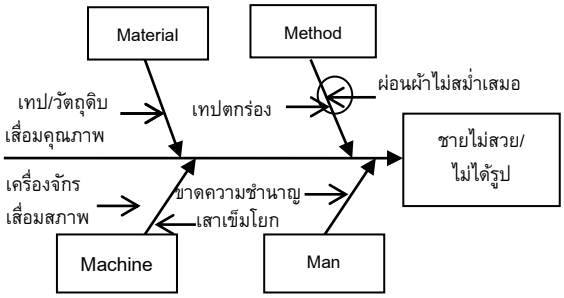
ตารางที่ 3 ตารางพาเรโตของเสีย

ของเสีย	จำนวนตัว	สะสม	%	%สะสม
ชายไม่สวย	150	150	77%	77%
กระเป๋าเปิดเย็บปิดไม่มิด	30	180	15%	92%
คอไม่ได้เคริป	10	190	5%	97%
ด้ายขาดตรงชาย	5	195	3%	100%
รวม	195			



รูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโตความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาที่เกิดขึ้น

จากแผนภูมิพาเรโต แสดงให้เห็นถึงของเสียที่เกิดจากชายไม่สวย เป็นของเสียที่มีสัดส่วนสูงสุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกปัญหาดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาดังรูปที่ 3

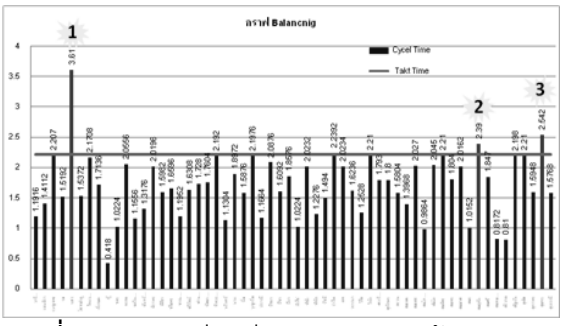


รูปที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา ของเสียที่เกิดจากเย็บชายไม่สวยไม่ได้รูป

จากแผนภูมิ สาเหตุที่นำมาแก้ไขคือการผ่อนผ้าไม่สม่ำเสมอ เพราะขณะเย็บต้องประคองเทป จึงทำให้ชายย่น วิธีแก้ไขคือจัดทำซองประคองเทปเพื่อไม่ให้ฝีเข็มตกร่อง และผ่อนผ้าได้อย่างสม่ำเสมอ สร้างจุดวัดให้พนักงานสามารถตรวจสอบและตัดสินใจได้ว่างานได้คุณภาพหรือไม่ จากนั้นสร้างมาตรฐานการทำงานให้เป็นคุณภาพที่ยอมรับของลูกค้า

4.3 การปรับปรุงความสูญเปล่าที่เกิดจากการผลิตมากเกินไป

จากปัญหา พบว่ามีคอขวดหลายจุดและมีบางสถานีผลิตงานออกมาเกินความจำเป็น เนื่องจากรอบเวลาทำงานบางสถานีสูงและต่ำ การปรับปรุงนี้นำหลักของ Standardize Work, Smooth Production & Takt Time, Balancing มาปรับปรุง โดยทำการจับรอบเวลาการทำงาน จากนั้นทำการสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบหาจุดที่เป็นคอขวดดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแท่งเปรียบเทียบรอบเวลาทำงานกับ Takt Time

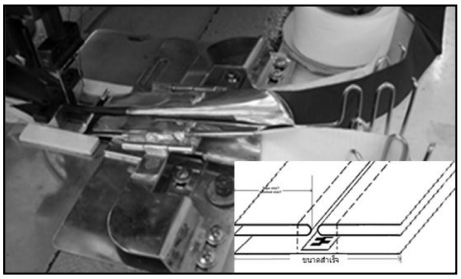
จากกราฟแท่งแสดงให้เห็นว่ามีขั้นตอนที่เกินอยู่ 3 จุด จากคอขวดที่ให้ผลผลิตต่ำ และเกิดการรอคอยระหว่างกระบวนการ ผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงทั้ง 3 คอขวด ซึ่งจะเห็นได้ว่าคอขวดที่ 1 รอบเวลา 3.610 นาที ทำให้ผลผลิตออกอยู่ที่ 17 ตัวต่อชั่วโมง %การส่งมอบต่ำ (%OTP) = 62.93% ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางการเปรียบเทียบรอบเวลาเกิน Takt Time 3 จุดที่เป็นคอขวด

DESCRIPTION	NAME	Cycle Time	Output	Takt Time	Output Target	Diff
ขั้นตอน เย็บประกบซิปหน้าในซ้ายขวา	แซง	3.610	17	2.222	27	1.388
ขั้นตอน พับกดทับคิ้ววงแขน	สมฤทัย	2.390	25	2.222	27	0.168
ขั้นตอน พับทับคิ้วชายเสียบซับใน1/16 (เข็มคู่ใช้เข็มข้างเดียว)	สมุทร	2.542	24	2.222	27	0.320

ซึ่งการปรับปรุงผู้วิจัยได้นำหลัก ECRS มาใช้ในการปรับปรุงในแต่ละขั้นตอนการทำงานดังนี้

จุดคอขวดที่ 1 ขั้นตอนการเย็บประกบซิปหน้าในซ้ายขวา พนักงานต้องเย็บเนาซิปติดกับสาปซิปก่อนเย็บประกบกับตัวเสื้อทั้ง2ข้าง วิธีการปรับปรุงใช้หลักการรวมขั้นตอนเข้าด้วยกัน โดยประดิษฐ์ซองประกบสาปซิปกับติดซิปไปพร้อมกันดังรูปที่ 5

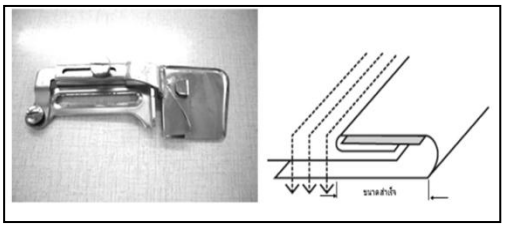


รูปที่ 5 ซองประกบสาปซิปกับติดซิปไปพร้อมกัน

จุดคอขวดที่ 2 พับกดทับคิ้ววงแขน พนักงานต้องคอยปัดผ้าตลอดเวลา วิธีปรับปรุงคือประดิษฐ์ตีนผีที่สามารถปัดผ้าได้ในขณะเย็บชิ้นงานดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 ตีนผีปัดผ้า

จุดคอขวดที่ 3 พับทับคิ้วชายเสียบซับใน 1/16 พนักงานต้องพับผ้ากุ้นและประคองกับตัวเสื้อ การปรับปรุง คือประดิษฐ์ซองประคองเทปหรือกุ้นทำให้ไม่เสียเวลาพับและประคองกุ้นขณะเย็บ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตีนผีประคองกุ้นเทป

4.4 การปรับปรุงความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่ง

การปรับปรุงนี้ ได้นำหลักของ Continuous Flow & Small Batch Manufacture มาปรับปรุง จากการศึกษาการไหลของกระบวนการจาก Material Flow Chart และLayoutเครื่องจักร พบว่ามีการใช้เครื่องจักรร่วมกันระหว่างกลุ่มประกอบตัวและชิ้นงานอะไหล่ ทำให้กลุ่มประกอบตัวมีงานกอง และกระบวนการท้ายไลน์เย็บทำงานแยกกระบวนการระหว่างเย็บ วิธีแก้ไขคือ 1.ทำการแยกกลุ่มอะไหล่กับประกอบตัวออกจากกัน และเสริมเครื่องจักรเพิ่ม 2.นำกระบวนการมาเชื่อมเข้าด้วยกันตั้งแต่เย็บถึงบรรจุไหลไปในทิศทางเดียวกัน

4.5 การปรับปรุงความสูญเปล่าที่เกิดจากการกักตุน

การปรับปรุงนี้ได้นำหลักของ Continuous Flow & Small Batch Manufacture (การไหลอย่างต่อเนื่องของกระบวนการ) มาปรับปรุง

4.5.1 สาเหตุที่ 1 ในกลุ่มงานอะไหล่มีการทำเป็นมัด ซึ่งส่งผลให้ WIP ระหว่างกระบวนการสูง เกิดการรอคอยงานและปัญหาของเสียที่ตามมา แนวทางในการแก้ไขคือจัดทำระบบสองตะกร้า ในกลุ่มอะไหล่ และทำการแตกมัดที่ส่งงานให้เป็น lotเล็กลงและสร้างการส่งงานเป็น One piece Flow เพื่อลด Work in Process ลงดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 การส่งงานแบบ One piece Flow

4.5.2 สาเหตุที่ 2 เนื่องจากแผนกเย็บเบิกชิ้นงานจากแผนกตัดมาทำเป็นจำนวนมาก แนวทางแก้ไขคือทำ Small lot โดยเพิ่มความถี่ในการเบิกจาก 2 วันเบิก 1ครั้ง เป็น 1 วันเบิก 2 ครั้ง โดยจัดทำระบบ Kanban แจ้งไปยังแผนกตัด ซึ่งการปรับปรุงนี้ทางแผนกตัดงานได้จัดทำระบบ Super Market ชิ้นงานถูกจัดครบตัว และกำหนดปริมาณในการจัดงานตามเป้าหมายแผนกเย็บต่อวันดังรูปที่ 9 หลังปรับปรุงมีชิ้นงานเพียงพอกับความต้องการเย็บในแต่ละวัน

รูปที่ 9 การทำ Small lot ในการเบิกชิ้นงานเย็บ

5. ผลการวิจัย

5.1 การปรับปรุงความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอยงาน

ผลการปรับปรุงพบว่าการหยุดชะงักของกระบวนการลดลง ซึ่งวัดจากเวลาของชิ้นงานรอระหว่างกระบวนการและลีดไทม์ก่อนปรับปรุง 5.90 วัน หลังปรับปรุงเหลือ 1.60 วัน คิดเป็น 72.88%

5.2 การปรับปรุงความสูญเปล่าที่เกิดจากของเสีย

ผลการปรับปรุงของเสีย จากข้อมูลงานซ่อมของสไตล์1300832 ก่อนปรับปรุง ยอดตรวจงาน 5,040 ตัว ของเสีย 716 ตัว เปอร์เซ็นต์ของเสียอยู่ที่ 14.21% หลังปรับปรุงยอดตรวจ 4,288 ตัว ของเสีย 233 ตัว เปอร์เซ็นต์ของเสียอยู่ที่ 5.43%

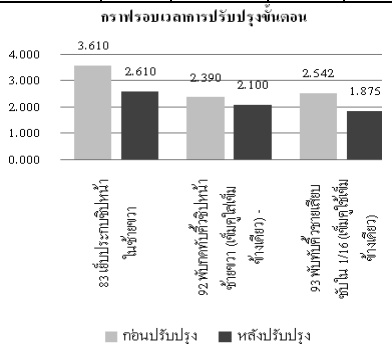
และผลจากการปรับปรุงของเสียที่เกิดจากการเย็บชายไม่สวย จำนวนก่อนปรับปรุงยอดงานตรวจ 5,040 ตัว ของเสีย 150 ตัว เปอร์เซ็นต์ของเสีย 2.90% หลังปรับปรุงยอดตรวจงาน 4,228 ตัวของเสีย 65 ตัว เปอร์เซ็นต์ของเสีย 1.52%

5.3 การปรับปรุงความสูญเปล่าที่เกิดจากการผลิตมากเกินไป

ผลจากการปรับปรุงคอขวดทั้ง 3 จุดพบว่ารอบเวลาการทำงานลดลงดังตารางที่ 5 และรูปที่ 10

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบรอบเวลาก่อนและหลังปรับปรุง

DESCRIPTION	NAME	Cycle Time		Takt Time	ผลต่างเวลา
		ก่อน	หลัง		
ขั้นตอน เย็บประกบซิปหน้าในซ้ายขวา	แซง	3.610	2.110	2.222	-1.500
ขั้นตอน พับกดทับคิ้วซิปหน้าซ้ายขวา (เข็มคู่ใส่เข็มข้างเดียว)	สมฤทัย	2.390	2.100	2.222	-0.290
ขั้นตอน พับทับคิ้วชายเสียบซับใน 1/16 (เข็มคู่ใช้เข็มข้างเดียว)	สมุทร	2.542	1.875	2.222	-0.667



รูปที่ 10 กราฟการเปรียบเทียบรอบเวลาทำงานก่อน-หลังปรับปรุง

และผลจากการปรับปรุงคอขวดทั้ง 3 จุดส่งผลให้ผลผลิตก่อนปรับปรุงจาก 141 ตัวต่อวัน หลังปรับปรุงอยู่ที่ 325 ตัวต่อวัน %ประสิทธิภาพการผลิต ก่อนปรับปรุง 23.89% หลังปรับปรุงอยู่ที่ 37.33%

5.4 การปรับปรุงความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่ง

ผลการปรับปรุงพบว่าระยะทางในการขนส่งก่อนปรับปรุง 155.00 เมตร หลังปรับปรุง 137.00 เมตร และพื้นที่ในการใช้งานก่อนปรับปรุง 173.25 ตารางเมตร หลังปรับปรุง 160.80 ตารางเมตร

5.5 การปรับปรุงความสูญเปล่าที่เกิดจากการกักตุน

ผลการปรับปรุงสามารลดชิ้นงานรอผลิตที่อยู่ในกระบวนการลง จาก 1,880 ตัว ลดลงเหลือ 431 ตัว

6.สรุปผล

จากการวิจัยการเพิ่มผลผลิตโดยนำระบบการผลิตแบบลีนมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มผลการปรับปรุง พบว่าการเพิ่มผลผลิตในด้านประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 23.90% เป็น 35.19% ด้านผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 141 ตัวต่อวัน เป็น 306 ตัวต่อวัน คิดเป็น 54% ลดระยะเวลาในการผลิตรวมลงจาก 5.90 วัน เป็น 1.60 วัน คิดเป็น 72.88% ลดชิ้นงานรอผลิตที่อยู่ในกระบวนการลง (Work in Process: WIP) จาก 1,880 ตัว เหลือ 431 ตัว คิดเป็น 77.04%

เอกสารอ้างอิง

[1] คณะผู้แทนไทยประจำประชมคมยุโรป, Generalised System of Preferences:GPS. ข้อมูลจาก http://news.thaieurope.net/content/view/95/104, (4 เมษายน 2558)

[2] ประนอม ละอองนวล, การผลิตแบบลีน. ข้อมูลจาก http://www.academic.hcu.ac.th/forum/board_posts.asp?FID=306, (2 พฤษภาคม 2558)

[3] อิงอร เทศประสิทธิ์, 2553. การปรับปรุงกระบวน การผลิตในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนโคมเพดานแก้ว.

[4] ภาวิณี อาจปรุ, 2551. การลดเวลาสูญเปล่าในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เบรกเกอร์.

[5] อดิศักดิ์ แป๊ะพุฒ, 2553.การเพิ่มผลิตภาพในกระบวนการผลิตของโรงงานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์.

การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตครกดินเผาโดยระบบการผลิตแบบลีน: กรณีศึกษาโรงงานผลิตครกดินเผาในจังหวัดอุดรธานี

Productivity Improvement Hardened Clay Mortar Process By Lean Manufacturing System: A Case Study Factory Hardened Clay Mortar In Udonthani Province

นราธิป ภาวะรี[1*] วีระพล แก้วก่า[2] มานน เซียวประจวบ[3]

[1]สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
[2]สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
[3]สาขาวิชาการจัดการทั่วไป คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

[1]Department of Industrial management, Faculty of Technology, Udonthani Rajabhat University
[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology, Udonthani Rajabhat University
[3] Department of Management Science, Faculty of Management Science, Udonthani Rajabhat University
Email: yellow_incubus@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตครกดินเผาโดยประยุกต์หลักการของลีน จากการศึกษากระบวนการผลิตได้ดำเนินการแยกกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (Non Value Activity: NVA) และกิจกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่า (Value Activity: VA) พบว่าหลังจากปรับปรุงแยกประเภทงานย่อย ในกระบวนการผลิตกระเบื้องดินเผาทั้งหมดสามารถลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตเท่ากับ 217 วินาที คิดเป็น 9.64 เปอร์เซ็นต์ หรือสามารถผลิตครกดินเผาได้เพิ่ม 42 ชิ้น ต่อรอบการผลิต และได้ดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้ผังการทำงานร่วมของพนักงานและเครื่องจักร พบว่าสามารถเพิ่มอัตราการทำงานของพนักงานได้เท่ากับ 65 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดจำนวนพนักงานในขั้นตอนการผลิตการนวดดินละเอียด 1 คน สามารถลดค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ 215 บาทต่อวัน

คำสำคัญ แนวคิดลีน, กิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า, กิจกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่า, ผังการทำงานร่วมของพนักงานและเครื่องจักร

Abstract

This paper aims to improve in manufacturing mortar clay process by applying the principles of Lean. The study was separate processing Non Value activities (NVA) and Value activities (VA). After that prodution Improvement is separated activity task can reduce processing time of 217 seconds, 9.64 percent or increase mortar clay 42 pieces per production cycle and analyzes were performed on value stream mapping by man machine chart. That can increase work rate 65 percent, and reduce amount 1 person in soil thrash process and can reduce costs by 215 baht per day.

Keywords : Lean concept, Non Value Activity, Value Activity, Man Machine Chart

1. บทนำ

การดำเนินธุรกิจอุตสาหกรรมในปัจจุบันมีการแข่งขันที่รุนแรงและสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากสภาวะเศรษฐกิจโลกที่ถดถอย ภาวะเงินเฟ้อที่สูงขึ้น [1] ราคาน้ำมันที่ผันผวน และความคาดหวังในผลิตภัณฑ์ของลูกค้าที่มากขึ้น ส่งผลให้การดำเนินการธุรกิจของทุกองค์กรต้องมีความระมัดระวังรอบคอบและมีการวางแผนที่ดี เพื่อให้ธุรกิจนั้นอยู่รอดและดำเนินต่อไปได้ ดังที่กล่าวมาไม่เฉพาะธุรกิจอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ต้องมีการปรับตัว ธุรกิจอุตสาหกรรมในครัวเรือน เช่น การผลิตของใช้ภายในครอบครัว เครื่องปั้นดินเผา จึงต้องมีการปรับตัวด้วยเช่นกัน

ครกดินเผาเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนที่มีการผลิตมากในภาคอีสานแถบลุ่มแม่น้ำโขง เนื่องจากลักษณะของดินที่พบเป็นดินเหนียวและพบได้ทั่วไป ส่งผลให้คนภาคอีสานแถบลุ่มแม่น้ำโขงนิยมผลิตของใช้เครื่องปั้นดินเผากันมาก โดยครกดินเผาเรียกอีกอย่างว่า ครกกระเบือ [2] เป็นภาชนะชนิดหนึ่งที่เก่าแก่มากใช้ในการบด ตำ ผสมอาหาร เพื่อไม่ให้แหลกมากนัก เช่น น้ำพริก ส้มตำ เป็นต้น ทำจากดินเหนียวเผาขึ้นรูปสีดำ รูปทรงมีลักษณะคล้ายกรวย ฐานเล็กกลมมน หนาและมีชั้นรองเพื่อให้สามารถรับแรงกระแทกได้ดี ใช้คู่กับสากที่ทำจากไม้เนื้อแข็งที่ขัด กลึง เป็นรูปโค้งมน ซึ่งขนาดของครกดินเผาที่ใช้ในการศึกษานี้มีขนาดน้ำหนัก 1.5 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 1

จากการศึกษากระบวนการผลิตครกดินเผา พบว่าในกิจกรรมย่อยของกิจกรรมกระบวนการผลิตหลักมีกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (Non Value Activity: NVA) หลายขั้นตอนเป็นความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น จึงนำระบบลีนมาประยุกต์ใช้ปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตให้มีความต่อเนื่องและมีคุณค่า ส่งผลให้โรงงานกรณีศึกษาสามารถลดต้นทุนด้านการบริหารจัดการ ต้นทุนแรงงาน และเพิ่มผลิตภาพการผลิต [3] อีกทั้งยังส่งเสริมสินค้าอุตสาหกรรมท้องถิ่นให้แก่ผู้ผลิต และช่วยเสริมศักยภาพเศรษฐกิจของประเทศต่อไป

รูปที่ 1 ครกดินเผา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing System) เกิดขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อ ปี ค.ศ. 1990 ได้พัฒนามาจากระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System: TPS) ซึ่งบางทีเรียกว่า ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just In Time Manufacturing System) ขึ้นมา โดยส่วนหนึ่งของระบบนี้ได้มาจากระบบข้อเสนอแนะ (SuggestionnSystem) ที่เสนอโดยพนักงานนั่นเอง ซึ่งใช้ระบบการผลิตแบบดึง [4] ตามความต้องการของลูกค้าทั้งภายในและภายนอกองค์กร โดยเน้นการไหลอย่างต่อเนื่องของงานเป็นหลัก ทำให้เวลานำสั้นลง ต้นทุนต่ำลง และไม่มีสินค้าคงคลังเกินความจำเป็น โดยใช้หลัก ECRS คือ การกำจัดกระบวนการที่ไม่มีความจำเป็น (Eliminate: E) การรวมงานย่อยที่ซ้ำซ้อน (Combine: C) การจัดลำดับงานใหม่ (Rearrange: R) และการทำให้ง่ายหรือใช้วิธีการทำงานที่ไม่ซับซ้อนไปแก้ไขปัญหา (Simplify: S)

ดังนั้นระบบการผลิตแบบลีนเป็นระบบการผลิตที่สามารถต้นทุน ลดความสูญเปล่า ลดความสูญเสียโอกาสทางการผลิตได้ และเป็นระบบที่สำคัญในการสร้างมาตรฐานกระบวนการผลิต [5] รวมถึงส่งเสริมการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

2.2 ความสูญเปล่า (Waste) คือ การกระทำใดๆ ที่ใช้ทรัพยากรไป ไม่ว่าจะเป็นแรงงาน วัตถุดิบ เวลา และเงิน หรืออื่นๆ แต่ไม่ทำให้สินค้าและบริการเกิดขึ้น [6] โดยทั่วไปในงานที่ทำกันอยู่ 100 งาน จะเป็นงานที่มีคุณค่าอยู่เพียง 5 งาน หรือ 5% เท่านั้น ที่เหลืออีก 95% นั้นถือเป็นงานหรือการกระทำที่ไม่มีคุณค่า ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1. กิจกรรมที่มีคุณค่า (Value added activity: VA) เช่น การตัด การพ่นสี การขึ้นรูป และการประกอบ 2.กิจกรรมที่ไม่มีคุณค่า (Non value added activity: NVA) เช่น การบันทึกข้อมูลที่ไม่ได้ใช้งานหรือไม่มีประโยชน์ การผลิตของเสีย หรือการผลิตเกินความจำเป็น เป็นต้น

[7] การเปรียบเทียบปัจจัย 3 ปัจจัย ในเรื่องของการขัดขวางการพัฒนาภายในองค์กรโดยใช้ระบบลีน ได้แก่ ขนาดโรงงาน ระยะเวลาดำเนินกิจการของโรงงาน และความเข้มแข็งของสหภาพแรงงาน โดยได้ดำเนินการทดลองในกระบวนการผลิต 22 กระบวนการโดยใช้ระบบลีนเป็นหัวใจสำคัญของการปรับปรุง และมีหัวข้อที่ต้องดำเนินการควบคู่ด้วย 4 หัวข้อ ได้แก่ ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just in time) การควบคุมคุณภาพทั้งองค์กร (Total quality management) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Total preventive maintenance) และการบริหารจัดการทรัพยากรบุคคล (Human resource management) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการขัดขวางในการพัฒนาภายในองค์กรมากที่สุดคือ ขนาดโรงงาน ซึ่งมีผลต่อการขัดขวางการพัฒนาองค์กรอยู่ที่ 23%

[8] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิคการผลิตแบบลีน าแผนกการผลิตทรานมิตเตอร์ หลังจากที่ได้ทำการลดและกำจัดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต ทำให้เวลานำการผลิตโดยรวม จาก 3.8 วัน เหลือเพียง 3.3 วัน สามารถลดเวลานำการผลิตในกลุ่มกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหลักทางด้านหน้าได้ถึง 0.51 วัน เพิ่มอัตราผลผลิตจาก 0.62 ชิ้นงานต่อ 1 ชั่วโมง แรงงานทางตรง เป็น 0.69 ชิ้นงานต่อ 1 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 11.29

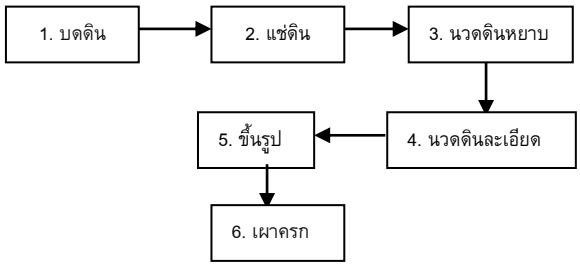
[9] ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีนในโรงงานผลิตเหล็กรูปพรรณได้ใช้เครื่องมือการผลิตแบบลีน คือ แผนภูมิสายธารคุณภาพ และแบบจำลองสถานการณ์ และออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 โดยวิเคราะห์ 3 ปัจจัย ได้แก่ ระบบการผลิต การบำรุงรักษาแบบทุกคนมีส่วนร่วม และการลดเวลาการปรับเปลี่ยนเครื่องจักร จากผลการจำลองขจัดความสูญเปล่า สามารถระยะเวลาการผลิตรวมจาก 16.24 วัน มาเป็น 8.56 วันหรือคิดเป็นร้อยละ 47.30 และลดสินค้าคงคลังระหว่างกระบวนการจาก 96.35 ตันต่อวัน

3. ขั้นตอนการดำเนินการ

ในขั้นตอนการดำเนินการวิจัยศึกษากระบวนการผลิตครกดินเผา (แสดงในรูปที่ 3) มี 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลทั่วไปในปัจจุบันโรงงานผลิตครกดินเผา เป็นโรงงานอุตสาหกรรมในครัวเรือน มีพนักงานทั้งหมด 10 คน ผลิตภัณฑ์ของโรงงานมีชนิดเดียว คือ ครกดินเผา กำลังการผลิต 3,000 ชิ้นต่อเดือน ลูกค้าส่วนใหญ่เป็นลูกค้าต่างจังหวัดคิดเป็นร้อยละ 90 และในจังหวัดร้อยละ 10

2. ศึกษาขั้นตอนการผลิตครกดินเผา ดังแสดงในแผนภาพการไหลของกระบวนการผลิต รูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนกระบวนการผลิตครกดินเผา

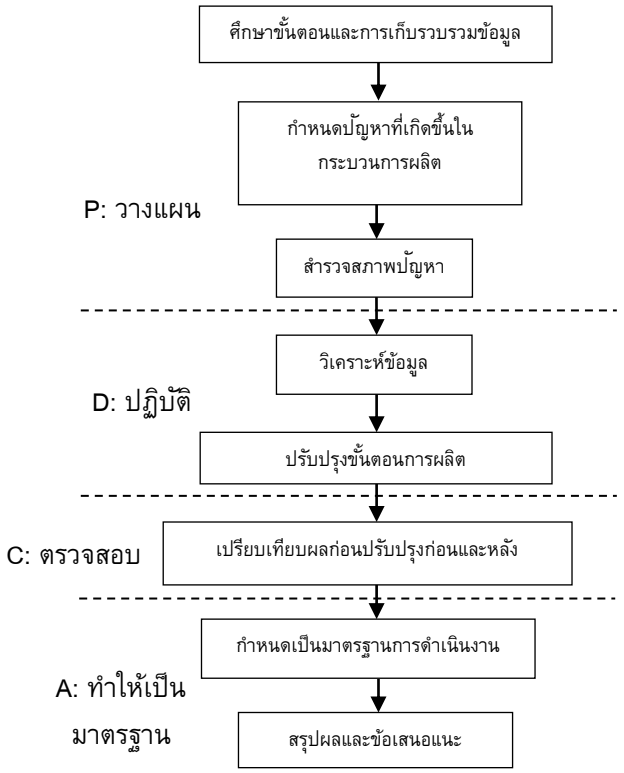
เริ่มจากตรวจสถานที่จริงของกระบวนการผลิต (Genba) [10] เริ่มจากนำดินเหนียวที่แห้งสนิทมาทำการบดให้ละเอียด จากนั้นนำดินที่บดละเอียดมาเทลงในบ่อที่เตรียมไว้ขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ลึก 0.6 เมตร ให้เต็ม จากนั้นเทน้ำลงในบ่อดินเพื่อแช่ดิน ทิ้งไว้ 1 คืน จึงทำการตักดินจากบ่อแช่ดินขึ้นใส่เครื่องนวดดินเพื่อง่ายต่อการขึ้นรูปครกดินเผา เมื่อได้ดินจากการนวดแบบละเอียดแล้ว ช่างที่มีความชำนาญจะทำการปั้นขึ้นรูปครกดินเผา และขั้นตอนสุดท้ายจะนำครกดินเผาที่ได้ไปเผาซึ่งใช้ระยะเวลาในการเผา 5 วัน

3. ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลจากสภาพการทำงานจริง (Genbutsu) และเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทำงานจริง (Genjitsu) ที่ได้ เพื่อใช้กำหนดเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่อไป

4. กำหนดรูปแบบวิธีการแก้ไขปัญหาโดยประยุกต์ใช้หลักการของลีนสำหรับกระบวนการผลิตครกดินเผา

5. เปรียบเทียบผลจากรูปแบบการทำงานในปัจจุบันกับวิธีการที่นำเสนอ แล้วจัดทำเป็นมาตรฐานการดำเนินงาน

6. สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ



รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ

4. ผลการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานศึกษากระบวนการผลิตครกดินเผา สามารถวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงโดยใช้หลักการ ECRS ได้ 2 แนวทาง ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์กิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (NVA)

จากการดำเนินงานในปัจจุบัน พบว่าขั้นตอนในกระบวนการผลิตครกดินเผามีกิจกรรมหลัก 6 ขั้นตอน ได้แก่ การบดดิน การแช่ดิน การนวดดินหยาบ การนวดดินละเอียด การขึ้นรูป และการเผาครกดินเผา นั้นเกิดความสูญเปล่าในการดำเนินงานเนื่องจากแต่ละกิจกรรมหลักนั้นมีขั้นตอนการดำเนินของงานย่อยที่ซ้ำซ้อน และมีงานที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า โดยแสดงตัวอย่างการแยกประเภทงานย่อยของกิจกรรมการนวดดินละเอียด และแยกกิจกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่า (VA) กับกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (NVA) ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแยกประเภทงานย่อยของกิจกรรมนวดดินละเอียด

ลำดับที่	คำอธิบายการทำงาน	ประเภทของงาน			
		กิจกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม		กิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม	
		เวลา (วินาที)	คิดเป็น %	เวลา (วินาที)	คิดเป็น %
1	เดินไปตักน้ำ	-	-	7	6.54
2	ตักน้ำ	2	1.87	-	-
3	เดินกลับมาที่เครื่องนวดดินละเอียด	-	-	7	6.54
4	ใช้น้ำพรมบริเวณเครื่องนวดดินอย่างละเอียด	4	3.74	-	-
5	เปิดสวิทซ์	2	1.87	-	-
6	นำดินลงเครื่องนวดอย่างละเอียด	13	12.15	-	-
7	เครื่องนวดดินทำงาน	60	56.07	-	-
8	เดินนำดินไปเก็บ	7	6.54	-	-
9	เดินกลับมาปิดสวิทซ์	-	-	5	4.67
	รวม	88	82.24	19	17.76
	รวมเวลาทั้งหมดในกิจกรรม	107 วินาที			

จากตารางที่ 1 พบว่าในขั้นตอนการนวดดินละเอียด มีระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรมทั้งหมด 107 วินาที และมีกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเท่ากับ 19 วินาที จึงดำเนินการปรับปรุงด้วยหลักการปรับเปลี่ยน (Rearrange: R) โดยปรับเปลี่ยนสถานที่จัดเก็บถังสำหรับใส่น้ำและพื้นที่เก็บดินให้มาอยู่ใกล้กับเครื่องนวดดินละเอียด และต้องไม่มีผลกระทบต่อการไหลของกระบวนการผลิตเดิม ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรมขั้นตอนการ

นวดดินละเอียดได้ 12 วินาที หรือคิดเป็น 11.21 เปอร์เซ็นต์ ของกิจกรรมนวดดินละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบเวลาการทำงานก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุงของกิจกรรมนวดดินละเอียด

ลำดับที่	กิจกรรมการทำงาน	เวลาการทำงานก่อนปรับปรุง (วินาที)	เวลาการทำงานหลังปรับปรุง (วินาที)	เวลาที่ลดลง (วินาที)	คิดเป็น (%)
1	เดินไปตักน้ำ	7	3	4	57
2	ตักน้ำ	2	2	-	-
3	เดินกลับมาที่เครื่องนวดดินหยาบ	7	3	4	57
4	ใช้น้ำพรมบริเวณเครื่องนวดดินหยาบ	4	4	-	-
5	เปิดสวิทซ์	2	2	-	-
6	นำดินลงเครื่องนวดละเอียด	13	13	-	-
7	เครื่องนวดดินทำงาน	60	60	-	-
8	เดินนำดินไปเก็บ	7	5	2	28.57
9	เดินกลับมาปิดสวิทซ์	5	3	2	40
	สรุป	107	95	12	11.21

รูปที่ 4 ขั้นตอนการนวดดินละเอียดก่อนปรับปรุง

รูปที่ 5 ขั้นตอนการนวดดินละเอียดหลังปรับปรุง

จากการปรับปรุงแยกประเภทงานย่อยของกิจกรรมหลัก และแยกกิจกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่า (VA) กับกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (NVA) ในกระบวนการผลิตครกดินเผาทั้งหมด ซึ่งสามารถลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตเท่ากับ 217 วินาที หรือคิดเป็น 9.64 เปอร์เซ็นต์ต่อรอบการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบเวลาการทำงานก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุงของกิจกรรมทั้งหมด

ลำดับที่	กิจกรรมการทำงาน	เวลาการทำงานก่อนปรับปรุง (วินาที)	เวลาการทำงานหลังปรับปรุง (วินาที)	เวลาที่ลดลง (วินาที)	คิดเป็น (%)
1	บดดิน	187	180	7	3.74
2	แช่ดิน	389	384	5	1.29
3	นวดดินหยาบ	129	121	8	6.20
4	นวดดินละเอียด	107	95	12	11.21
5	ขึ้นรูป	233	233	0	0
6	เผาครกดินเผา	1,205	1,020	185	15.35
	รวม	2,205	2,033	217	9.64

4.2 การวิเคราะห์การทำงานร่วมของพนักงานและเครื่องจักร

จากการวิเคราะห์ในกระบวนการผลิตครกดินเผาที่มีการทำงานร่วมของคนและเครื่องจักรมีทั้งหมด 4 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมบดดิน กิจกรรมการนวดดินหยาบ กิจกรรมการนวดดินละเอียด และกิจกรรมขึ้นรูป พบว่าจากการเก็บข้อมูลกิจกรรมการนวดดินละเอียดมีการทำงานร่วมของคนและเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 6

ในการดำเนินงานปัจจุบัน มีเครื่องจักรในขั้นตอนนวดดินละเอียด 2 เครื่อง และพนักงาน 2 คน ขั้นตอนนี้จะใช้คนหนึ่งคนต่อเครื่องจักรหนึ่งเครื่อง พบว่าอัตราการทำงานทำงานของคนและเครื่องจักรเท่ากับ 38 และ 85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จึงดำเนินการปรับปรุงโดยใช้หลักการกำจัดออก (Eliminate) ร่วมกับแผนภูมิการทำงานร่วมของคนและเครื่องจักร

พนักงาน			เครื่องนวดดินละเอียด A			เครื่องนวดดินละเอียด B		
กิจกรรม		เวลา	กิจกรรม		เวลา	กิจกรรม		เวลา
เปิดสวิตซ์		2	เปิดสวิตซ์		2	ว่างงาน		29
นำดินลงเครื่อง		13	นำดินลงเครื่อง		13			
เดินตักน้ำ		3	เครื่องจักรนวดดิน		60			
ตักน้ำ		4						
เดินตักน้ำ		3						
พรมน้ำ		4						
เปิดสวิตซ์		2				เปิดสวิตซ์		2
นำดินลงเครื่อง		13				นำดินลงเครื่อง		13
เดินตักน้ำ		3				เครื่องจักรนวดดิน		60
ตักน้ำ		4						
เดินตักน้ำ		3						
พรมน้ำ		4						
ว่างงาน		17						
นำดินออก		5	นำดินออก		5			
ปิดสวิตซ์		2	ปิดสวิตซ์		2			
ว่างงาน		22	ว่างงาน		29			
นำดินออก		5				นำดินออก		5
ปิดสวิตซ์		2				ปิดสวิตซ์		2

รูปที่ 7 แผนภูมิการทำงานร่วมของคนและเครื่องจักรหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 7 ดำเนินการปรับปรุงโดยให้พนักงาน 1 คนควบคุมเครื่องจักร 2 เครื่อง สามารถเพิ่มอัตราการทำงานของคนได้เป็น 65 เปอร์เซ็นต์ แต่อัตราการทำงานเครื่องจักรลดลงเหลือ 74 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4

พนักงาน			เครื่องนวดดินละเอียด A		
กิจกรรม		เวลา	กิจกรรม		เวลา
เดินตักน้ำ		3	ว่างงาน		14
ตักน้ำ		4			
เดินตักน้ำ		3			
พรมน้ำ		4			
เปิดสวิตซ์		2	เปิดสวิตซ์		2
นำดินลงเครื่อง		13	นำดินลงเครื่อง		13
ว่างงาน		60	เครื่องจักรนวดดินละเอียด		60
นำดินออก		5	นำดินออก		5
ปิดสวิตซ์		2	ปิดสวิตซ์		2

ตารางที่ 4 อัตราการทำงานของพนักงานและเครื่องจักรก่อนและหลังปรับปรุง

	ก่อนปรับปรุง (เปอร์เซ็นต์)	หลังปรับปรุง (เปอร์เซ็นต์)
พนักงาน	38	65
เครื่องจักร	85	74

จากตารางที่ 4 อัตราการทำงานของเครื่องจักรหลังปรับปรุงมีค่าลดลง 9 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อการผลิตครกดินเผา เนื่องจากปริมาณของดินที่นวดมีความเพียงพอต่อการขึ้นรูปและไม่เป็นปัญหาคอขวดในขั้นตอนนี้

5. สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตครกดินเผา จากการดำเนินการสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์แยกกิจกรรมย่อยที่เป็นกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า และปรับปรุงการดำเนินงาน สามารถลดระยะเวลาได้เท่ากับ 217 วินาทีต่อรอบการผลิต คิดเป็น 9.64 เปอร์เซ็นต์ หรือสามารถผลิตครกดินเผาได้เพิ่ม 42 ชิ้น ต่อรอบการผลิต

2. การปรับปรุงวิเคราะห์การทำงานร่วมของพนักงานและเครื่องจักร พบว่าสามารถเพิ่มอัตราการทำงานของพนักงานได้เท่ากับ 65 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดจำนวนพนักงานในขั้นตอนการผลิตการนวดดินละเอียด 1 คน สามารถลดค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ 215 บาทต่อวัน

ในการเสนอแนะจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. โรงงานกรณีศึกษาควรมีการปรับปรุงการผลิตเพิ่มเติม เช่น การควบคุมคุณภาพ การจัดตารางการซ่อมบำรุง และเพิ่มระบบการควบคุมด้วยสายตา (Visual control) เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการทำงาน

2. โรงงานกรณีศึกษาควรดำเนินงานตามหลักไคเซ็น (Kaizen) โดยมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับขั้นตอนการผลิต ส่งผลให้ลดความสูญเปล่า และเพิ่มผลิตภาพในกระบวนการผลิต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] อัตราเงินเฟ้อ. (2558), ธนาคารแห่งประเทศไทย https://www.bot.or.th/Thai/Statistics/Pages/default.aspx

[2] ศูนย์วัฒนธรรมมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. (2557), มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต http://www.dpu.ac.th/culture/page.php?id=8196

[3] เกียรติศักดิ์ จันทร์แดง .(2549) การบริหารและการจัดการการผลิต. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์วิตตี้กรุ๊ป

[4] James P. Womach. (2007). The Machine That Changed the World. Massachusetts Institute of Technology. MIT.

[5] Matthias Holweg. (2007). “The geology of lean production”. Journal of Operation Management vol 25, pp. 420-437.

[6] นิพนธ์ บัวแก้ว. (2549) รู้จักระบบการผลิตแบบลีน: Introduction to Lean Manufacturing. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.พิมพ์ครั้งที่ 4.

[7] Rachna shah and Peter T. ward. (2003). “Lean Manufacturing: context, practice bundles and performance”. Journal of Operation Management vol 21, pp. 129-149.

[8] ศิริวัตน์ พลอยทับทิม. (2552). การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิกส์การผลิตแบบลีน กรณีศึกษา: แผนกการผลิตทรานต์มิตเตอร์ บริษัท ฟาบริเนท จำกัด. คณะบริหารธุรกิจ มหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[9] พฤทธิพงศ์ โพธิวราพรรณ. (2548). การประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีนในอุตสาหกรรมแบบผสม (แบบต่อเนื่อง-แบบช่วง) : กรณีศึกษา . โรงงานผลิตเหล็กรูปพรรณ .วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[10] สมชัย อัครทิวา. (2549) เทคนิคการวิเคราะห์อย่างถึงแก่น : Why-Why Analysis. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น. พิมพ์ครั้งที่ 6.

การประยุกต์ใช้ QFD เพื่อค้นหาคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ สำหรับการพัฒนากระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะ

Application of Quality Function Deployment Technique (QFD) for Searching of Products Characteristic and Development Process of Chinese Pastry

ประจวบ กล่อมจิตร[1*] พิชานนท์ ตรีโกศล
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000, E-mail: prachuab@su.ac.th[1*]
Prachuab Klomjit*, Pichanon Tregosone
Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Silpakorn University, Muang, Nakornpathom, 73000, E-mail: prachuab@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความต้องการของผู้บริโภค และกระบวนการทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะ ให้สอดคล้องและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพแบบ 4 เฟส

เมื่อนำความต้องการของผู้บริโภคเกี่ยวกับความพึงพอใจในคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะ เข้าสู่ช่วงต่างๆ ของ QFD แบบ 4 เฟส คือ การวางแผนผลิตภัณฑ์ การออกแบบการผลิตภัณฑ์ การวางแผนกระบวนการ และการควบคุมกระบวนการ ซึ่งผลที่ได้จากจากการแปลงความต้องการของผู้บริโภคเป็นความต้องการการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตและนำมาจัดสรรความต้องการพบว่า การปรับปรุงพัฒนากระบวนการบรรจุขนมเปี๊ยะสามารถตอบสนองต่อความต้องการการปรับปรุงพัฒนากระบวนการได้มากที่สุด โดยการเปรียบเทียบวิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่องและเครื่องบรรจุอัตโนมัติ พบว่าวิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่องมีความเหมาะสมกับกำลังการผลิตของโรงงานกรณีศึกษามากกว่าเมื่อเทียบกับต้นทุนเทียบเท่ารายปี ซึ่งเมื่อใช้วิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่องและซองลามิเนตชนิด OPP20+CPP30 แทนที่วิธีการบรรจุโดยใช้อุปกรณ์ความร้อน (วิธีปัจจุบัน) และแผ่นฟิล์มพลาสติก PP จะสามารถลดการใช้ทักษะของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งมีผลทำให้ใช้เวลาลดลงร้อยละ 9.6 และมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 3-4 เป็น 6-7 สัปดาห์

คำหลัก เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ QFD พัฒนากระบวนการผลิต

Abstract

This study was about the requirement of the customer and the process of Chinese pastry's quality from plant case. The purpose of this study was to develop the productive process of Chinese pastry, in order to fulfill a customer requirement. By using quality function deployment technique, four-phase Model.

From the demand of customers for the satisfaction of Chinese pastry to four-phase model of QFD: Product Planning, Product Design, Process Planning and Production Planning. The result of changing the demand of customers is to improve and develop the productive process and then to requirements allocation. It shows that developing of packaging process can fulfill the requirement the

most. By comparing the Continuous Sealing Machine and Packaging Machine. It shows that Continuous Sealing Machine is more suitable for the plant case, compare to the annual cost. When using Continuous Sealing Machine and *Laminated* Films OPP20+CPP30 instead of the Soldering iron (current process) and PP Films. Can reduce the skill of worker that also reduce time of 9.6% and the shelf life of product, Chinese pastry will stay longer from 3-4 weeks to 6-7 weeks.

Keywords: Quality Function Deployment, Production Process Development

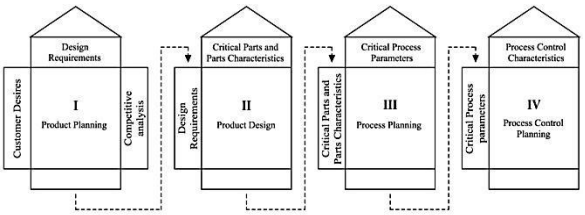
1. บทนำ

ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเบเกอรี่โดยเฉพาะขนาดกลางและขนาดย่อม มีความจำเป็นที่จะพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของตลาดและสามารถแข่งขันกับผู้ประกอบการรายอื่นได้ โดยมุ่งหวังการสนับสนุนทางด้านการวิจัยและพัฒนา ซึ่งในปัจจุบันจะพบว่าผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อมขาดความสามารถในการจัดการและพัฒนาผลิตภัณฑ์ รวมทั้งบุคลากรที่มีความรู้เฉพาะด้าน ซึ่งการสนับสนุนทางด้านวิจัยและพัฒนาทั้งในเรื่องผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตจะเพิ่มโอกาสขยายตลาดของกลุ่มอุตสาหกรรมเบเกอรี่ขนาดกลางและขนาดย่อมให้เพิ่งสูงขึ้นได้

ดังนั้นการพิจารณาในด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความน่าสนใจและผู้บริโภคเกิดความพึงพอใจ ย่อมจะส่งผลให้เกิดการพัฒนากระบวนการผลิต ซึ่งจะเป็นการช่วยปรับปรุงคุณภาพ เกิดการควบคุมและลดต้นทุนในการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความเชื่อมั่นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการแข่งขันกับผู้ประกอบการรายอื่นที่ดีขึ้นอีกด้วย

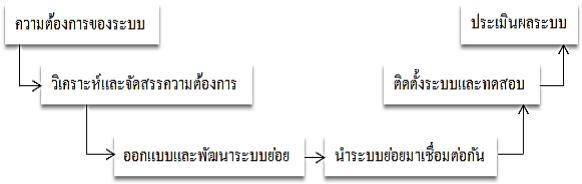
2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพแบบ 4 เฟส (Quality Function Deployment four) [1] เป็นวิธีการสำหรับการวางแผนการพัฒนาผลิตภัณฑ์และจัดโครงสร้างการผลิต โดยการวิเคราะห์ผ่านช่วงของการวางแผนผลิตภัณฑ์ การออกแบบการผลิตภัณฑ์ การวางแผนกระบวนการ และการควบคุมกระบวนการ จะช่วยให้สามารถระบุความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างชัดเจน และแปลงความต้องการนั้นให้อยู่ในรูปของความต้องการการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิต โดยมีเป้าหมายเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคให้ได้มากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ แบบ 4 เฟส [1]

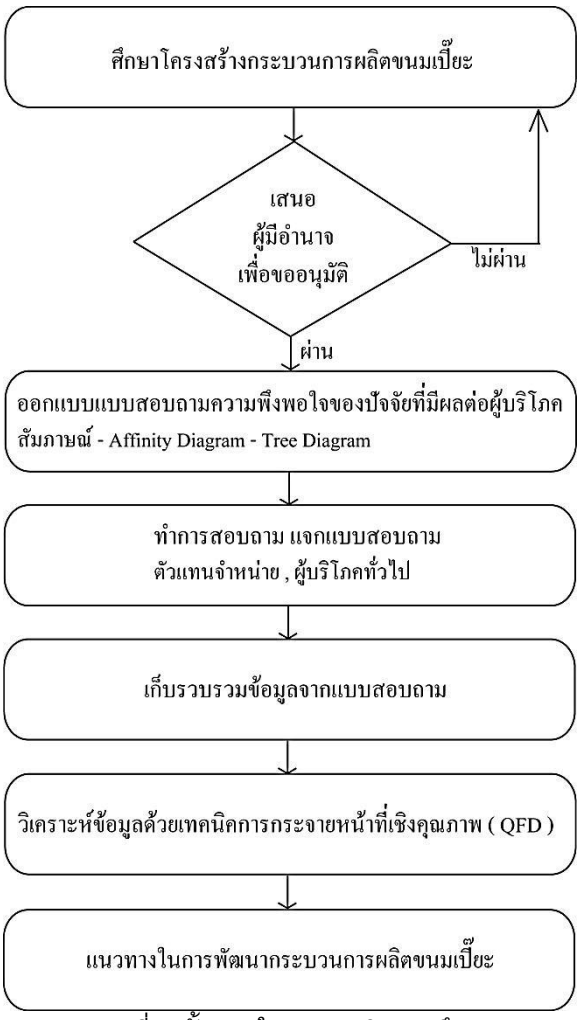
2.2 การออกแบบระบบ [2] เป็นวิธีการสำหรับการแก้ปัญหาหรือออกแบบอย่างมีขั้นตอน และมีประสิทธิภาพของระบบโดยรวม เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นไปตามที่ได้ตั้งเอาไว้ โดยจะคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรต่างๆ ให้คุ้มค่าที่สุด ซึ่งในการวิเคราะห์ออกแบบระบบจะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนของการออกแบบระบบ

3. วิธีการดำเนินการศึกษา

ในการดำเนินการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้มีขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา

3.1 สำรวจความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะ ของโรงงานกรณีศึกษา

1. ศึกษาโครงสร้างกระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะ โดยศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษา

2. เสนอผู้มีอำนาจเพื่อขออนุมัติ ภายหลังจากศึกษากระบวนการผลิตและปัญหาเบื้องต้นแล้ว จึงทำปรึกษากับผู้มีอำนาจเพื่ออนุมัติการดำเนินการศึกษาวิจัย

3. ออกแบบแบบสอบถามความพึงพอใจของปัจจัยที่มีผลต่อผู้บริโภค เริ่มจากการสัมภาษณ์โดยตรงจากกลุ่มผู้ที่เคยพบเห็นหรือผู้ที่เคยบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะ และไม่เคยพบเห็นหรือไม่เคยบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษา ในเขตจังหวัดจันทบุรีและระยอง โดยสอบถามถึงความคิดเห็นและความต้องการเกี่ยวกับ (คุณลักษณะทางกายภาพ) จากนั้นจึงนำมาจัดหมวดของความต้องการ และรวมความต้องการที่คล้ายคลึงกันเข้าด้วยกัน ด้วยแผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) และแผนผังต้นไม้ (Tree Diagram) [3] ซึ่งจะสามารถแบ่งความต้องการได้เป็น 3 กลุ่มความต้องการ คือ อายุและการเก็บรักษา ลักษณะความสวยงาม และราคา

4. ทำการสอบถาม แจกแบบสอบถาม เพื่อสำรวจความต้องการของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้จากการสำรวจกลุ่มตัวแทนจำหน่ายและผู้บริโภคทั่วไป ที่เคยพบเห็นหรือเคยบริโภคผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษาในเขตจังหวัดจันทบุรีและระยอง และนำมาคำนวณหาค่าทางสถิติของจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรในการวิจัยครั้งนี้ ด้วยวิธีการของ Taro Yamane [4] โดยให้มีระดับความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ±5 ซึ่งพบว่าจำนวนแบบสอบถามที่เหมาะสมคือ มากกว่าหรือเท่ากับ 40 แบบสอบถาม

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากสอบถาม โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม และวิเคราะห์ข้อมูลความต้องการของผู้บริโภคที่ได้ โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ Geometric Mean ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณ จะถูกนำไปใช้เป็นค่าคะแนนความสำคัญ (Importance Rating: IMP) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพแบบ (QFD) 4 เฟส ในส่วนของการวิเคราะห์เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) ต่อไป

3.3 วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) แบบ 4 เฟส ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการนำผลการคำนวณค่าคะแนนความสำคัญที่ได้จากแบบสอบถาม มาวิเคราะห์ผ่านช่วงต่างๆ ของเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) แบบ 4 เฟส ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะเป็นความต้องการในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะ เพื่อนำไปวิเคราะห์และจัดสรรความต้องการ ค้นหากระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษา ที่จะปรับปรุงพัฒนาต่อไป

3.4 วิเคราะห์และออกแบบระบบ ภายหลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพแบบ 4 เฟส จะได้ความต้องการในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิต เพื่อนำมาออกแบบระบบ ซึ่งจะประกอบด้วย 6 ขั้นตอนคือ ความต้องการของระบบ

วิเคราะห์และจัดสรรความต้องการ ออกแบบและพัฒนาระบบย่อย นำระบบย่อยมาเชื่อมต่อกัน ติดตั้งระบบและทดสอบ และประเมินผลระบบ

4. การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการศึกษา

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลผู้ศึกษาวิจัยได้นำขั้นตอนการวิเคราะห์การออกแบบระบบ มาประยุกต์ใช้งานให้มีความเหมาะสมมากขึ้น ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.1 ความต้องการของระบบ (System requirements) รวบรวมความต้องการในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะ โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ความคิดเห็นของผู้บริโภคเพื่อจัดทำแบบประเมิน หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบประเมินและวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) แบบ 4 เฟส ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพในส่วนของเมตริกซ์การวางแผนควบคุมกระบวนการ (Process Planning) คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการหรือความต้องการในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะ ซึ่งประกอบด้วยความต้องการต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงความต้องการในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษา

พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter)		ค่าน้ำหนักความสำคัญ (IMP)
1	ความสามารถเครื่องมือเครื่องจักร	14.10
2	ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์	13.10
3	ความเหมาะสมของอายุผลิตภัณฑ์	12.90
4	ทักษะและความสามารถ	10.30
5	ความเหมาะสมของวิธีการผลิต	9.79
6	ทรัพยากรและเวลาที่ใช้ในการผลิต	9.04
7	ความเที่ยงตรงของการผลิตตามแบบ	8.64
8	การควบคุมต้นทุนในการผลิต	7.30
9	การควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ	5.76
10	ความเหมาะสมของรูปทรง	5.37
11	ความเหมาะสมของวัตถุดิบ	3.76

4.2 วิเคราะห์และจัดสรรความต้องการ (Function analysis and requirements allocation) นำความต้องการในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการมากำหนดความสัมพันธ์กับขั้นตอนในกระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะ เพื่อวิเคราะห์หากระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษาที่จะทำการปรับปรุงพัฒนา ซึ่งพบว่ากระบวนการบรรจุ สามารถตอบสนองต่อความต้องการในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการได้มากที่สุด

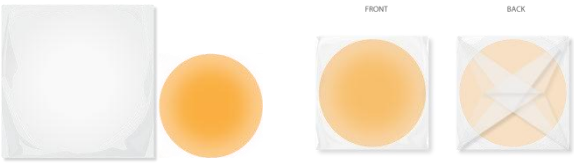
4.3 ออกแบบและพัฒนาระบบย่อย (Design and sub-system development) ซึ่งเกิดจากการระดมความคิดของผู้ประกอบการและพนักงาน เพื่อค้นหาและกำหนดความต้องการย่อยของกระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษา ในส่วนของกระบวนการบรรจุ ซึ่งผลจากการระดมความคิดของผู้ประกอบการและพนักงานทำให้สามารถแบ่งความต้องการได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ความต้องการในการปรับปรุงการผลิต และความต้องการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์

4.3.1 ความต้องการในการปรับปรุงการผลิต จากการระดมความคิดของผู้ประกอบการและพนักงาน พบว่าความต้องการด้านความสามารถของเครื่องมือเครื่องจักร เป็นความต้องการหลักที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการ และช่วยให้เกิดการปรับปรุงพัฒนาการผลิตได้มากที่สุด โดยกำหนดทางเลือกได้ 3 แนวทาง คือ การเลือกใช้อุปกรณ์ความร้อน (วิธีการปัจจุบัน) เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง และเครื่องบรรจุอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการบรรจุ

4.3.2 ความต้องการการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ จากการระดมความคิดของผู้ประกอบการและพนักงาน พบว่าความต้องการด้านความเหมาะสมของอายุผลิตภัณฑ์ เป็นความต้องการหลักที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการ และช่วยให้เกิดการปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุด ซึ่งสามารถแบ่งความต้องการได้เป็น 2 ความต้องการ คือ ความต้องการในด้านความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์ และความต้องการในด้านความเหมาะสมของวัตถุดิบ

1. ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์ โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษา จะมีอายุการเก็บรักษาอยู่ที่ (3-4 สัปดาห์) ทั้งนี้มีอิทธิพลมาจากการเลือกใช้การบรรจุภัณฑ์และลักษณะการปิดผนึกที่ไม่

เหมาะสม โดยจะดำเนินการศึกษาโดยใช้ชนิดฟิล์มบรรจุภัณฑ์และลักษณะการปิดผนึก 2 ลักษณะประกอบด้วย แผ่นฟิล์มพลาสติกใสทนความร้อน PP (วิธีการปัจจุบัน) ซึ่งปิดผนึกด้วยการแต้มจุดความร้อน และซองพลาสติกใสฟิล์มประกบหรือซองลามิเนต OPP20+CPP30 ซึ่งปิดผนึกด้วยการรีดปิดปากซอง ดังแสดงในภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 แผ่นฟิล์มพลาสติกใสทนความร้อน PP ซึ่งปิดผนึกด้วยการแต้มจุดความร้อน ใช้กับอุปกรณ์ความร้อน (วิธีการปัจจุบัน)

ภาพที่ 5 ซองพลาสติกใสฟิล์มประกบหรือซองลามิเนต OPP20+CPP30 ซึ่งปิดผนึกด้วยการรีดปิดปากซอง ใช้กับเครื่องรีดปิดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง และเครื่องบรรจุอัตโนมัติ

จากการใช้ชนิดฟิล์มบรรจุภัณฑ์และลักษณะการปิดผนึกที่แตกต่างกัน จะทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะมีอายุการเก็บรักษาต่างกัน ซึ่งอ้างอิงจากผลงานการวิจัยของสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เรื่องการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมอบ โดยใช้สารลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้และบรรจุภัณฑ์ (ปิยะนุช คันโธ, 2545) [5] ดังแสดงในตารางที่ 2

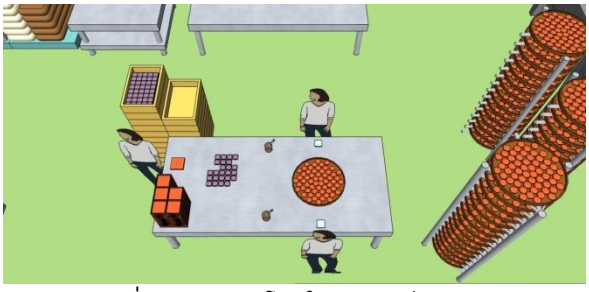
ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยช่วงอายุการเก็บรักษาขนมอบ (ขนมเปี๊ยะ) ในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งมีชนิดฟิล์มบรรจุภัณฑ์และลักษณะการปิดผนึกที่ต่างกัน [5]

ชนิดฟิล์มและลักษณะการปิดผนึก	PP	OPP20 CPP30
แต้มจุดความร้อน	3-4 สัปดาห์	3-5 สัปดาห์
รีดปิดปากซองปิดผนึก	-	6-7 สัปดาห์

2. ความเหมาะสมของวัตถุดิบ การควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบมีบทบาทในการทำให้วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต มีความเหมาะสมและมีความเป็นมาตรฐานมากขึ้น โดยการสร้างแผนควบคุมกระบวนการ เพื่อควบคุมคุณภาพและกำหนดเป็นมาตรฐานในการทำงาน

4.4 นำระบบย่อยมาเชื่อมต่อกัน (System integration) จากการออกแบบและพัฒนาระบบย่อย โดยการกำหนดความต้องการในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษา ในส่วนของกระบวนการบรรจุแล้ว จึงนำระบบย่อยมาเชื่อมต่อกันและออกแบบวิธีการบรรจุ โดยคำนึงถึงความสามารถและทรัพยากรการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาเป็นหลัก ซึ่งการนำระบบย่อยมาเชื่อมต่อกันสามารถออกแบบวิธีการบรรจุได้ 3 แบบ ดังนี้

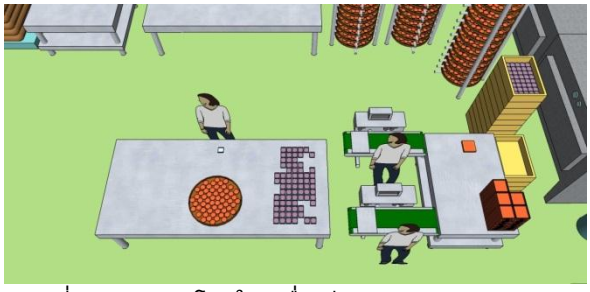
4.4.1. การบรรจุโดยใช้อุปกรณ์ความร้อน (วิธีการปัจจุบัน) วิธีการบรรจุโดยใช้อุปกรณ์ความร้อนเป็นวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน โดยการบรรจุจะใช้แผ่นฟิล์มพลาสติกใสทนความร้อน PP เป็นบรรจุภัณฑ์ และปิดผนึกด้วยการแต้มจุดความร้อนด้วยอุปกรณ์ความร้อน ซึ่งจะใช้ผู้ปฏิบัติงานทำหน้าที่ห่อชิ้นขนมและแต้มจุดความร้อนจำนวน 2 คน และผู้ทำหน้าที่บรรจุลงในกล่องใส่ลงในลังจำนวน 1 คน ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การบรรจุโดยใช้อุปกรณ์ความร้อน

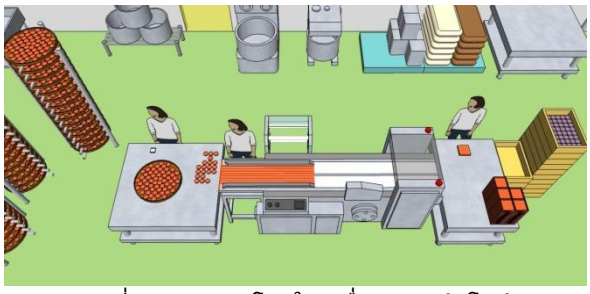
4.4.2 การบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง วิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง โดยการบรรจุจะใช้ซองพลาสติกฟิล์มประกบหรือซองลามิเนต OPP20+CPP30 เป็นบรรจุภัณฑ์ และปิดผนึกด้วยการรีดปากซองปิดผนึกด้วยเครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง ซึ่งจะใช้ผู้ปฏิบัติงานทำหน้าที่หยิบชิ้นขนมใส่ซอง และบรรจุลงใน

กล่องและใส่ลงในลังจำนวน 1 คน และผู้ทำหน้าที่รีดปากซองปิดผนึกจำนวน 2 คน ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง

4.4.3 การบรรจุโดยใช้เครื่องบรรจุอัตโนมัติ วิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องบรรจุอัตโนมัติ โดยการบรรจุจะใช้ม้วนพลาสติกใสฟิล์มประกบหรือซองลามิเนต OPP20+CPP30 เป็นบรรจุภัณฑ์ และปิดผนึกด้วยการรีดปากซองปิดผนึกด้วยเครื่องบรรจุอัตโนมัติ ซึ่งจะใช้ผู้ปฏิบัติงานทำหน้าที่ตรวจสอบชิ้นขนมจำนวน 1 คน ผู้ปฏิบัติงานทำหน้าที่หยิบชิ้นขนมใส่ลงในเครื่องบรรจุอัตโนมัติจำนวน 1 คน และผู้ทำหน้าที่บรรจุลงในกล่องและใส่ลงในลังจำนวน 1 คน ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การบรรจุโดยใช้เครื่องบรรจุอัตโนมัติ

4.5 ติดตั้งระบบและทดสอบ (System installation and Test) ติดตั้งระบบโดยการนำวิธีการบรรจุทั้ง 3 แบบ มาทำการติดตั้งในพื้นที่ปฏิบัติงานของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งจะติดตั้งในพื้นที่ของโรงงานตามความเหมาะสม ดังแสดงในภาพที่ 9

ภาพที่ 9 พื้นที่ปฏิบัติงานของโรงงานกรณีศึกษา

โดยการทดสอบการทดสอบวิธีการบรรจุทั้ง 3 แบบ จะใช้จำนวนความต้องการในการผลิตขนมเปี๊ยะขนาดต่างๆ ของโรงงานกรณีศึกษาต่อสัปดาห์ในการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความต้องการในการผลิตขนมเปี๊ยะขนาดต่างๆ ของโรงงานกรณีศึกษาต่อสัปดาห์

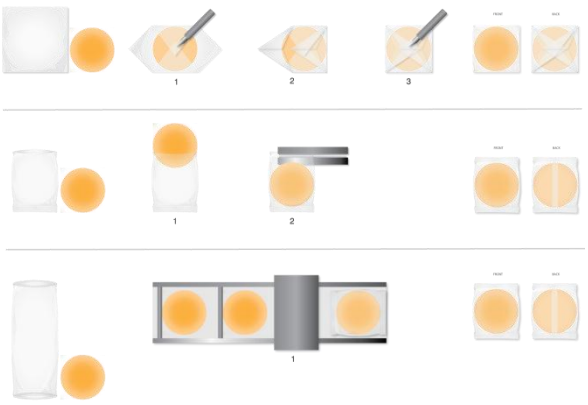
ขนาดชิ้นขนม	ความต้องการ	% ความต้องการ
ลูกเล็ก	1,600	27.92%
ลูกใหญ่	3,500	61.08%
กล่องเล็ก	350	6.11%
กล่องกลาง	160	2.79%
กล่องใหญ่	120	2.09%
รวม	**5,730**	**100%**

จากจำนวนความต้องการในการผลิตขนมเปี๊ยะขนาดต่างๆ ของโรงงานกรณีศึกษาต่อสัปดาห์ จึงทดสอบระบบโดยการจับเวลาของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษาเพื่อหาเวลามาตรฐาน [6] และวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในวิธีการบรรจุขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษาทั้ง 3 แบบ ซึ่งผลจากการติดตั้งระบบและทดสอบวิธีการบรรจุทั้ง 3 แบบ โดยจะแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงเวลาที่ใช้ในกระบวนการบรรจุขนมเปี๊ยะทั้ง 3 แบบ ต่อจำนวนความต้องการในการผลิตขนมเปี๊ยะขนาดต่างๆ ของโรงงานกรณีศึกษาต่อสัปดาห์

วิธีการบรรจุ	อุปกรณ์ความร้อน	เครื่องรีดปากซอง	เครื่องบรรจุอัตโนมัติ
จำนวนชิ้นขนม (ชิ้น)	5,730	5,730	5,730
เวลาที่ใช้ (ชม.)	11.25	10.17	9.17
จำนวนชิ้น/ชั่วโมง	509	563	625

การทดสอบวิธีการบรรจุขนมเปี๊ยะทั้ง 3 แบบ พบว่ามีการใช้เวลาในการบรรจุที่แตกต่างกันทั้งๆ ที่มีขั้นตอนในการปฏิบัติงานที่เหมือนกัน แต่เมื่อสังเกตที่ระดับงานย่อยแล้วจะเห็นว่า วิธีการบรรจุขนมเปี๊ยะของทั้ง 3 แบบมีขั้นตอนการบรรจุชิ้นขนมไม่เหมือนกัน ดังแสดงในภาพที่ 10 ซึ่งวิธีการบรรจุโดยใช้อุปกรณ์ความร้อนต้องใช้ทักษะและความสามารถของพนักงานมากกว่า จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้าในวิธีการบรรจุ และขาดความเที่ยงตรงของการผลิตตามแบบอยู่บ่อยครั้ง

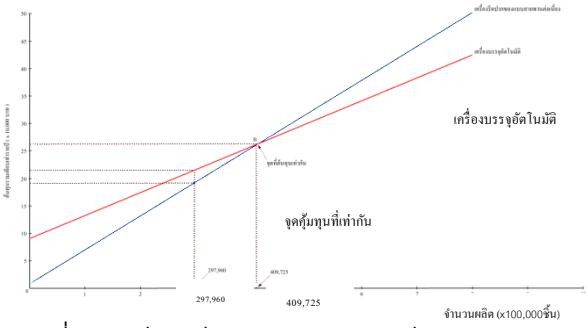


ภาพที่ 10 แสดงระดับงานย่อย ของขั้นตอนวิธีการบรรจุชิ้นขนมของทั้ง 3 แบบ คือ การบรรจุโดยใช้อุปกรณ์ความร้อน การบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง และการบรรจุโดยใช้เครื่องบรรจุอัตโนมัติ ตามลำดับ

จากการติดตั้งระบบและทดสอบ ทำให้ทราบว่าวิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง และการบรรจุโดยใช้เครื่องบรรจุอัตโนมัติ สามารถตอบสนองต่อความต้องการการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษา ในกระบวนการบรรจุ ได้มากกว่าการบรรจุโดยใช้อุปกรณ์ความร้อน (วิธีการปัจจุบัน)

4.6. ประเมินผลระบบ (System Evaluation)

วิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง และวิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องบรรจุอัตโนมัติ มีความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการได้เท่ากัน แต่ผู้ประกอบการไม่สามารถที่จะลงทุนในวิธีการบรรจุทั้ง 2 แบบได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องค่าใช้จ่ายและทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต จึงต้องเลือกวิธีการบรรจุเพียง 1 วิธีเท่านั้น โดยการเปรียบเทียบโครงการด้วยจุดคุ้มทุน [7] เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมของจำนวนความต้องการในการผลิตขนมเปี๊ยะขนาดต่างๆ ของโรงงานกรณีศึกษาต่อปี กับการปรับปรุงพัฒนาวิธีการบรรจุขนมเปี๊ยะทั้ง 2 สามารถสรุปการเปรียบเทียบโครงการด้วยจุดคุ้มทุนได้ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบต้นทุนระหว่างวิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง และวิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องบรรจุอัตโนมัติ

จากกราฟจำนวนการผลิตต่อปีที่จะทำให้วิธีการบรรจุทั้ง 2 แบบมีจุดคุ้มทุนที่เท่ากันคือ 409,725 ชิ้น ดังนั้นเมื่อความต้องการในการผลิตขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษา มีความต้องการอยู่ที่ 297,960 ชิ้นต่อปี จึงควรเลือกใช้วิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง แทนที่การบรรจุโดยใช้อุปกรณ์ความร้อนในปัจจุบัน

5. สรุปผล

การดำเนินการศึกษาวิจัยเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ แบบ 4 เฟส เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะ ทำให้เกิดการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษา ในส่วนของกระบวนการบรรจุ 9 ส่วน ดังนี้

1. ความสามารถเครื่องมือเครื่องจักรในปัจจุบัน

การปรับปรุงพัฒนาวิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง แทนที่การบรรจุโดยใช้อุปกรณ์ความร้อน (วิธีการปัจจุบัน) จะช่วยเพิ่มในเรื่องความสามารถของเครื่องมือเครื่องจักรในการผลิตได้

2. ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์

การเลือกใช้ซองพลาสติกใสฟิล์มประกบหรือซองลามิเนตชนิด OPP20+CPP30 ซึ่งปิดผนึกด้วยการรีดปิดปากซอง แทนที่แผ่นฟิล์มพลาสติกใสทนความร้อน PP (วิธีการปัจจุบัน) ซึ่งปิดผนึกด้วยการแต้มจุดความร้อน จะช่วยเพิ่มความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์ เพราะวิธีการบรรจุโดยใช้ซองพลาสติกฟิล์มประกบหรือซองลามิเนต OPP20+CPP30 ซึ่งปิดผนึกด้วยการรีดปิดปากซอง เป็นมาตรฐานของฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์ขนมอบที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบัน

3. ความเหมาะสมของอายุผลิตภัณฑ์

การเลือกใช้ซองพลาสติกใสฟิล์มประกบหรือซองลามิเนตชนิด OPP20+CPP30 ซึ่งปิดผนึกด้วยการรีดปิดปากซอง แทนที่แผ่นฟิล์มพลาสติกใสทนความร้อน PP (วิธีการปัจจุบัน) ซึ่งปิดผนึกด้วยการแต้มจุดความร้อน สามารถช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะได้จาก 3-4 สัปดาห์ เป็น 6-7 สัปดาห์

4. ทักษะความสามารถของผู้ปฏิบัติงาน

การปรับปรุงพัฒนาวิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง แทนที่การบรรจุโดยใช้อุปกรณ์ความร้อน (วิธีการปัจจุบัน) สามารถช่วยลดขั้นตอนในการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานที่ต้องใช้ทักษะและความสามารถของผู้ปฏิบัติงานลดได้

5. ความเหมาะสมของวิธีการผลิต

การปรับปรุงพัฒนาวิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง แทนที่การบรรจุโดยใช้อุปกรณ์ความร้อน (วิธีการปัจจุบัน) สามารถช่วยลดขั้นตอนในการปฏิบัติงาน ปรับเปลี่ยนความเร็วในการบรรจุ และจำนวนผู้ปฏิบัติงานตามความเหมาะสมได้ ซึ่งทำให้เกิดความเหมาะสมของวิธีการผลิตมากขึ้น

6. ทรัพยากรและเวลาที่ใช้ในการผลิต

การปรับปรุงพัฒนาวิธีการบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง แทนที่การบรรจุโดยใช้อุปกรณ์ความร้อน (วิธีการปัจจุบัน) พบว่าสามารถลดเวลาในการปฏิบัติงานกระบวนการบรรจุขนมเปี๊ยะของโรงงานกรณีศึกษาต่อสัปดาห์ได้จาก 11.25 ชั่วโมง เป็น 10.17 ชั่วโมง คิดเป็นเวลาที่ใช้ลดลงร้อยละ 9.6

7. ความเที่ยงตรงของการผลิตตามแบบ

วิธีการบรรจุโดยเลือกใช้ซองพลาสติกใสฟิล์มประกบหรือซองลามิเนต OPP20+CPP30 ซึ่งปิดผนึกด้วยการรีดปิดปากซอง แทนที่วิธีการบรรจุโดยใช้แผ่นฟิล์มพลาสติกใสทนความร้อน PP (วิธีการปัจจุบัน) สามารถทำให้เกิดความเที่ยงตรงของการผลิตตามแบบ เพราะขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ต้องใช้ทักษะและความสามารถของผู้ปฏิบัติงานลดลง และซองบรรจุภัณฑ์มีขนาดที่เป็นมาตรฐานและคงที่ จึงเป็นตัวบังคับให้ผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะมีขนาดเท่ากัน

8. การควบคุมต้นทุนในการผลิต

การเลือกใช้ซองพลาสติกใสฟิล์มประกบหรือซองลามิเนตชนิด OPP20+CPP30 ซึ่งปิดผนึกด้วยการรีดปิดปากซอง แทนที่แผ่นฟิล์มพลาสติกใสทนความร้อน PP (วิธีการปัจจุบัน) ซึ่งปิดผนึกด้วยการแต้มจุดความร้อน สามารถช่วยควบคุมต้นทุนในการผลิตในส่วนของค่าใช้จ่ายค่าแรงงาน และค่าใช้จ่ายจากการเกิดของเสียจากการผลิตไม่ตรงตามแบบได้ เนื่องจากวิธีการบรรจุโดยใช้อุปกรณ์ความร้อนต้องใช้ทักษะและความสามารถของพนักงานมากกว่าการบรรจุโดยใช้เครื่องรีดปากซองแบบสายพานต่อเนื่อง จึงทำให้เกิดความล่าช้า และเกิดของเสียจากการขาดความความเที่ยงตรงของการผลิตตามแบบอยู่บ่อยครั้ง

9. ความเหมาะสมของรูปทรงผลิตภัณฑ์

วิธีการบรรจุโดยเลือกใช้ซองพลาสติกใสฟิล์มประกบหรือซองลามิเนต OPP20+CPP30 ซึ่งปิดผนึกด้วยการรีดปิดปากซอง มาแทนที่วิธีการบรรจุโดยใช้แผ่นฟิล์มพลาสติกใสทนความร้อน PP (วิธีการปัจจุบัน) สามารถทำให้เกิดความเหมาะสมของรูปทรงผลิตภัณฑ์ได้ เพราะซองบรรจุภัณฑ์มีขนาดที่เป็นมาตรฐานและคงที่ จึงเป็นตัวบังคับให้ผลิตภัณฑ์ขนมเปี๊ยะมีขนาดเท่ากัน

เอกสารอ้างอิง

[1] Cohen Lou. (1995). How to make QFD work for you. In **Quality Function Deployment** (page 256-258). Addison-Wesley Publishing Company

[2] **วิศวกรรมระบบ**. (2555). เข้าถึงได้จาก : http://junkkers.blogspot.com/2012/02/system-engineering.html (วันที่ : 9 ธันวาคม 2556).

[3] อรดี พฤติศรัณยนนท์. (2543). **การประยุกต์เทคนิคการแปลงหน้าที่งานคุณภาพเพื่อออกแบบโครงสร้างข้อมูลของระบบทะเบียนนิสิตของ**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. [วิทยานิพนธ์ ปริญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ]. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[4] Yamane. T. (1973). An Introductory Analysis. In Statistics. Tokyo : Harper International Edition

[5] ยะนุช คันโธ. (2545). **การยืดอายุการเก็บรักษาขนมเปี๊ยะโดยการใช้สารลดค่าวอเตอร์แอคติวิตีและบรรจุภัณฑ์**. ปทุมธานี : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

[6] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. (2552). **การศึกษางานในอุตสาหกรรม (Industrial Work Study)**. กรุงเทพมหานคร : ท้อปพับลิชชิ่ง

[7] ไพบูลย์ แย้มเผื่อน. (2548). **เศรษฐศาสตร์ วิศวกรรม**. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น

กลุ่มที่ 9

Operations Research

การพยากรณ์ปริมาณวัตถุดิบที่เป็นเศษเหลือใช้จากการอุตสาหกรรมเกษตรโดยวิธีแยกองค์ประกอบ

Forecasting the Material from Agriculture Waste using Decomposition Technique

เจริญ สุนทราวาณิชย์[1] อภินันทนา อุดมศักดิกุล[2] วิบูลย์ สำราญรัมย์[3]*
[1, 2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
[1, 3]ศูนย์พัฒนาผลิตภาพอุตสาหกรรม สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร
126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

Charoen Soontravanich[1], Apinanthana Udomsakdigool[2], Wiboon Sumranrum[3*]
[1, 2]Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok
[3]Center for Industrial Productivity Development, Insitute for Scientific and Technological Research and Service, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140
E-mail: charoen.soon@kmutt.ac.th[1], apinanthana.udo@kmutt.ac.th[2], wiboon.sum@kmutt.ac.th[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอเทคนิคการพยากรณ์ปริมาณวัตถุดิบที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร ในเขตพื้นที่จังหวัด ก และ จังหวัดโดยรอบในรัศมี 90 กิโลเมตร เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนการจัดหาวัตถุดิบของโรงงานตัวอย่างในอนาคต คณะวิจัยได้ทำการพยากรณ์ปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบแยกองค์ประกอบ (Decomposition Technique) ทำการปรับค่าการพยากรณ์ล่วงหน้า 7 ปี เนื่องจากมีปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้เข้ามาเกี่ยวข้องกับปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งที่จะมีในอนาคต คณะวิจัยได้ทำการพยากรณ์โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์เชิงคุณภาพได้แก่ การคาดการณ์ในแง่บวก การคาดการณ์แบบกลางๆ และการคาดการณ์ในแง่ลบ ผลที่ได้จากการพยากรณ์ทำให้โรงงานตัวอย่างสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวในอนาคตได้

คำหลัก วัตถุดิบเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร, การพยากรณ์แบบแยกองค์ประกอบ

Abstract

This paper forecasts an amount of residual material from the agricultural industry in province A and the surrounding provinces within a radius of 90 kilometers. The forecast data is used for generate the procurement plan of the case study factory which located in province A. The residual material is forecasted over next seven years using the decomposition forecasting technique. There are uncontrollable factors involved in the future. Thus the forecasts are conducted in three viewpoints including positive, neutral and negative. The forecast results can be used to procure the residual materials in future.

Keywords: Agricultural waste, Decomposition technique

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเกษตรมีความสำคัญมากต่อประเทศไทยทั้งทางด้านการผลิตเพื่อบริโภคในประเทศและการส่งออกไปยังต่างประเทศ โรงงานตัวอย่างในงานวิจัยนี้ กำลังวางแผนสร้างโรงงานใหม่ ซึ่งใช้วัตถุดิบที่เป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปสินค้าการเกษตร ซึ่งปริมาณของเศษวัสดุเหลือทิ้งนี้จะแตกต่างกันตามแต่ฤดูกาล ข้อมูลการพยากรณ์ปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งจะช่วยให้โรงงานตัวอย่างตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการวางแผนการจัดหาวัตถุดิบในอนาคตและการวางแผนด้านการลงทุนเครื่องจักร คณะวิจัยได้ศึกษาข้อมูลของอุตสาหกรรมการเกษตร ของจังหวัดเป้าหมาย (จังหวัด ก) และจังหวัดโดยรอบในรัศมี 90 กิโลเมตร จากนั้นทำการพยากรณ์เศษวัสดุเหลือทิ้งในอนาคตข้างหน้า 7 ปี โดยวิธีแยกองค์ประกอบ โดยพยากรณ์ใน 3 มุมมองคือ การคาดการณ์ในแง่บวก (ผลตามค่าพยากรณ์) การคาดการณ์แบบกลาง (มีเศษวัสดุเหลือทิ้งประมาณ 70% ของการคาดการณ์) และการคาดการณ์ในแง่ลบ (มีเศษวัสดุเหลือทิ้งน้อยกว่า 30% ของคาดการณ์)

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การพยากรณ์แบบแยกองค์ประกอบ

วิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบแยกองค์ประกอบถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1920 [1] โดยนักเศรษฐศาสตร์มีองค์ประกอบสี่ส่วนด้วยกัน คือ แนวโน้ม ความผันแปรตามฤดูกาล ความผันแปรตามวัฏจักรและความผันแปรอันเนื่องมาจากความไม่ปกติ เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ละส่วนประกอบของอนุกรมเวลาแยกจากกัน แบ่งออกเป็นสองระยะ [2] คือ การพยากรณ์ระยะสั้น (น้อยกว่าหนึ่งปี) และระยะยาว (มากกว่าหนึ่งปี) ในงานวิจัยนี้เป็นการพยากรณ์ระยะยาว 7 ปีในอนาคตข้างหน้า

2.2 การตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอน

การดำเนินธุรกิจย่อมมีความเสี่ยงและความไม่แน่นอนเกิดขึ้น [3] ทำให้สิ่งที่เกิดขึ้นในอนาคตคลาดเคลื่อนไปจากสิ่งที่ได้ตัดสินใจไว้ อันเป็นเป็นผลมาจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ และความเพียงพอของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทำให้เกิดการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนโดยการประมาณค่าของพารามิเตอร์ 3 กรณี [4] คือ มองโลกในแง่ดี (Optimistic) มองแบบกลางๆ (Neutral) และมองโลกในแง่ร้าย (Pessimistic) ในงานวิจัยนี้พารามิเตอร์ที่ไม่แน่นอนคือปริมาณการเก็บเกี่ยวผลผลิต

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคการพยากรณ์ พบว่าศิริวัฒน์และคณะ [5] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้การวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบล่วงหน้าด้วยวิธีแบบพลวัตโดยเริ่มจากการวิเคราะห์ IDEF0 และพยากรณ์ด้วยวิธีแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาโดยใช้โปรแกรม Minitab จักรินทร์และประภาพรรณ [6] ได้นำเสนอการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าเพื่อควบคุมสินค้าคงคลังโดยใช้หลักพาเรโต แยกกลุ่มกลุ่มสินค้าจากนั้นพยากรณ์หาปริมาณความต้องการในอนาคตโดยเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์แบบต่างๆ ณภัทรและเจริญชัย [7] ได้นำเสนอการเลือกทำเลที่ตั้งโดยการพยากรณ์หาปริมาณความต้องการในอนาคตในอีก 5 ปีข้างหน้าด้วยวิธีปรับเรียบเอ๊กซ์โปเนนเชียลซ้ำสองครั้ง จากนั้นได้วิเคราะห์การเลือกทำเลที่ตั้งด้วยวิธีหาจุดศูนย์ถ่วง ณัทธรและเจษฎา [8] ได้นำเสนอการจัดหาวัตถุดิบอย่างมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยใช้ตัวแบบคณิตศาตร์ด้วยโปรแกรม LINDO

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าว พบว่ายังไม่มีการนำเสนอวิธีการพยากรณ์ที่พิจารณาพารามิเตอร์ที่ไม่แน่นอน ในงานวิจัยนี้ได้แก่ปริมาณการเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งความไม่แน่นอนนี้เป็นผลมาจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ในปัจจุบัน ได้แก่ ราคาผลผลิต หรือการค้นพบปลูกพืชทดแทน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการพยากรณ์แบบแยกตัวประกอบ (Decomposition) ที่พิจารณาปริมาณการตัดผลผลิตไม่แน่นอน เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับผู้บริหารในการตัดสินใจในงานวางแผนต่อไป

3. วิธีการดำเนินวิจัย

3.1 เก็บรวบรวมข้อมูล

เศษเหลือสินค้าเกษตรที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบของโรงงานตัวอย่างเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง (สินค้าเกษตร

A) หากนับเวลาตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ใช้เวลา 7 ปี และเมื่อมีอายุ 20 ปีขึ้นไปจนถึง 28 ปี จะไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้อีก ต้องตัดทิ้งเพื่อปลูกใหม่ทดแทน เมื่อตัดแล้วสามารถนำไปแปรรูปเป็นสินค้าชนิดอื่นได้ ซึ่งเศษเหลือใช้จากการแปรรูปสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตของโรงงานตัวอย่างได้ คณะวิจัยได้เก็บรวมรวมข้อมูลการปลูกสินค้าเกษตร A ในพื้นที่เป้าหมาย และ การนำสินค้าเกษตร A มาแปรรูปย้อนหลังจำนวน 5 ปี ซึ่งได้ผลตามตารางที่ 1 ปีพ.ศ. 2552 พื้นที่เป้าหมายมีพื้นที่ปลูกสินค้าเกษตร A ทั้งหมด 1,044,689 ไร่ หลังจากนั้น มีพื้นที่ปลูกสินค้าเกษตร A เพิ่มขึ้นทุกปี โดยปี พ.ศ. 2556 พื้นที่เป้าหมาย มีพื้นที่ปลูกสินค้าเกษตร A ทั้งหมด 1,711,266 ไร่ ในแต่ละปีมีการตัดสินค้าเกษตร A เพื่อปลูกใหม่ทดแทนมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2552 มีการตัดสินค้าเกษตร A เพื่อปลูกใหม่ทั้งหมดจำนวน 106.95 ไร่ ในปี พ.ศ. 2557 มีการตัดสินค้าเกษตร A พื่อปลูกใหม่ทดแทนทั้งหมดจำนวน 3,219.17 ไร่ และมีแนวโน้มที่จะตัดสินค้าเกษตร A มากขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี

ตารางที่ 1 จำนวนไร่ของสินค้าเกษตร A มีและการตัดสินค้าเกษตร A ย้อนหลัง 5 ปี

ปี พ.ศ.	จำนวนที่มี (ไร่)	จำนวนที่ตัด (ไร่)
2552	1,044,689	106
2553	1,198,777	200
2554	1,488,342	105
2555	1,608,521	495
2556	1,711,266	1,298
2557	1,785,312	3,129

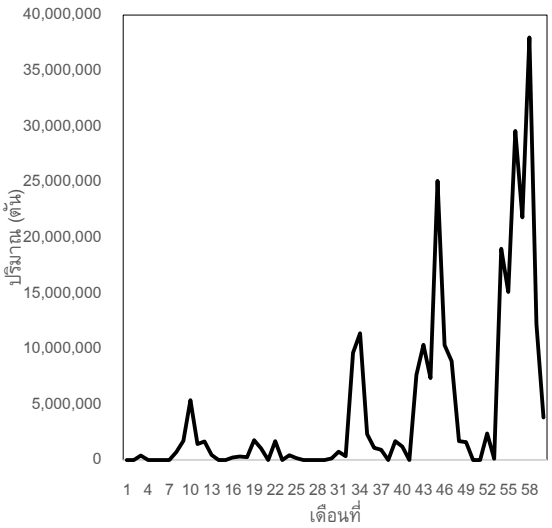
3.2 วิเคราะห์ข้อมูล

3.2.1 วิเคราะห์ปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้ง

คณะวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการตัดสินค้าเกษตร A เพื่อนำไปแปรรูป โดยแบ่งออกเป็นแต่ละเดือนย้อนหลังไป 5 ปี พบว่ามีการตัดสินค้าเกษตร A เพื่อนำไปแปรรูปเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี การแปรรูปสินค้าเกษตร A จะทำให้ได้เศษวัสดุเหลือทิ้ง ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบให้กับโรงงานตัวอย่าง เมื่อนำปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งในแต่ละเดือนตั้งปี พ.ศ. 2552 มาวิเคราะห์ด้วยกราฟเส้น พบว่าเศษวัสดุเหลือทิ้งจากสินค้าเกษตร A มีปริมาณไม่คงที่ ดังรูปที่ 1 แต่ละเดือนเศษวัสดุเหลือทิ้งมีปริมาณแตกต่างกัน บางเดือนมีปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งมาก แต่บางเดือนไม่มีเศษวัสดุเหลือทิ้งเลย แต่ภาพรวมทั้งหมดมีปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี และมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง

3.2.2 ตัวแบบของการพยากรณ์

จากกราฟในรูปที่ 1 ทำให้ทราบว่า ปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปสินค้าเกษตร A มีลักษณะเป็นอนุกรมเวลา มีลักษณะเป็นฤดูกาลในแต่ละช่วงของปีและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแต่ละปี ตัวแบบที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ ตัวแบบของเทคนิคแยกองค์ประกอบ ซึ่งสามารถแยกองค์ประกอบที่มีผลต่อค่าพยากรณ์ได้ 2 องค์ประกอบคือ แนวโน้ม และ ฤดูกาล องค์ประกอบ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบที่เป็นแนวโน้มโดยใช้ Minitab ได้ผลดังสมการแนวโน้มดังสมการที่ 1 โดยมี R^2= 0.87



รูปที่ 1 ปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งโดยแบ่งเป็นแต่ละเดือนย้อนหลัง 5 ปี

$$Y_i = -1.33 + 2.972X_i - 0.180\,X_i^2 + 0.00375\,X_i^3 \quad (1)$$

การวัดค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์สามารถวัดได้ด้วยวิธีดังต่อไปนี้

ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อ Mean Error (ME)

$$ME = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - F_i) \qquad (2)$$

วิธียกกำลังสองร้อยละของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย Mean Percentage Error (MPE)

$$MPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{(F_i - Y_i)}{Fi} x100 \qquad (3)$$

โดยที่ Fi คือค่าจริงของเดือนที่สนใจ
Yi คือค่าแนวโน้มของเดือนที่สนใจ
X คือเดือนที่สนใจ
i คือลำดับของเดือนที่สนใจ

ข้อจำกัดคือ $i_{n+1} > i_n$
$Y_{n+1} > Y_n$

จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบของฤดูกาล ได้ค่าดัชนีฤดูกาลของแต่ละเดือน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ดัชนีฤดูกาลของปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้ง

เดือน	ดัชนีฤดูกาล
ตุลาคม	0.26
พฤศจิกายน	0.00
ธันวาคม	0.14
มกราคม	0.17
กุมภาพันธ์	0.12
มีนาคม	0.68
เมษายน	1.34
พฤษภาคม	1.31
มิถุนายน	2.42
กรกฎาคม	3.81
สิงหาคม	1.01
กันยายน	0.74

เดือนตุลาคม พฤศจิกายน และ ธันวาคมมีดัชนีฤดูกาลคือ 0.26, 0.00 และ 0.14 เพราะว่าช่วงนี้มีการตัดสินค้าเกษตร A น้อยมาก โดยเดือนพฤศจิกายนไม่มีการตัดสินค้าเกษตร A เลยทำให้มีการแปรรูปสินค้าเกษตร A น้อยและได้เศษวัสดุเหลือทิ้งน้อยไปด้วย หากนำค่าแนวโน้มที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ 1 มาคูณกับค่าดัชนีฤดูกาลในช่วงนี้ จะทำให้ค่าที่คำนวณได้ มีค่าน้อยลงด้วย

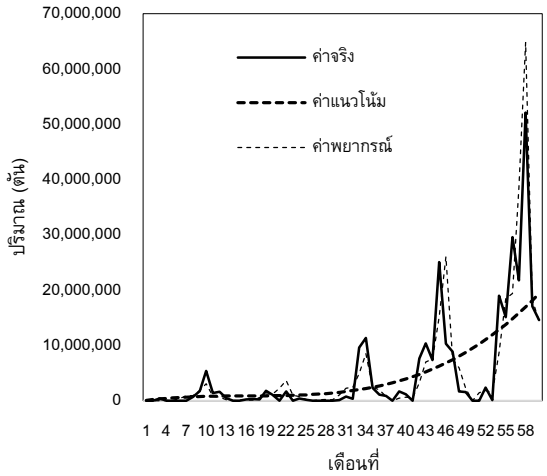
เดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และมีนาคม มีดัชนีฤดูกาลในการพยากรณ์คือ 0.17, 0.12 และ 0.68 เพราะว่าช่วงเวลานี้เป็นช่วงที่มีการตัดสินค้าเกษตร A น้อย แต่เดือนมีนาคมเป็นต้นไป มีค่าดัชนีเพิ่มขึ้นเพราะช่วงนี้เริ่มมีการตัดสินค้าเกษตร A มากขึ้น

เดือนเมษายน พฤษภาคม และมิถุนายน มีดัชนีฤดูกาลในการพยากรณ์คือ 1.34, 1.31 และ 2.42 ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีฤดูกาลเริ่มมีค่ามากขึ้นต่อเนื่องมาตั้งแต่เดือนมีนาคมที่ผ่านมา เนื่องจากเริ่มเข้าฤดูร้อนซึ่งเป็นฤดูที่นิยมตัดสินค้าเกษตร A

เดือนกรกฎาคม สิงหาคม และ กันยายน มีดัชนีฤดูกาลในการพยากรณ์คือ 3.81, 1.01 และ 0.74 ตามลำดับ เดือนกรกฎาคม เป็นเดือนที่มีการตัดสินค้าเกษตร A มากที่สุดของปี คือ 3.81 เท่าของค่าที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ 1 แต่หลังเดือนกรกฎาคมเป็นต้นไป ปริมาณการตัดสินค้าเกษตร A จะลดลง อันเนื่องมาจากเริ่มเข้าสู่ฤดูฝน ซึ่งไม่เป็นที่นิยมในการตัดสินค้าเกษตร A เพราะโดยทั่วไปแล้ว ชาวสวนจะทำการตัดสินค้าเกษตร A ในฤดูร้อน และปลูกใหม่ทดแทนในฤดูฝน

4. ผลการพยากรณ์

ข้อมูลถูกแยกวิเคราะห์ออกเป็น 2 องค์ประกอบเมื่อทำการพยากรณ์จะนำองค์ประกอบทั้งสองมารวมกัน กล่าวคือ แทนค่าจำนวนเดือนที่ต้องการพยากรณ์ลงในสมการที่ 1 จะได้ค่าแนวโน้ม จากนั้นนำค่าแนวโน้มมาคูณกับค่าดัชนีฤดูกาลในตารางที่ 2 จะได้ค่าพยากรณ์ เมื่อนำค่าพยากรณ์มาเปรียบเทียบกับค่าจริง ได้ผลดังกราฟในรูปที่ 2 โดยผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนโดยใช้สมการที่ 2 และสมการที่ 3 ได้ค่าความคลาดเคลื่อน -376,253 และ -44.14 ตามลำดับ



รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง ค่าพยากรณ์และเส้นแนวโน้ม

โดยทั่วไปแล้วการลงทุนเพื่อก่อสร้างโรงงานอุตสาหกรรม โดยทั่วไปจะยอมให้มีระยะเวลาในการคืนทุนไม่เกิน 5 ปี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพยากรณ์เผื่อไป 7 ปีข้างหน้า หรือ พยากรณ์ถึงเดือนที่ 144 แต่เนื่องด้วยธรรมชาติของการพยากรณ์ มีโอกาสในการเกิดความคาดเคลื่อนได้เพราะในอนาคตอาจมีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นในปัจจุบัน เช่น ราคาผลผลิตตกต่ำทำให้มีการตัดสินค้าเกษตร A มาก ในกรณีที่ราคาของผลผลิตที่ได้จากสินค้าเกษตร A มีราคาสูงขึ้น ชาวสวนยืดระยะเวลาที่ต้องตัดสินค้าเกษตร A ออกไป ทำให้มีปริมาณเศษวัสดุเหลือน้อยลงไปด้วย แต่ไม่นานหลังจากนั้นจะมีการตัดสินค้าเกษตร A จำนวนมาก เพราะเริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตไม่ได้และผลผลิตมีปริมาณน้อยลง

ในอนาคตอาจมีการปลูกพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นแทนสินค้าเกษตร A ทำให้มีการตัดสินค้าเกษตร A เพื่อนำไปแปรรูปมากขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งมากขึ้นไปด้วย แต่จะเป็นเพียงระยะเวลาอันสั้น หลังจากนั้นปริมาณการตัดสินค้าเกษตร A จะลดลง เพราะได้ถูกตัดไปเป็นจำนวนมากแล้ว

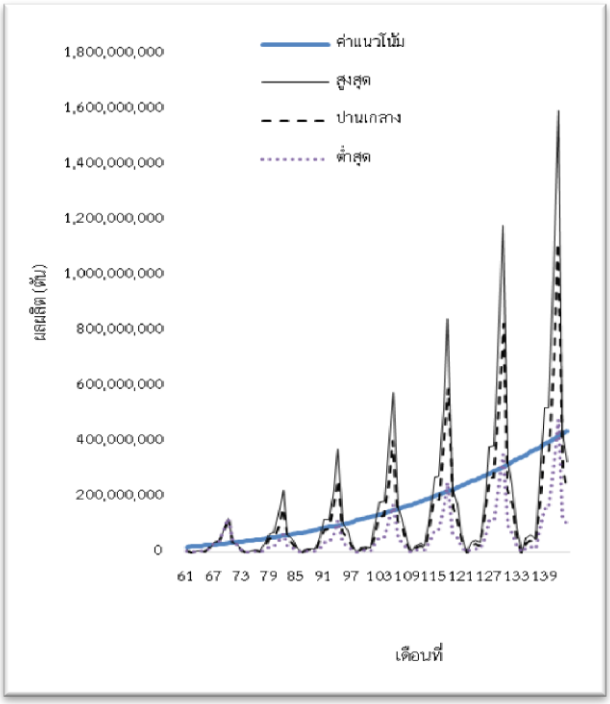
ด้วยปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ในอนาคตดังที่กล่าวมาขั้นต้น ส่งผลให้ปริมาณการตัดของผลผลิตไม่แน่นอนไปด้วย คณะวิจัยจึงทำการปรับปรุงผลการพยากรณ์โดยใช้การพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative Forecasting) พยากรณ์ล่วงหน้า 7 ปี โดยจำแนกออกเป็น 3 แบบด้วยกันได้ดังนี้

1. กรณีที่มีการตัดสินค้าเกษตร A เพื่อนำไปแปรรูปมากขึ้นอันเนื่องจากมาจากปัจจัยอันใดก็ตามจะทำให้ได้ผลการพยากรณ์อยู่ในระดับสูงสุด คิดเป็น 100% ของค่าพยากรณ์ (การคาดการณ์ในแง่บวก)

2. กรณีไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางปัจจัย หรือปัจจัยทุกอย่างยังคงที่ จะทำให้ได้ผลการพยากรณ์อยู่ในระดับปานกลาง คิดเผื่อไว้ที่ 70% ของค่าพยากรณ์ (การคาดการณ์แบบกลางๆ)

3. กรณีที่มีการตัดสินค้าเกษตร R น้อยลงอันเนื่องมาจากปัจจัยอันใดก็ตามจะทำให้ได้ผลการณ์พยากรณ์อยู่ในระดับต่ำสุด คิดเผื่อไว้ที่ 30% ของค่าพยากรณ์ (การคาดการณ์ในแง่ลบ)

ผลการพยากรณ์ที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 3 (ค่าพยากรณ์รายเดือน) และ ตารางที่ 3 (ผลรวมค่าพยากรณ์รายปี)



รูปที่ 3 การพยากรณ์ปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งในอีก 7 ปีข้างหน้า

ตารางที่ 3 ผลการพยากรณ์รวมของแต่ละปี

ปีที่	ค่าพยากรณ์ (ตัน)		
	สูงสุด	กลาง	ต่ำ
1	395,033,596	276,523,517	118,510,079
2	717,882,295	502,517,606	215,364,688
3	1,184,878,301	829,414,811	355,463,490
4	1,822,708,847	1,275,896,193	546,812,654
5	2,658,061,165	1,860,642,815	797,418,349
6	3,717,622,487	2,602,335,741	1,115,286,746
ปีที่ 7	5,028,080,045	3,519,656,031	1,508,424,013

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์จะมีค่าสูง แต่หากนำปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งทั้งหมดใน ปีที่ 7 มาเทียบกับปริมาณของสินค้าเกษตร A ทั้งหมดที่มีอยู่ในปัจจุบัน (ที่ยังไม่ตัดไปแปรรูป) พบว่า ปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งทั้งหมดในปีที่ 7 มีเพียง 9.9% ของปริมาณสินค้าเกษตร A ที่มีอยู่ในปัจจุบันเท่านั้น (ยังสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ อยู่และไม่ถูกตัด)

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการพยากรณ์ปริมาณของเศษเหลือทิ้งที่ได้จากการแปรรูปสินค้าเกษตร A ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบของโรงงานตัวอย่างในอนาคตข้างหน้า 7 ปี โดยเก็บข้อมูลปริมาณการตัดสินค้าเกษตร A ย้อนหลัง 5 ปี มาทำการวิเคราะห์พบว่าลักษณะของข้อมูลมีลักษณะผสมระหว่างแนวโน้มที่ไม่เป็นเส้นตรงและฤดูกาล คณะวิจัยได้ใช้วิธีแยกองค์ประกอบในการพยากรณ์ โดยมีองค์ประกอบของการคำนวณค่าพยากรณ์ 2 องค์ประกอบ คือสมการแนวโน้มและดัชนีฤดูกาล เนื่องจากในอนาคตข้างหน้ามีปัจจัยบางอย่างที่อาจกระทบปริมาณการตัดสินค้าเกษตร A และไม่สามารถควบคุมได้ คณะวิจัยจึงได้ทำการพยากรณ์โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ กรณีที่การคาดการณ์ในแง่บวก (ดีที่สุดหรือได้ผลผลิตค่าพยากรณ์) การคาดการณ์แบบกลางๆ (ปานกลางหรือได้ผลผลิตเพียง 70% ของค่าพยากรณ์) และการคาดกลางในแง่ลบ (สุดหรือได้ผลผลิตเพียง 30% ของค่าพยากรณ์) ค่าพยากรณ์ที่ได้บริษัทตัวอย่างสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการจัดหาวัสดุเหลือใช้มาเป็นวัตถุดิบในอนาคตได้ และใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้

เนื่องจากการพยากรณ์มีผลกระทบจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น การพยากรณ์ในมุมมองต่างๆ เป็นเพียงหนึ่งวิธีการเท่านั้นที่สามารถประยุกต์ใช้ในงานจริงและประกอบการตัดสินใจของผู้บริหารได้ อย่างไรก็ตามยังมีโอกาสในการพัฒนางานวิจัยนี้อีก เช่น พัฒนาหรือใช้ตัวแบบการพยากรณ์วิธีอื่นๆ ที่สามารถรองรับกับความซับซ้อนของปัญหานี้ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] สมเกียรติ เกตุเอี่ยม, เทคนิคการพยากรณ์, ภารกิจเอกสารและตำรากลุ่มงานบริการการศึกษา, สงขลา, หน้า 23-70, 2548

[2] ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์, เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ: การวิเคราะห์อนุกรมเวลา, นครปฐม: หจก. ภาพพิมพ์, หน้า 209-214, 2556

[3] ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, หน้า 232-234, 2549

[4] กรกฎ ใยบัวเทศ วัชระ ทองงอก และ คมกฤต เล็กสกุล, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป, หน้า 287-288, 2549

[5] ศิริวัฒน์ รุ่งมณีรัตน์ วราธร ปัญญางาน และ พิลดา หวังพานิช, การประยุกต์การวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบล่วงหน้าด้วยวิธีแบบพลวัต กรณีศึกษาโรงงานผลิตสีผงอุตสาหกรรม, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, หน้า 1892-1897, 2555

[6] จักรินทร์ กลั่นเงิน และ ประภาพรรณ เกษราพงศ์, การพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าเพื่อควบคุมสินค้าคงคลัง, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, หน้า 150-154, 2555

[7] ณภัทร มงคลธนานนท์ และ เจริญชัย โขมพัตราภรณ์, การตัดสินใจเลือกทาเลที่ตั้งสาหรับโลจิสติกส์ย้อนกลับของตะกั่วจากแบตเตอรี่ยานยนต์, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, หน้า 150-154, 2556

[8] ณัทธร ทิบุญ และ เจษฎา เย็นจะบก, การจัดสรรทรัพยากรเพื่อการผลิตโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์: กรณีศึกษา โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์, การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ, หน้า 223-228, 2551

การประยุกต์การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัวเพื่อแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไข

Application of Adaptive Current Search to Solve Constraint Optimization Problems

สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี*
ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อกรุงเทพมหานคร 10800
E-mail:supaporn.s@eng.kmitnb.ac.th*

Supaporn Suwannarongsri*
Department of Materials Handling and Logistics Engineering,Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok,
1518 Piboonsongkram Rd. Bangsue District, Wong Sawang Area, Bangkok 10800,
E-mail:supaporn.s@eng.kmitnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัวเป็นเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศึกษาสำนึกเทคนิคหนึ่งที่ทรงประสิทธิภาพ ขั้นตอนวิธีของการค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัวได้รับการพัฒนาขึ้นจากพฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรข่าย บทความนี้นำเสนอการประยุกต์การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัวเพื่อแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไข โดยได้ทำการทดสอบกับปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไขมาตรฐานจำนวน 3 ปัญหา จากนั้นได้ประยุกต์การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัวกับปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไขทางวิศวกรรมจำนวน 2 ปัญหา ได้แก่การออกแบบสปริง และการออกแบบท่อความดัน ผลการทดสอบจะเปรียบเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิมที่มีประสิทธิภาพ จากผลการทดสอบพบว่าการค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัวสามารถให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีการแบบดั้งเดิมสำหรับทุกปัญหา

คำหลัก การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัว, การหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไข, อภิศึกษาสำนึก

Abstract

The adaptive current search (ACS) is one of the most efficient metaheuristic optimization techniques. Algorithms of the ACS is developed from the behavior of electric current flown through electrical networks. This paper proposes the application of the ACS to solve constraint optimization problems. Performance of the ACS is evaluated against three standard benchmarking constraint problems. Then, the ACS is applied to solve two real-world constraint engineering problems, i.e. spring design and pressure vessel design. Results obtained by the ACS will be compared with those obtained by the conventional method. As results, it was found that the ACS can provide superior solutions to the conventional method for all problems.

Keywords: Adaptive current search, Constraint optimization problem, Metaheuristics

1. บทนำ

การหาค่าเหมาะที่สุดแบบอภิศึกษาสำนึก (meta-heuristic optimization) ได้รับการยอมรับและถูกนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง [1],[2] ในบริบทของการหาค่าเหมาะที่สุดแนวใหม่ อภิศึกษาสำนึกสามารถแบ่งตามลักษณะการค้นหาได้ 2กลุ่ม คืออภิศึกษาสำนึกแบบอิงผลเฉลยเดียว (single-solution based metaheuristics) ซึ่งจะมีคุณสมบัติความเข้มข้น (intensification) ที่โดดเด่น และอภิศึกษาสำนึกแบบอิงประชากร (population-based metaheuristics) ซึ่งมีคุณสมบัติความหลากหลายเข้มข้น (diversification)ที่โดดเด่น [1],[2],[3] จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าในกลุ่มของอภิศึกษาสำนึกแบบอิงผลเฉลยเดียว การค้นแบบกระแสเชิงปรับตัว (adaptive current search: ACS) นับว่าเป็นเทคนิคใหม่ซึ่งได้รับการนำเสนอในปีค.ศ. 2014 [4],[5] ขั้นตอนวิธีของ ACS ได้รับการพัฒนาขึ้นจากพฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรข่ายโดยอาศัยรายการหน่วยความจำสำหรับจดจำผลเฉลยในอดีต และกลไกการปรับรัศมีการค้นหา (adaptive radius mechanism: AR) เพื่อเร่งกระบวนการค้นหาผลเฉลย ทำให้ ACS มีประสิทธิภาพในการค้นหาผลเฉลยวงกว้าง (global solution) มากยิ่งขึ้น ด้วยขั้นตอนวิธีที่ไม่ซับซ้อน ทำให้ ACS ได้รับความสนใจและนำไปแก้ปัญหาทางวิศวกรรมอุตสาหการที่หลายหลาย อาทิเช่น การแก้ปัญหาการจัดการพลังงานในสายงานการประกอบ [4],[5] และการจัดการพลังงานอย่างเหมาะสมในปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง [6] เป็นต้น

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ ACS เพื่อแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไขที่เป็นปัญหามาตรฐานจำนวน 3 ปัญหา จากนั้นทำการประยุกต์ ACS เพื่อแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไขซึ่งเป็นปัญหาจริงจำนวน 2 ปัญหา คือการออกแบบสปริง และการออกแบบท่อความดัน บทความนี้ประกอบด้วยหัวข้อต่างๆ จำนวน 5 หัวข้อ ในหัวข้อที่ 2 ของบทความจะนำเสนอขั้นตอนวิธีของ ACS หัวข้อที่ 3 นำเสนอปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบหัวข้อที่ 4 นำเสนอผลการทดสอบและการอภิปราย และหัวข้อที่ 5 เป็นบทสรุป

2. ขั้นตอนวิธีของ ACS

การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัว หรือ ACS เป็นอภิศึกษาสำนึกแบบอิงผลเฉลยเดียว [4],[5] ที่มีขั้นตอนวิธีที่เลียนแบบพฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการค้นหาเฉพาะที่ (local search) แต่ ACS จะมีการนำเอารายการหน่วยความจำมาใช้เพื่อจดจำผลเฉลยในอดีต และใช้ประโยชน์จากผลเฉลยดังกล่าวเพื่อกำหนดทิศทางการค้นหา ขั้นตอนวิธีของ ACS มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> กำหนดจำนวนผลเฉลยเริ่มต้น (จำนวนเส้นทางการค้นหา), รัศมีการค้นหา R, ตัวนับ $k=1$,หน่วยความจำเส้นทางการค้นหา Ψ และหน่วยความจำผลเฉลยเฉพาะที่ Ξ

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> สร้างผลเฉลยเริ่มต้น $\boldsymbol{x}=x_1,\ldots,x_n$ จากกระบวนการสุ่มภายในปริภูมิการค้นหา

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> ประเมินผลเฉลย $\boldsymbol{x}$ ด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) จากนั้นทำการจัดลำดับผลเฉลย $\boldsymbol{x}$ ที่ซึ่ง $f(x_1)<\cdots<f(x_n)$ แล้วเก็บ $\boldsymbol{x}$ ที่ผ่านการจัดลำดับแล้วลงใน Ψ

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> ให้ $s=x_k$ เป็นผลเฉลยเริ่มต้นที่ได้รับการคัดเลือกหลังการจัดลำดับ (เส้นทางการค้นหา)

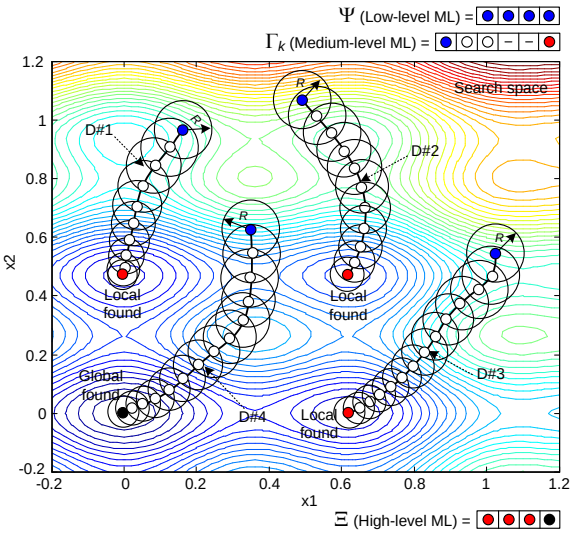
<u>ขั้นตอนที่ 5</u> สร้างเซตค่าข้างเคียง $\aleph(s)$ จากผลเฉลย s ด้วยกระบวนการสุ่มภายในรัศมีการค้นหา R

<u>ขั้นตอนที่ 6</u> ประเมินค่าข้างเคียงในเซต $\aleph(s)$ ด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ให้ $s'\in\aleph(s)$ คือค่าข้างเคียงที่ดีที่สุดภายในเซต

<u>ขั้นตอนที่ 7</u> ถ้า $f(s')\le f(s)$ ให้ยอมรับ s' โดยปรับค่า $s=s'$ ถ้าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไม่ได้รับการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ ให้เรียกใช้กลไกการปรับรัศมีการค้นหา (AR) โดยการปรับ $R=\alpha R,\ 0<\alpha<1$ แล้วกลับไปยังขั้นตอนที่ 5 ไม่เช่นนั้น แสดงว่าผลเฉลยเฉพาะที่ในเส้นทางนี้ถูกค้นพบ

<u>ขั้นตอนที่ 8</u> ตรวจสอบ TC (termination criteria) ถ้า TC เป็นจริง ให้ยุติการค้นหา ไม่เช่นนั้นให้เก็บ s ไว้ในเซต Ξ แล้วทำการปรับค่า $k=k+1$ และกลับไปยังขั้นตอนที่ 4 เพื่อทำการค้นหาในเส้นทางถัดไป

ตัวอย่างการค้นหาของ ACS บนปริภูมิ 2 มิติ เมื่อกำหนดให้จำนวนเส้นทางการค้นหาเท่ากับ 4 เส้นทาง แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การค้นหาของ ACS บนปริภูมิ 2 มิติ

3. ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไข

ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไขที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกัน กลุ่มแรกคือปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไขที่เป็นปัญหามาตรฐานจำนวน 3 ปัญหา และกลุ่มที่สองคือปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไขซึ่งเป็นปัญหาจริงจำนวน 2 ปัญหา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ปัญหามาตรฐาน

ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไขที่เป็นปัญหามาตรฐานจำนวน 3 ปัญหา ได้รับการคัดเลือกมาจากปัญหาที่ใช้อย่างแพร่หลาย และมีจำนวนตัวแปรตัดสินใจ (decision variables) และจำนวนเงื่อนไขที่แตกต่างกัน [7],[8] โดยที่ฟังก์ชัน Fcon1 จะมีตัวแปรตัดสินใจจำนวน 2 ตัวแปร และมีเงื่อนไขจำนวน 2 เงื่อนไขดังแสดงในสมการที่ (1) ฟังก์ชัน Fcon2 มีตัวแปรตัดสินใจจำนวน 7 ตัวแปร และมีเงื่อนไขจำนวน 4 เงื่อนไขดังแสดงในสมการที่ (2) และฟังก์ชัน Fcon3 มีตัวแปรตัดสินใจจำนวน 8 ตัวแปร และมีเงื่อนไขจำนวน 6 เงื่อนไขดังแสดงในสมการที่ (3) ตามลำดับ

$$\textbf{Fcon1}: \min_{\boldsymbol{x}} f(\boldsymbol{x}) = (x_1^2 + x_2 - 11)^2 + (x_1 + x_2^2 - 7)^2$$

subject to,

$$\begin{aligned} & g_1(x) = 4.84 - (x_1 - 0.05)^2 - (x_2 - 2.5)^2 \geq 0, \\ & g_2(x) = x_1^2 + (x_2 - 2.5)^2 - 4.84 \geq 0, \\ & 0 \leq x_1 \leq 6, \quad 0 \leq x_2 \leq 6 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\textbf{Fcon2}: \min_{\boldsymbol{x}} f(\boldsymbol{x}) = (x_1 - 10)^2 + 5(x_2 - 12)^2 + x_3^4 + 3(x_4 - 11)^2 + 10x_5^6 + 7x_6^2 + x_7^4 - 4x_6x_7 - 10x_6 - 8x_7$$

subject to,

$$\begin{aligned} & g_1(x) = 127 - 2x_1^2 - 3x_2^4 - x_3 - 4x_4^2 - 5x_5 \geq 0, \\ & g_2(x) = 282 - 7x_1 - 3x_2 - 10x_3^2 - x_4 + x_5 \geq 0, \\ & g_3(x) = 196 - 23x_1 - x_2^2 - 6x_6^2 + 8x_7 \geq 0, \\ & g_4(x) = -4x_1^2 - x_2^2 + 3x_1x_2 - 2x_3^2 - 5x_6 + 11x_7 \geq 0, \\ & -10 \leq x_i \leq 10, \quad (i = 1, \ldots, 7) \end{aligned} \tag{2}$$

$$\textbf{Fcon3}: \min_{\boldsymbol{x}} f(\boldsymbol{x}) = x_1 + x_2 + x_3$$

subject to,

$$\begin{aligned} & g_1(x) = 1 - 0.0025(x_4 + x_6) \geq 0, \\ & g_2(x) = 1 - 0.0025(x_5 + x_7 - x_4) \geq 0, \\ & g_3(x) = 1 - 0.01(x_8 - x_5) \geq 0, \\ & g_4(x) = x_1x_6 - 833.33252x_4 - 100x_1 + 83333.333 \geq 0, \\ & g_5(x) = x_2x_7 - 1250x_5 - x_2x_4 + 1250x_4 \geq 0, \\ & g_6(x) = x_3x_8 - x_3x_5 + 2500x_5 - 1250000 \geq 0, \\ & 100 \leq x_1 \leq 10000, \quad 1000 \leq x_2, x_3 \leq 10000, \\ & 10 \leq x_i \leq 1000, \quad (i = 4, \ldots, 8) \end{aligned} \tag{3}$$

2.2 ปัญหาทางวิศวกรรม

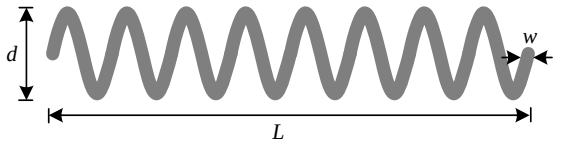
ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไขที่เป็นปัญหาจริงทางวิศวกรรมจำนวน 2 ปัญหาได้แก่ปัญหาการออกแบบสปริง และปัญหาการออกแบบท่อความดัน

ปัญหาการออกแบบสปริง (Fspring) สำหรับรับแรงดึงและแรงอัดพบ เป็นปัญหาที่ต้องการให้สปริงให้มีน้ำหนักเบาที่สุดที่สอดคล้องกับเงื่อนไขระยะการเบนน้อยที่สุด ความเค้นเฉือนสูงสุด และข้อจำกัดด้านรูปทรงเรขาคณิต เมื่อสปริงที่พิจารณานั้นสร้างขึ้นจากขดลวดดังรูปที่ 2 และสมการที่ (4) [9],[10] ผลเฉลยหรือตัวแปรตัดสินใจคือเส้นผ่าศูนย์กลางของลวด w (ความหนา), เส้นผ่าศูนย์กลางของขดลวด d และความยาว L (จำนวนของขดลวดที่สมมูลกัน)

Fspring : min $f(w,d,L) = (2+L)dw^2$

subject to,

$$g_1(w,d,L) = 1 - \frac{d^3 L}{71{,}785 w^4} \le 0,$$
$$g_2(w,d,L) = \frac{d(4d-w)}{w^3(12{,}566d-w)} + \frac{1}{5{,}108w^2} - 1 \le 0, \quad (4)$$
$$g_3(w,d,L) = 1 - \frac{140.45w}{d^2 L} \le 0,$$
$$g_4(w,d,L) = \frac{2(w+L)}{3} - 1 \le 0,$$
$$0.05 \le w \le 2.0, \quad 0.25 \le d \le 1.3, \quad 2.0 \le L \le 15.0$$



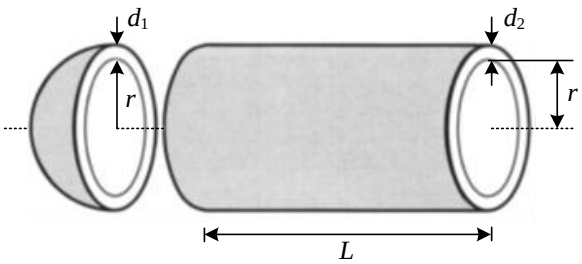
รูปที่ 2 ปัญหา Fspring

ปัญหาการออกแบบท่อความดัน (Fvessel) ในถังแก๊สหรือหม้อไอน้ำ คือปัญหาที่ต้องการออกแบบท่อทรงกระบอกที่มีต้นทุนน้อยที่สุดที่สามารถทำงานภายใต้ปริมาตรและความดันที่กำหนด ดังรูปที่ 3 และสมการที่ (5) [9],[10] ตัวแปรตัดสินใจของการออกแบบได้แก่ความหนาของหัวท่อ d_1, ความหนาของตัวท่อ d_2, รัศมีภายในท่อ r และความยาวของท่อ L

Fvessel : min $f(\boldsymbol{x}) = 0.6224 d_1 r L + 1.7781 d_2 r^2 + 3.1661 d_1^2 L + 19.84 d_1^2 r$

subject to,

$$g_1(\boldsymbol{x}) = -d_1 + 0.0193r \le 0, \quad (5)$$
$$g_2(\boldsymbol{x}) = -d_2 + 0.00954r \le 0,$$
$$g_3(\boldsymbol{x}) = -\pi r^2 L - \frac{4\pi}{3} r^3 + 1{,}296{,}000 \le 0,$$
$$g_4(\boldsymbol{x}) = L - 240 \le 0,$$
$$0.0625 \le d_1, d_2 \le 99 \times 0.0625,$$
$$10.0 \le r, L \le 200.0$$



รูปที่ 3ปัญหา Fvessel

4. ผลการทดสอบและอภิปราย

ขั้นตอนวิธีของ ACS ได้รับการพัฒนาขึ้นด้วย MATLAB เพื่อประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ Intel Core2 Duo 2.0 GHz สำหรับแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไข เริ่มต้นจากการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของ ACS ที่เหมาะสมสำหรับทุกปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยทำการเปลี่ยนแปลงจำนวนเส้นทางการค้นหา *N* = 3, 5, 10, 20, 30, จำนวนค่าข้างเคียง *n* = 10, 20, 30, 40, 50,รัศมีการค้นหา *R* = 10%, 20%,30%, 40%, 50% ของปริภูมิการค้นหา จำนวนการทำซ้ำของแต่ละเส้นทาง *Iter* = 100, 200, 500, 1000, กลไก AR = 2, 3, 4, 5 states จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าค่าพารามิเตอร์ของ ACS ที่เหมาะสมสำหรับทุกปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ *N* = 10 (กำหนดให้เป็น TC), *n* = 40,*R* = 20% ของปริภูมิการค้นหา, *Iter* = 200 และกลไก AR = 2 states (แต่ละ states กำหนดให้ R_{new} = *R*/10) ซึ่งในการทดสอบกับทุกปัญหาต่อไปนี้ จะใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดดังกล่าวเพียงชุดเดียวเท่านั้น

ผลการทดสอบ ACS เพื่อแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไขจะได้รับการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีการแบบดั้งเดิม ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้กำหนดการไม่เชิงเส้น (nonlinear programming) โดยใช้คำสั่ง fmincon ในกล่องเครื่องมือการหาค่าเหมาะที่สุดของ MATLAB และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm: GA) ซึ่งเป็นอภิศึกษาสำนึกแบบอิงประชากรที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ซึ่งในงานวิจัยได้ใช้กล่องเครื่องมือ GA ของ MATLAB เช่นเดียวกัน จากการทดสอบ GA เบื้องต้น กำหนดพารามิเตอร์ดังนี้ จำนวนประชากร (population) = 40, เปอร์เซ็นต์การไขว้ข้าม (crossover) =70% และเปอร์เซ็นต์การกลายพันธุ์ (mutation) =10% เงื่อนไขยุติการค้นหา (termination criteria) ของทั้ง ACS และ GA คือจำนวนคำตอบที่ถูกประเมินทั้งหมด = 100,000 คำตอบ ทำการทดสอบจำนวน 20 ครั้ง (trials) สำหรับแต่ละปัญหาเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด

ผลการทดสอบ ACS กับปัญหามาตรฐานจำนวน 3 ปัญหาแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งพบว่า ACS สามารถให้

คำตอบที่ดีกว่ากำหนดการไม่เชิงเส้น และ GA ในทุกปัญหา และเช่นเดียวกัน ผลการทดสอบ ACS กับปัญหาทางวิศวกรรมซึ่งเป็นปัญหาจริงจำนวน 2 ปัญหา ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ACS สามารถให้คำตอบที่ดีกว่ากำหนดการไม่เชิงเส้น และ GA ในทุกปัญหา

5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการประยุกต์การค้นหาแบบกระแสเชิงปรับตัว (ACS) สำหรับการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไข ACS นับเป็นอภิศึกษาสำนึกแบบอิงผลเฉลยเดียวที่ทรงประสิทธิภาพและมีขั้นตอนวิธีที่ไม่ซับซ้อน โดยได้ทำการทดสอบ ACS กับปัญหามาตรฐานจำนวน 3 ปัญหา และปัญหาทางวิศวกรรมจำนวน 2 ปัญหา ได้แก่การออกแบบสปริง และการออกแบบท่อความดัน ทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากกำหนดการไม่เชิงเส้นซึ่งเป็นวิธีการแบบดั้งเดิม และ GA ซึ่งเป็นอภิศึกษาสำนึกแบบอิงประชากร จากผลการทดสอบในทุกกรณีปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยนี้พบว่า ACS สามารถให้คำตอบที่ดีกว่ากำหนดการไม่เชิงเส้น และ GA ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

[1] F. Gloverand G. A. Kochenberger, Handbook of Metaheuristics, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003.

[2] E. G. Talbi, Metaheuristics from Design to Implementation, John Wiley & Sons, 2009.

[3] X. S. Yang, Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications, John Wiley & Sons, 2010.

[4] S. Suwannarongsri, T. Bunnag and W. Klinbun, “Energy resource management of assembly line balancing problem using modified current search method,” International Journal of Intelligent Systems and Applications, vol.6, no.3, pp. 1 – 11, 2014.

[5] S. Suwannarongsri, T. Bunnag and W. Klinbun, “Optimization of energy resource management for assembly line balancing using adaptive current search,” American Journal of Operations Research, vol.4, no.1, pp. 8 – 21, 2014.

[6] S. Suwannarongsri, T. Bunnag and W. Klinbun, “Traveling transportation problem optimization by adaptive current search method,” International Journal of Modern Education and Computer Science, vol.6, no.5, pp. 33 – 45, 2014.

[7] D. M. Himmelblau, Applied Nonlinear Programming, McGraw-Hill, New York, 1972.

[8] J. Braken and G. P. McCormick, Selected Applications of Nonlinear Programming, John Wiley & Sons, New York, 1968.

[9] L. C. Cagnina, S. C. Esquivel and C. A. Coello, “Solving engineering optimization problems with the simple constrained particle swarm optimizer,” Informatica, vol. 32, pp. 319 – 326, 2008.

[10] C. A. Coello, “Use of a self-adaptive penalty approach for engineering optimization problems,” Computers in Industry, vol. 41, pp. 113 – 127, 2000.

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบกับปัญหามาตรฐาน

Fcon1				
Standard Solutions x, Constraint Function and Objective function $f(x)$	Optimal Solutions x^*, Constraint Function and Objective function $f^*(x)$	Algorithms		
		Nonlinear Programming	GA	ACS
$0 \le x_1 \le 6$	x_1	2.2467	2.2472	2.2468
$0 \le x_2 \le 6$	x_2	2.3822	2.3821	2.3818
$g_1 \ge 0$	g_1	0.0001	0.0001	1.83×10^{-18}
$g_2 \ge 0$	g_2	0.2222	0.2222	0.2222
$f(\mathbf{x}) = 13.5908$	$f^*(\mathbf{x})$	13.5991	13.5974	13.5908
Fcon2				
Standard Solutions x and Objective function $f(x)$	Optimal Solutions x^* and Objective function $f^*(x)$	Algorithms		
		Nonlinear Programming	GA	ACS
$-10 \le x_1 \le 10$	x_1	2.3234	2.3305	2.3250
$-10 \le x_2 \le 10$	x_2	1.9512	1.9514	1.9500
$-10 \le x_3 \le 10$	x_3	-0.4484	-0.4778	-0.4914
$-10 \le x_4 \le 10$	x_4	4.3619	4.3657	4.3709
$-10 \le x_5 \le 10$	x_5	-0.631	-0.6244	-0.6239
$-10 \le x_6 \le 10$	x_6	1.0387	1.0380	1.0409
$-10 \le x_7 \le 10$	x_7	1.6055	1.5941	1.5934
$f(\mathbf{x}) = 6.8064\times10^2$	$f^*(\mathbf{x})$	6.8086×10^2	6.8069×10^2	6.8064×10^2
Fcon3				
Standard Solutions x and Objective function $f(x)$	Optimal solutions x^* and Objective function $f^*(x)$	Algorithms		
		Nonlinear Programming	GA	ACS
$100 \le x_1 \le 10{,}000$	x_1	584.02	585.68	590.48
$1{,}000 \le x_2 \le 10{,}000$	x_2	1357.02	1358.34	1361.73
$1{,}000 \le x_3 \le 10{,}000$	x_3	5146.64	5145.17	5100.32
$10 \le x_4 \le 1{,}000$	x_4	192.01	191.16	182.89
$10 \le x_5 \le 1{,}000$	x_5	296.58	298.01	296.02
$10 \le x_6 \le 1{,}000$	x_6	213.88	212.35	217.07
$10 \le x_7 \le 1{,}000$	x_7	285.67	286.14	286.74
$10 \le x_8 \le 1{,}000$	x_8	392.12	394.95	396.01
$f(\mathbf{x}) = 7.0525\times10^3$	$f^*(\mathbf{x})$	7.0583×10^3	7.0564×10^3	7.0525×10^3

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกับปัญหาทางวิศวกรรม

Fspring				
Standard Solutions x, Constraint Function and Objective function $f(x)$	Optimal Solutions x^*, Constraint Function and Objective function $f^*(x)$	Algorithms		
		Nonlinear Programming	GA	ACS
$0.05 \le w \le 2.0$	w	0.05	0.0517	0.04999
$0.05 \le d \le 1.3$	d	0.25	0.3568	0.25001
$2.0 \le L \le 15$	L	9.9877	11.2871	9.98769
$f(\mathbf{x})$ = not-known	$f^*(\mathbf{x})$	0.0075	0.0127	0.0074
Fvessel				
Standard Solutions x and Objective function $f(x)$	Optimal Solutions x^* and Objective function $f^*(x)$	Algorithms		
		Nonlinear Programming	GA	ACS
$0.0625 \le d_1 \le 6.1875$	d_1	0.7782	0.8125	0.77818
$0.0625 \le d_2 \le 6.1875$	d_2	0.3846	0.4375	0.38459
$10 \le r \le 200$	r	40.3196	42.0984	40.31958
$10 \le L \le 200$	L	200.00	176.6366	199.998
$f(\mathbf{x})$ = not-known	$f^*(\mathbf{x})$	5,885.33	6,059.71	5,884.45

การทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อสนับสนุนการเดินระบบผลิตน้ำในโรงไฟฟ้า

A Testing of the Expert System to Support the Cycle Make Up Water Treatment System Operation in Power Plant

ธนานิวัฒน์ สัตย์นาโค[1] ประจวบ กล่อมจิตร[2*]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ. นครปฐม 73000 E-mail: [1]tananiwat@hotmail.com, [2*]prachuab@su.ac.th

Thananiwat Satnako[1], Prachuab Klomjit[2*]
Dep. of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Silpakorn University, Muang, Nakornpathom,73000, E-mail: [1]tananiwat@hotmail.com,[2*]prachuab@su.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อสนับสนุนการเดินระบบผลิตน้ำในโรงไฟฟ้า ซึ่งได้พัฒนาขึ้นเพื่อให้เป็นฐานความรู้ให้กับพนักงานเดินเครื่องในการตัดสินใจและลดข้อผิดพลาดในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำ ระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ได้พัฒนาบนเปลือกผู้เชี่ยวชาญ Exsys Corvid Version 6 โดยใช้วิธีการแทนความรู้แบบกฎ (IF/THEN Rules) ซึ่งมีจำนวนกฎทั้งหมด 180 กฎ และใช้กลไกการอนุมานแบบไปข้างหน้า (Forward Chaining) และงานวิจัยนี้ได้ประเมินความถูกต้องโดยเปรียบเทียบคำตอบของระบบผู้เชี่ยวชาญกับพนักงานเดินเครื่องระบบผลิตน้ำ พบว่าสามารถให้คำตอบได้สอดคล้องกันมากกว่า 90% และได้ประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญด้วยการแสดงความเห็นในแบบสอบถาม พบว่าทั้งผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นพนักงานเดินเครื่องระบบผลิตน้ำและพนักงานเดินเครื่องตำแหน่งอื่นมีความพึงพอใจในการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับ ดี โดยได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 และ 4.20 ตามลำดับ ตลอดจนมีการนำระบบผู้เชี่ยวชาญนี้มาทดลองใช้ระหว่างการปฏิบัติงาน

คำหลัก ระบบผู้เชี่ยวชาญ, ระบบผลิตน้ำ, อนุมานแบบไปข้างหน้า

Abstract

The purpose of this study is to test the developed expert system. The expert system supports the Cycle Make up Water Treatment System Operation in Power Plant. It is especially a knowledge base for operator to reduce mis-operation in demineralized water production process. It is implemented with the expert system shell called Exsys Corvid Version 6 using IF/THEN Rules amount 180 rules with Forward Chaining Inference Engine. The results of this study indicates that the expert system has accuracy more than 90% compare with human expert diagnosis. This study also evaluate the satisfaction of using the expert system by cycle make up plant operators and other operators. The satisfaction of both are in good level with the average value 4.00 and 4.20 respectively. Moreover the expert system is tested by using during normal operation.

Keywords: Expert System, Cycle Make up Water Treatment System, Forward Chaining

1. บทนำ

โรงไฟฟ้าที่จำเป็นต้องใช้น้ำในกระบวนการต่างๆ โดยเฉพาะในการกระบวนการผลิตไอน้ำที่จะนำไปถ่ายเทพลังงานให้กับเครื่องกังหันไอน้ำเพื่อผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยน้ำที่ใช้ในโรงไฟฟ้าต้องเป็นน้ำปราศจากแร่ธาตุ (Demineralized Water) ที่มีการควบคุมคุณภาพของน้ำเป็นอย่างดี ซึ่งโรงไฟฟ้าแต่ละโรงมีวิธีการผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุที่แตกต่างกันไป การเลือกอุปกรณ์ที่จะใช้ในการผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุจะต้องพิจารณาถึงสภาพแหล่งน้ำ ความต้องการใช้น้ำของหม้อไอน้ำ คุณภาพของน้ำ วิธีการ และค่าใช้จ่าย โดยปกติแล้วน้ำจะมีสิ่งเจือปนอยู่เสมอไม่มากก็น้อย สารเจือปนเหล่านี้เป็นตัวการทำอันตรายต่อหม้อไอน้ำ ผลเสียหายที่เกิดกับหม้อไอน้ำเนื่องจากสารเจือปนเหล่านี้แยกได้เป็น Corrosion, Scale, Carryover ซึ่งจะทำให้กระทบต่อการผลิตไฟฟ้าได้

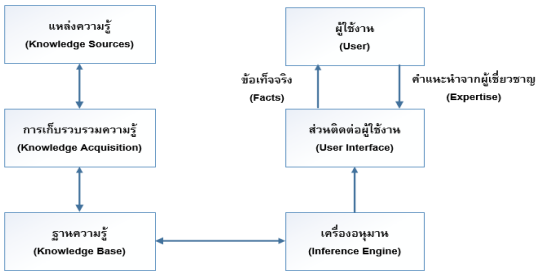
โรงไฟฟ้ากรณีศึกษามีระบบการผลิตน้ำ (Cycle Make Up Water Treatment System) ซึ่งเป็นการนำน้ำมาผ่านกระบวนการต่างๆ มีการควบคุมกระบวนการผลิตน้ำด้วยระบบ DCS (Distributed Control System) ซึ่งระบบ DCS เป็นการนำเอาเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม มาประยุกค์ใช้ในงานด้านการควบคุม โดยเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถควบคุมการทำงานผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งคอมพิวเตอร์จะนำข้อมูลหรือค่าต่างๆของกระบวนการ เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล ระดับ มาทำการแสดงผลและประมวลผลเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการต่อไป ระบบ DCS ยังมีส่วนของสัญญาณแจ้งเตือน (Alarm) ซึ่งเป็นส่วนแสดงความสภาวะผิดปกติของการทำงานของระบบหรืออุปกรณ์ต่างๆ เป็นสิ่งที่แจ้งเตือนพนักงานเดินเครื่องให้ทำการตรวจและแก้ไขความผิดปกตินั้นๆ โดยพนักงานเดินเครื่องนั้นจะต้องเป็นผู้มีความรู้และทักษะ สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อหาวิธีการดำเนินการแก้ไขได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น การจัดเก็บองค์ความรู้ให้เป็นระบบ โดยการจัดทำเป็นระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) ซึ่งต้องใช้องค์ความรู้ อันประกอบด้วยทฤษฎีและความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาอย่างถูกต้องตามสถานการณ์ จึงเป็นสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อพนักงานเดินเครื่องให้ทำงานได้อย่างถูกต้อง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) หมายถึงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เก็บทั้งความรู้เกี่ยวกับปัญหาที่จะแก้ไขและขบวนการอนุมานเพื่อนำไปสู่ผลสรุปหรือคำตอบของปัญหานั้น ความรู้ที่เก็บมีทั้งความรู้ที่เป็นความจริงที่อาจจะถูกบันทึกไว้ในรูปของตำราหรือเอกสารทางวิชาการ และความรู้ที่ได้จากประสบการณ์ที่อาจจะไม่อยู่ในรูปของตำราหรือเอกสารทางวิชาการ แต่จะต้องดึงออกมาจากผู้ที่มีประสบการณ์นั้น [1]

องค์ประกอบสำคัญในการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 [2]



รูปที่ 1. แผนภาพการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบแบบอิงกฎเกณฑ์ (Rule-Based System) เป็นการนำเอาความรู้ของผู้เชี่ยวชาญที่เกิดจากการศึกษาและประสบการณ์เฉพาะด้านของผู้เชี่ยวชาญมาสร้างเป็นกฎในการตัดสินใจและแก้ไขปัญหาต่างๆ โดยกฎต่างๆที่ได้จะเป็นเครื่องทำหน้าที่แทนผู้เชี่ยวชาญ แต่ข้อจำกัดคือกฎจะไม่สามารถเปลี่ยนบ่อยๆได้ จึงเหมาะกับการแก้ปัญหาที่ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง [3] ซึ่งกฎประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วน IF เรียกว่าเป็นเงื่อนไข (Condition) และส่วน THEN เรียกว่าเป็นผลลัพธ์ (action) เขียนได้ดังนี้ [4]

IF <condition>

THEN <action>

ซึ่งเป็นวิธีแทนความรู้ที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้

แบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) เป็นที่นิยมใช้ในกระบวนการเหมืองข้อมูล (Data Mining) ใช้ในการพยากรณ์ (Prediction) หรือจำแนกกลุ่ม (Classification) นอกจากนั้นยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างกฎเพื่อพัฒนาระบบ Expert System อีกด้วย แผนผังต้นไม้ตัดสินใจแสดงผลลัพธ์จากการกระทำหรือตัดสินใจในเงื่อนไขต่างๆ แล้วเชื่อมต่อกันเป็นเส้นที่แตกแขนงออกไป [1]

2.2 ระบบผลิตน้ำ (Cycle Make up Water Treatment System) ของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา

โรงไฟฟ้ากรณีศึกษามีกระบวนการผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุ (Demineralized Water) เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมีความสามารถผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุได้ 2 สายผลิต (Train) โดยแต่ละสายผลิตจะมีขั้นตอนการทำงานและเรียงลำดับที่เหมือนกัน ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้ 1) Activated Carbon Filter, 2) Strong Acid Cation Exchanger, 3) Forced Draft Degasifie, 4) Strong Base Anion Exchanger, 5)Mixed Bed Polisher

น้ำดิบที่จะนำมาผลิตจะผ่าน Activated Carbon Filter เพื่อที่จะกรองเอาสารอินทรีย์ธรรมชาติ, กลิ่น, รส และสารคลอรีนหลงเหลือออก จากนั้นจะเข้าสู่ Strong Acid Cation Exchanger เพื่อที่จะกำจัดความกระด้าง (Hardness) และสารที่มีไอออนบวกออกแล้ว Forced Draft Degasifier จะกำจัดไบคาร์บอเนต (Bicarbonate) เช่น CO2 หลังจากนั้นน้ำที่ได้จะเข้าสู่ Strong Base Anion Exchanger เพื่อที่จะกำจัดสารที่มีไอออนลบ เช่น M-alkalinity, Sulfate และ Silica ส่วน Mixed Bed Polisher จะเป็นการกำจัดไอออนที่ยังเหลืออยู่ออก จึงจะได้น้ำปราศจากแร่ธาตุ (Demineralized Water) ส่งไปยังถังเก็บ (Demineralized Water Storage Tank) [5]

2.3 เปลือกผู้เชี่ยวชาญ Exsys Corvid

โปรแกรม Exsys Corvid เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีจุดเด่นที่แตกต่างจากโปรแกรมอื่น คือ สามารถที่จะแสดงค่าความเชื่อมั่นของแต่ละคำตอบที่ผู้ใช้งานระบบได้รับหลังจากที่ได้ทำการตั้งคำถามสอบถามระบบโดยความเชื่อมั่นนี้จะเป็นตัวช่วยในการจัดลำดับความน่าจะเป็นหรือความเป็นไปได้ที่จะเกิดโอกาสนั้นๆ โดยจะจัดเรียงลำดับความน่าจะเป็นเรียงจากมากไปหาน้อยตามประสบการณ์จริงของผู้เชี่ยวชาญ ทำให้ผู้ใช้งานระบบตัดสินใจง่ายขึ้น และทำการแก้ไขความขัดข้องของอุปกรณ์ได้อย่างเป็นระบบ และยิ่งกว่านั้นโปรแกรมนี้ยังสามารถแสดงรูปภาพทั้งแบบ JPG หรือ GIF รวมถึงสามารถแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ในกรณีที่ผู้ใช้งานต้องการทราบรายละเอียด รูปลักษณะของอุปกรณ์ ตลอดจนสามารถแสดงผลในรูปแบบแผนผังแบบติดตั้ง (Drawing Diagram) ได้ด้วย [6]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญของงานวิจัยนี้ โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือ ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวินิจฉัยฟอลต์ระบบไฟฟ้าของเครื่องตักวัสดุ สำหรับเหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [2] โดยใช้ขั้นตอนวิธีแบบต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) ในการออกแบบแล้วพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญด้วยเปลือกผู้เชี่ยวชาญคลิปส์ (Clips) ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ส สามารถช่วยให้คำแนะนำกับผู้ปฏิบัติงานเมื่อเกิดสัญญาณแจ้งเตือนของเครื่องตักได้อย่างถูกต้อง

ประเทือง สุขป้อม [6] ได้นำเสนอการวิเคราะความขัดข้องของระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางสำหรับโรงไฟฟ้าแม่เมาะโดยโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งใช้เทคนิคการแสดงความรู้แบบกฎ (IF-THEN Rules) มีจำนวนกฎทั้งหมด 87 กฎและกลไกในการอนุมานแบบย้อนกลับ (Backward Chaining) โดยใช้โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ Exsys Corvid ผลจากงานวิจัยนี้ทำให้สามารถวิเคราะห์ความขัดข้องได้ถูกต้อง รวดเร็ว และยังได้กล่าวว่า Exsys Corvid เป็นโปรแกรมที่สามารถแสดงค่าความเชื่อมั่นของแต่ละคำตอบที่ผู้ใช้งานระบบได้รับหลังจากที่ได้ทำการตั้งคำถามสอบถามระบบ และยังสามารถแสดงรูปภาพ รวมถึงสามารถแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ในกรณีที่ผู้ใช้งานต้องการทราบรายละเอียด รูปลักษณะของอุปกรณ์ ตลอดจนสามารถแสดงผลในรูปแบบแผนผังแบบติดตั้ง (Drawing Diagram) ได้

M.H. Es-Saheb and I.M. Al-Harkan [7] ได้นำเสนอระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับเลือกผงโลหะโดยใช้โปรแกรม Exsys-Corvid ซึ่งทำให้สามารถเลือกผงโลหะได้ตามที่ต้องการทั้งคุณสมบัติของวัตถุและลักษณะเฉพาะของผงโลหะสำหรับการใช้งานที่ระบุ โดยใช้วิธีแทนความรู้แบบกฎ (Rule-based knowledge) และใช้เทคนิคการอนุมานทั้งแบบไปข้างหน้าและย้อนกลับ (Forward และ Backward Chaining) ทำให้ระบบสามารถกำหนดลักษณะของผงเบื้องต้นและวิธีการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการหรือสามารถทำย้อนกลับได้ ระบบตรวจสอบอาการและบำรุงรักษารถยนต์เบื้องต้น [3]

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาระบบวินิจฉัยอาการเสียและซ่อมรถยนต์เบื้องต้น โดยดึงความรู้จากผู้เชี่ยวชาญและคู่มือรถยนต์มาสร้างฐานความรู้ซึ่งมีโครงสร้างเป็นต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) และแทนความรู้แบบกฎ (Rule-Based Knowledge) แล้วพัฒนาเป็นระบบผู้เชี่ยวชาญบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android Application) ผลที่ได้จากการทดสอบระบบจากช่างซ่อมรถยนต์และผู้ขับรถยนต์ พบว่าระบบสามารถใช้งานได้เป็นที่น่าพึงพอใจ

ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวินิจฉัยและให้คำแนะนำผู้ป่วยโรคไตวายเรื้อรังโดยใช้ฐานความรู้ออนโทโลยี [8] ได้นำความรู้จากตำราวิชาการและพยาบาลผู้เชี่ยวชาญไตเทียมมาสร้างเป็นฐานความรู้ของระบบในรูปของกฎ IF-THEN Rules จำนวน 89 กฎ ออนโทโลยียา จำนวน 52 คอนเซ็ปต์ และออนโทโลยีอาหาร จำนวน 130 คอนเซ็ปต์ โดยเงื่อนไขของกฎประกอบด้วย ผลการตรวจเลือดทางห้องปฏิบัติการของผู้ป่วยจานวน 26 ชนิดและประวัติการรักษาของผู้ป่วย โดยใช้กลไกในการอนุมานแบบไปข้างหน้า (Forward Chaining) ในการหาคำตอบซึ่งเป็นแนวทางการให้คำแนะนำในการดูแลและการปฏิบัติตนแก่ผู้ป่วยแต่ละรายโดยมีค่าความแม่นยำ 96.89% เมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบของพยาบาลผู้เชี่ยวชาญไตเทียม

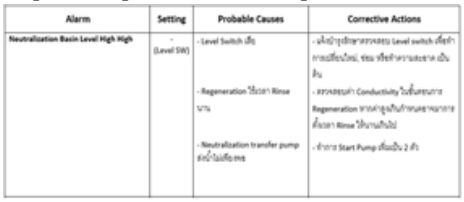
3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำตามขั้นตอนการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้

3.1. ศึกษาและกำหนดขอบเขตของปัญหา

3.1.1. รวบรวมข้อมูลของสัญญาณแจ้งเตือน (Alarm) ที่แสดงบนหน้าจอ DCS (Distributed Control System) เฉพาะที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตน้ำ ซึ่งมีทั้งหมด 30 สัญญาณแจ้งเตือน

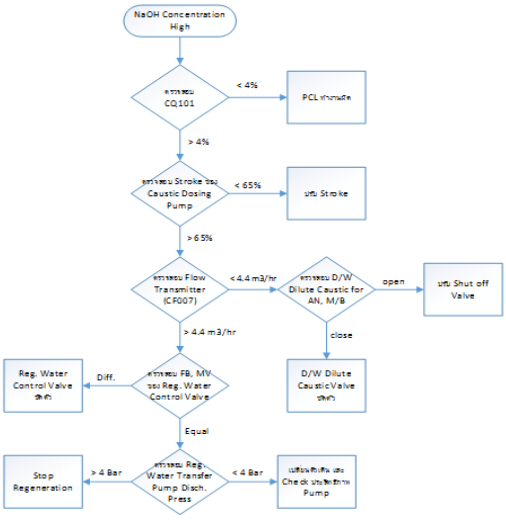
3.1.2. รวบรวมข้อมูลสาเหตุของแต่ละสัญญาณแจ้งเตือนและวิธีแก้ไขจากสอบถามข้อมูลจากผู้เชี่ยชาญซึ่งเป็นพนักงานเดินเครื่องระบบผลิตน้ำ จำนวน 4 คน และจากคู่มือของผู้ผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2. สาเหตุและแนวทางแก้ไขของสัญญาณแจ้งเตือน

3.2 ออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญ

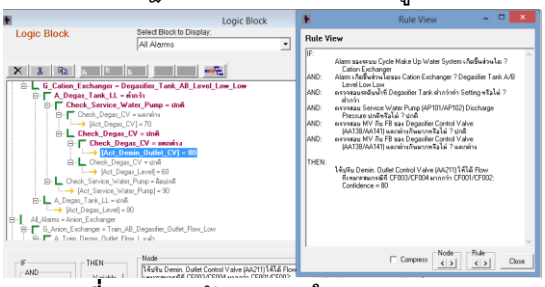
นำข้อมูลสาเหตุและแนวทางแก้ไขมาสร้างต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลและนำมาเป็นต้นแบบในการสร้างกฎ ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคในการแทนความรู้แบบกฎ (Rule-based knowledge) โดยอยู่ในรูปของกฎ IF-THEN Rules ทั้งหมดจำนวน 180 กฎ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3



รูปที่ 3. แสดงตัวอย่างข้อมูลสาเหตุและแนวทางแก้ไข

3.3 พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ

สำหรับเครื่องมือในการพัฒนาระบบนั้นใช้เปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญ Exsys Corvid Version 6 โดยใช้กลไกการอนุมานแบบไปข้างหน้า (Forward Chaining) ซึ่งรูปแบบการทำงานของระบบนั้นจะเป็นในลักษณะการถามคำถามโดยมีรูปแบบการตอบคำถามแบบ Yes หรือ No และตัวเลือก เมื่อได้รับคำตอบจากผู้ใช้ระบบในแต่ละข้อแล้วจากนั้น Exsys Corvid จะตรวจสอบว่าตรงกับกฎข้อใดและเลือกกฎที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4. แสดงตัวอย่างกฎใน Exsys Corvid

3.4 ทดสอบและปรับปรุง

ทดสอบความถูกต้องและหาข้อผิดพลาดของระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยการสอบถามการใช้งานจากผู้ทดลองใช้แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไข

3.5 ประเมินผลระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.5.1 การประเมินความถูกต้อง จะดำเนินการโดยให้ผู้เชี่ยวชาญซึ่งได้แก่พนักงานเดินเครื่องระบบผลิตน้ำซึ่งมีประสบการณ์การทำงาน จำนวน 4 คน ใช้วิธีการยกตัวอย่างปัญหา 20 ตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากคำตอบของระบบผู้เชี่ยวชาญและการวินิจฉัยของผู้เชี่ยวชาญ จากสูตร [9]

$$X\% = (a \times 100)/n \qquad (1)$$

โดยที่ a คือ จำนวนข้อที่วินิจฉัยถูก และ n คือ จำนวนข้อทั้งหมด

3.5.2 การประเมินความพึงพอใจ จากความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้แบบสอบถามที่เป็นแบบมาตรวัดให้คะแนน (rating scale) แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินมาทำการวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางสถิติการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

จากนั้นสร้างมาตรวัดของลิเคิร์ท (Likert Scale) แบ่งความพึงพอใจออกเป็น 5 ระดับ และนำค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) แปลความหมายของข้อมูลที่ได้ ซึ่งใช้เกณฑ์ในการให้คะแนนและการวิเคราะห์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงเกณฑ์และการแปลความหมาย

เกณฑ์การให้คะแนน		การแปลความหมาย
ระดับเกณฑ์	ระดับ	
4.21 – 5.00	ดีมาก	ระบบผู้เชี่ยวชาญที่พัฒนาขึ้นมีความพึงพอใจในระดับดีมาก
3.41 – 4.20	ดี	ระบบผู้เชี่ยวชาญที่พัฒนาขึ้นมีความพึงพอใจในระดับดี
2.61 – 3.40	ปานกลาง	ระบบผู้เชี่ยวชาญที่พัฒนาขึ้นมีความพึงพอใจในระดับปานกลาง
1.81 – 2.60	น้อย	ระบบผู้เชี่ยวชาญที่พัฒนาขึ้นมีความพึงพอใจในระดับพอใจ
1.00 – 1.80	น้อยมาก	ระบบผู้เชี่ยวชาญที่พัฒนาขึ้นมีความพึงพอใจในระดับควรปรับปรุง

4. ผลการดำเนินงานและผลการประเมิน

4.1 ผลการดำเนินงาน

การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อสนับสนุนการเดินระบบผลิตน้ำสำหรับโรงไฟฟ้านั้นได้ใช้เปลือกระบบผู้เชี่ยวชาญ Exsys Corvid ด้วยเทคนิคการอนุมานแบบไปข้างหน้า ซึ่งจะแบ่งสัญญาณแจ้งเตือนออกเป็น 6 กลุ่ม ตามหน้ากราฟฟิกที่แสดงบนหน้าจอ DCS (Distributed Control System) ดังนี้ 1). Activated Carbon Filter, 2). Cation Exchanger, 3). Anion Exchanger, 4.) Mixed Bed Exchanger, 5). Chemical Preparation และ 6). Neutralization Basin

ผู้ใช้งานจะต้องตอบคำถามทีละข้อจนครบตามกฎที่สร้างไว้จนในที่สุดระบบผู้เชี่ยวชาญจะแสดงข้อแนะนำสำหรับพนักงานเดินเครื่อง ดังรูปที่ 5

รูปที่ 5. แสดงตัวอย่างคำถามและคำแนะนำ

4.2 ผลการประเมินผล

การทดสอบความถูกต้องจะดำเนินการโดยให้ผู้เชี่ยวชาญซึ่งได้แก่พนักงานเดินเครื่องระบบผลิตน้ำที่มีประสบการณ์การทำงานจำนวน 4 คน โดยใช้วิธีการยกตัวอย่างปัญหา 20 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นการสมมุติสัญญาณแจ้งเตือนและข้อมูลต่างๆแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้วินิจฉัยเปรียบเทียบผลที่ได้จากระบบผู้เชี่ยวชาญ ผลการทดสอบพบว่า ระบบสามารถให้คำแนะนำได้ตรงกับผู้เชี่ยวชาญคิดเป็น 92.5% ตามสูตร (1)

การประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญโดยผู้เชี่ยวชาญ (พนักงานเดินเครื่องระบบผลิตน้ำ) จำนวน 4 คน และพนักงานเดินเครื่องตำแหน่งอื่น จำนวน 10 คน ด้วยการแสดงความคิดเห็นจากแบบสอบถามที่สร้างขึ้น สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

4.2 ทดลองใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญระหว่างปฏิบัติงาน

ระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปทดลองใช้ในระหว่างทำการผลิตน้ำโดยพนักงานเดินเครื่องระบบผลิตน้ำ เพื่อยืนยันการแก้ไขหากเกิดข้อสงสัยเมื่อเกิดสัญญาณแจ้งเตือน ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6. แสดงการทดลองการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 2. สรุปการประเมินความพึงพอใจ

หัวข้อประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ		พนักงานเดินเครื่อง ตำแหน่งอื่น	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
ความสามารถในการทำงานตามความต้องการของผู้ใช้งาน	4.00	0.00	4.20	0.42
ความง่ายในการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญ	3.75	0.50	4.10	0.56
ความเหมาะสมของคำถามและคำแนะนำ	3.75	0.50	4.10	0.31
ความเหมาะสมของส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน	4.25	0.50	4.20	0.42
ความเป็นประโยชน์ต่อการสอนงานพนักงานใหม่	4.25	0.50	4.40	0.51
ค่าเฉลี่ยโดยรวม	4.00	0.40	4.20	0.44

5. สรุป

ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อสนับสนุนการเดินระบบผลิตน้ำในโรงไฟฟ้า ที่พัฒนาด้วยเปลือกผู้เชี่ยวชาญ Exsys Corvid ด้วยเทคนิคการอนุมานแบบไปข้างหน้า (Forward Chaining) ซึ่งใช้การแทนความรู้แบบกฎ IF-THEN Rules จำนวนทั้งหมด 180 กฎ เมื่อนำระบบผู้เชี่ยวชาญมาทดสอบความถูกต้องเปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญพบว่ามีความถูกต้องคิดเป็น 92.5% และประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญพบว่า ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นพนักงานเดินเครื่องมีความพึงพอใจในการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับ ดี โดยได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในระดับ 0.40 ในส่วนความพึงพอใจของพนักงานเดินเครื่องตำแหน่งอื่นที่มีต่อการใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับดี เช่นกัน โดยได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในระดับ 0.44 และยังสามารถนำไปใช้ในการปฏิบัติงานระหว่างทำการผลิตน้ำได้

สรุปได้ว่าระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อสนับสนุนการเดินระบบผลิตน้ำในโรงไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีและยังเป็นประโยชน์ต่อพนักงานใหม่ในการเรียนรู้งานได้อีกทางหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] ณัฐพงษ์ วารีประเสริฐ, ณรงค์ ล่ำดี. ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence), กรุงเทพฯ: บริษัท เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด, 2552

[2] อรวรรณ ตันศิริเจริญกุล, ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวินิจฉัยฟอลต์ระบบไฟฟ้าของเครื่องตักวัสดุ สำหรับเหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2546.

[3] ธันย์ชนก ธูปเกิด, นฤมล แฝงสีคำ และนันท์นภัส เบญจมาศ, ระบบตรวจสอบอาการและบำรุงรักษารถยนต์เบื้องต้น, การประชุมวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 10; 665-670, 2557.

[4] อาทิตย์ ศรีแก้ว, ปัญญาเชิงคำนวณ (Computational Intelligence), กรุงเทพฯ: บริษัท จรัลสนิทวงศ์การพิมพ์ จำกัด, 2553

[5] Mitsubishi Heavy Industries, Gas Fired Combined Cycle Power Blocks Operation & Maintenance Manual Vol. 85

[6] ประเทือง สุขป้อม, การวิเคราะห์ความขัดข้องของระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางสำหรับโรงไฟฟ้าแม่เมาะโดยโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2550.

[7] M.H. Es-Saheb and I.M. Al-Harkan, An Expert System for Power Selection Using EXSYS-CORVID, Applied Sciences, Engineering and Technology 7(10): 1961-1977, 2014.

[8] จุฑามาศ เทียนสอาด และอรวรรณ อิ่มสมบัติ, ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวินิจฉัยและให้คำแนะนำผู้ป่วยไตวายเรื้อรังโดยใช้ฐานความรู้ออนโทโลยี, Journal of Information Science and Technology Vol.3 (2), Jul-Dec 2012.

[9] พัชราภรณ์ ราชประดิษฐ์, ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวินิจฉัยโรคข้าว, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2553.

การวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองต้นทุนการผลิตชาอัสสัม โดยการใช้ โปรแกรมเชิงเส้น: กรณีศึกษา วิสาหกิจกลุ่มผลิตภัณฑ์ชาและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศน์ศรีนาป่าน-ตาแวน จังหวัดน่าน

The Analyzing and Creating of Assam Tea Production Cost using Linear Programming Model: The Case Study of Srinapan – Tavan Small and Medium Enterprises, Nan.

พงศ์วิทย์ พรมสุวรรณ[1*] อโณทัย กล้าการขาย[2] เอกชัย แผ่นทอง[3] ปารวี ทะนันไชย [4]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา
E-mail: pongwit.pr@up.ac.th[*]

Pongwit Promsuwan[1*] Anothai Klakankhai[2] Aekachai Pantong[3] Parawee Thananchai[4]
[1,2,3,4]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Phayao, Phayao
E-mail: pongwit.pr@up.ac.th[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตชาอัสสัม และสร้างแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นพร้อมทั้งหาค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ กรณีศึกษา วิสาหกิจกลุ่มผลิตภัณฑ์ชาและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศน์ ศรีนาป่าน-ตาแวน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตชาอัสสัมพบว่า ต้นทุนบรรจุภัณฑ์ ต้นทุนแรงงาน ต้นทุนวัตถุดิบ และต้นทุนพลังงาน มีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 83.40 7.54 7.40 และ 1.66 ตามลำดับ และสามารถนำข้อมูลจริงที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตมาสร้างเป็นแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับการคำนวณหาต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดได้ โดยใช้โปรแกรม What'sBest! 13.0 รุ่นทดลองใช้ สร้างแบบจำลอง 3 กรณีคือ กรณีที่ 1 ใช้ข้อมูลจริงจากผู้ประกอบการ กรณีที่ 2 นำแบบจำลองจากกรณีที่ 1 มากำหนดวันทำงานรวมของแรงงานสูงสุด และกรณีที่ 3 นำแบบจำลองจากกรณีที่ 1 มากำหนดการรับซื้อชาสดปริมาณสูงสุด จากผลการทดลองพบว่า กรณีที่ 1 ได้ต้นทุนการผลิตเท่ากับต้นทุนการผลิตจริงของผู้ประกอบการ ในขณะที่กรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 แสดงต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ 1 ร้อยละ 43.18 และ 78.99 ตามลำดับ จากผลงานวิจัยนี้ผู้ประกอบการสามารถนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในการพิจารณาเพื่อการตัดสินใจให้เหมาะสมกับการวางแผนการผลิตที่ต้องการได้ในปีถัดไป

คำหลัก ชาอัสสัม ธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม การวิเคราะห์ต้นทุนทางอุตสาหกรรม โปรแกรมเชิงเส้น

Abstract

The objective of this research is analyzing production cost of Assam, creates linear programming model and finds Specific Energy Consumption in the case study of Srinapan – Tavan Small and Medium Enterprises, Nan. The results show packaging cost, labor cost, material cost and power cost have shares by 83.40, 7.54, 7.41 and 1.66 percentage of production cost by sequence. The data of real production can use to create linear programming model for estimated minimum production cost by What'sBest! 13.0 Trial version program which simulates 3 cases of production. The first case use real production data from manufacturer. The second case use model from first cases to set maximum working days. The third case use model from first

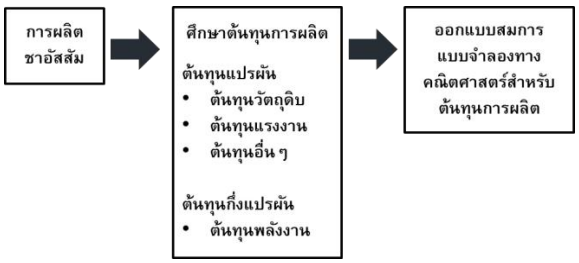
case to set maximum capacity of fresh tea which bought from agricultures. The results show the first case has estimate production cost which equals real production cost while the second case and the third case show production cost increase from the first case by 43.18 and 78.99 percent by sequence. From this research, manufacturers can use this model to consider for optimal planning decision for the next year.

Keyword: Assam Tea, Small and Medium Enterprises, Industrial Cost Analysis, Linear Programming

1. บทนำ

จากข้อมูล ณ สิ้นปี 2556 ระบุว่าไทยมีวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) จำนวนทั้งสิ้น 2,763,997 ราย มีมูลค่ารวม 4,454,939.6 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 37.4 ของมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) โดยในจำนวนนี้สาขาการผลิตที่มีมูลค่า GDP สูงสุด คือสาขาอาหารและเครื่องดื่ม โดยมีมูลค่ารวม 224,478.6 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 17.0 ของมูลค่ารวมของ SMEs ในภาคการผลิตรวม [1] แต่ในปัจจุบัน SMEs ยังคงมีปัญหาและอุปสรรค อาทิเช่น ความสามารถเชิงเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ยังอยู่ในระดับต่ำ ขาดความสามารถทางเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการและควบคุมการผลิต และการขาดมาตรฐานการจัดการทางการเงิน เป็นต้น [2]

และเนื่องด้วยวิสาหกิจกลุ่มผลิตภัณฑ์ชาและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศน์ ศรีนาป่าน-ตาแวน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน มีความต้องการทราบต้นทุนการผลิตชาอัสสัม ดังนั้นทางกลุ่มผู้วิจัยจึงได้ศึกษากระบวนการผลิตและแปรรูปผลิตภัณฑ์ชาอัสสัม และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับต้นทุนการผลิตชาอัสสัมเพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถวางแผนและควบคุมต้นทุนการผลิตได้ โดยกำหนดขอบเขตการวิจัยดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผังขอบเขตการวิจัย

แนวคิดจากการวิจัยจะได้จากกรณีศึกษาของจริยาภรณ์ และตะวันฉาย [3] ที่ศึกษาต้นทุนการผลิตเพื่อการจัดการโรงงานผลิตเนื้อสุกรในสังกัดหน่วยงานราชการ กรณีศึกษาของชุลีพร และกาญจนา [4] ที่ศึกษาต้นทุนในการผลิตอ้อยเพื่อป้อนเข้าสู่โรงงานของเกษตรกรในจังหวัดกาฬสินธุ์ กรณีศึกษาของวิลาสินี และรุ่งฉัตร [5] ที่วิเคราะห์ต้นทุนการสูญเสียในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และการศึกษาต้นทุนการผลิตของโรงงานผลิตสาหร่ายเซลเดียวของ Acién และคณะ [6] ทั้งนี้งานวิจัยดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งในการตอบสนองนโยบายทางภาครัฐที่ต้องการสนับสนุน SME

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ต้นทุนทางอุตสาหกรรม

ต้นทุน หมายถึง มูลค่าของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตหรือให้บริการ ในรูปแบบของเงินตรา โดยอาจอยู่ในรูปแบบของต้นทุนคงที่ ต้นทุนกึ่งแปรผัน และต้นทุนแปรผัน [7] ในส่วนของต้นทุนการผลิต จะสามารถจำแนกประเภทของต้นทุนตามรายจ่ายออกเป็น วัตถุดิบทางตรง แรงงานทางตรง และ ค่าโสหุ้ยการผลิต

2.2 โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming)

โปรแกรมเชิงเส้น คือ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ภายใต้เงื่อนไขหรือสภาวะข้อจำกัดต่างๆ ประกอบไปด้วยสมการและตัวแปรทางคณิตศาสตร์ [8] ได้แก่ สมการเป้าหมาย สมการข้อจำกัด ตัวแปรตัดสินใจ และข้อจำกัดของตัวปัญหา

2.3 ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC)

เป็นดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ภายในหนึ่งรอบการผลิตสำหรับใช้ในการวัดประสิทธิภาพ รวมถึงการควบคุมและติดตามการใช้พลังงานภายในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม [10] โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

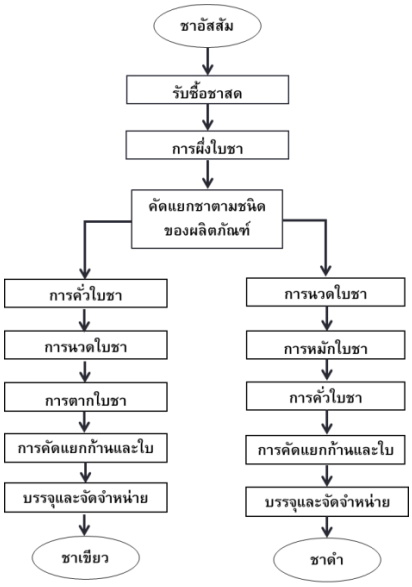
$$SEC = \frac{Energy\ Input}{Product\ Output} \qquad (2)$$

3. ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยมี 5 ขั้นตอนหลัก คือ ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของสถานประกอบการ วิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตชาอัสสัม ออกแบบสมการโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับต้นทุนการผลิต ทำการทดลองเพื่อจำลองการหาต้นทุนการผลิต และสรุปผล

4. ข้อมูลเบื้องต้นของสถานประกอบการ

วิสาหกิจกลุ่มผลิตภัณฑ์ชาและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศน์ ศรีนาป่าน-ตาแวน มีที่ตั้งอยู่ที่หมู่ที่ 1 ตำบลเรือง อำเภอเมือง จังหวัดน่าน ดำเนินธุรกิจแปรรูปชาอัสสัม [Camellia sinensis Var.assamica (Mast.)] [11] ประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ชาดำและชาเขียวแห้งสำเร็จรูปบรรจุซอง จัดจำหน่ายให้กับตัวแทนจำหน่ายและลูกค้ารายย่อย มีแรงงานทั้งหมด 9 คน ทำการผลิตตามฤดูกาลเก็บเกี่ยวชาอัสสัมสดคือตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – พฤศจิกายนของทุกปี โดยขั้นตอนกระบวนการผลิตชาสำเร็จรูปแสดงดังในรูปที่ 2

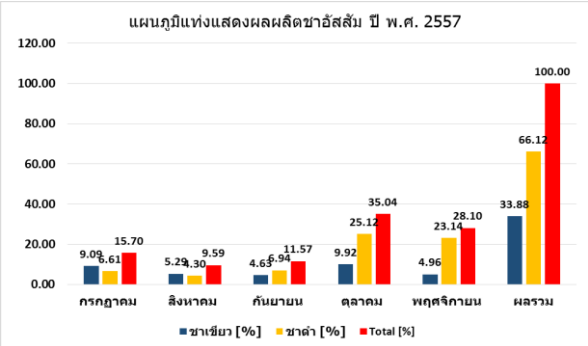


รูปที่ 2 แผนผังกระบวนการผลิตชาเขียวและชาดำ

จากรูปที่ 2 กระบวนการในขั้นตอนแรก คือ ซื้อใบชาอัสสัมสดจากเกษตรกรทั้งในและนอกเครือข่ายจำนวน 24 ราย ขั้นตอนที่ 2 นำใบชาสดมาผึ่งในร่มเพื่อลดปริมาณความชื้น ขั้นตอนที่ 3 ทำการคัดแยกใบชาเพื่อนำมาผลิตชาดำและชาเขียว และขั้นตอนที่ 4 คือการการผลิตชาดำและชาเขียว

5. ข้อมูลการผลิต

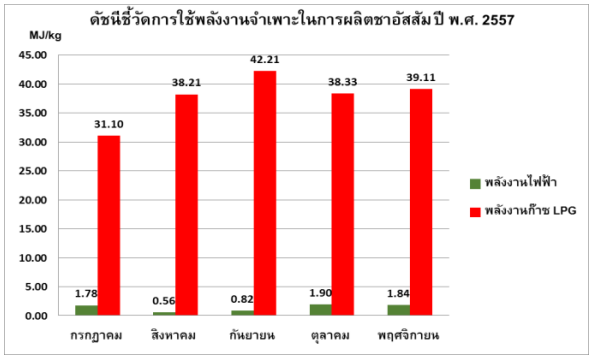
ประกอบไปด้วย ปริมาณการผลิตในแต่ละเดือน ปริมาณการซื้อวัตถุดิบชาสดในแต่ละเดือน จำนวนวันทำงานของแรงงานทั้งหมดในแต่ละเดือน ปริมาณการใช้พลังงาน โดยเมื่อพิจารณาตามฤดูกาลผลิตช่วงเดือนกรกฎาคม – พฤศจิกายน ปี 2557 จะได้ข้อสรุปดังนี้



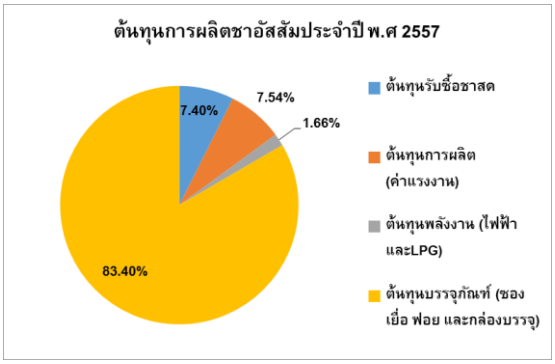
รูปที่ 3 กราฟข้อมูลการผลิตชาอัสสัมปี พ.ศ. 2557

กราฟในรูปที่ 3 ผลผลิตชาอัสสัมจำแนกเป็นชาเขียวร้อยละ 33.88 และชาดำร้อยละ 66.12 โดยเดือนที่มีการผลิตชาอัสสัมแห้งแปรรูปมากที่สุดคือเดือนตุลาคม คิดเป็นปริมาณ ร้อยละ 35.04 ของการผลิตชาอัสสัมทั้งหมด นอกจากนี้ปริมาณวัตถุดิบชาสดและปริมาณการผลิตชาแห้งจะสัมพันธ์กัน โดยเมื่อชาสดผ่านกระบวนการแปรรูปใบชาแห้งหลังการแปรรูปจะมีน้ำหนักลดลงคิดเป็นสัมประสิทธิ์ คือ 5.19

ด้านแรงงานสำหรับการผลิตประกอบไปด้วยแรงานจำนวนทั้ง 9 คน แบ่งเป็นพนักงานผลิต 2 คนและพนักงานบรรจุ 7 คน มีวันทำงานรวมทั้งสิ้น 213 วัน



รูปที่ 4 ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะปี พ.ศ. 2557



รูปที่ 5 กราฟสัดส่วนต้นทุนการผลิตชาอัสสัมประจำปี พ.ศ. 2557

สำหรับข้อมูลด้านการใช้พลังงาน สถานประกอบการได้ใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซแอลพีจีเป็นหลักในการผลิต ที่แสดงดังตารางพลังงานและดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ในรูปที่ 4 โดยพบว่าในเดือนสิงหาคมมีดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะพลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุดคือ 0.56 MJ/kg และในเดือนกรกฎาคมมีดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะก๊าซแอลพีจีต่ำที่สุดคือ 31.10 MJ/kg

6. ผลการวิจัย

6.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตชาอัสสัม

ต้นทุนการผลิตตามฤดูกาลการผลิตช่วงเดือนกรกฎาคม – พฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2557 ประกอบไปด้วย

ต้นทุนวัตถุดิบ (Material Cost) ได้แก่ ต้นทุนการรับซื้อชาอัสสัมสดจากเกษตรกร กิโลกรัมละ 20บาท

ต้นทุนแรงงาน (Labor Cost) ประกอบไปด้วยแรงงานแผนกผลิตจำนวน 2 คน และแรงงานแผนกบรรจุจำนวน 7 คน คิดค่าจ้างวันละ 300 บาทต่อคน

ต้นทุนบรรจุภัณฑ์ (Packaging Cost) ได้แก่ ต้นทุนกล่องบรรจุชาแห้งสำเร็จรูป คิดเป็น 46.75 บาทต่อกล่อง หรือ 1,168.75 บาท ต่อชาแห้ง 1 กิโลกรัม

ต้นทุนพลังงาน (Energy Cost) รวบรวมข้อมูลได้จากใบเสร็จของค่าไฟฟ้าและค่าก๊าซแอลพีจีในแต่ละเดือน โดยในปี พ.ศ. 2557 มีต้นทุนพลังงานเฉลี่ย 4.48 บาทต่อชาสด 1 กิโลกรัม

เมื่อนำต้นทุนการผลิตทั้งหมดมาแสดงในรูปแบบสัดส่วนดังกราฟในรูปที่ 5 พบว่าต้นทุนบรรจุภัณฑ์มีสัดส่วนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 83.40 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ตามด้วยต้นทุนแรงงาน ต้นทุนวัตถุดิบ และต้นทุนพลังงาน ที่มีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 7.54 7.40 และ 1.66 ของต้นทุนการผลิตตามลำดับ

6.2 การออกแบบแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับต้นทุนการผลิต

ในการสร้างแบบจำลองเชิงเส้น ทางกลุ่มผู้วิจัยเลือกใช้ตัวตัวแปรที่ควบคุมได้โดยประกอบไปด้วยปริมาณชาสดที่รับซื้อและจำนวนวันทำงานของแรงงาน กำหนดตัวแปรสำหรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

6.2.1 ดัชนี (Indices and sets)

T = ช่วงเวลาในการผลิต t = {1, 2, 3, ….,12}

I = เกษตรกรผู้ส่งวัตถุดิบชา i = {1, 2, 3, …., 24}

J = กลุ่มของพนักงาน $J = J_a \cup J_b$

J_a = พนักงานแผนกผลิต j = {1, 2}

J_b = พนักงานแผนกบรรจุ j = {3, …., 9}

6.2.2 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

X_i^t = ปริมาณวัตถุดิบชาที่รับซื้อจากเกษตรกรรายที่ i ในเดือนที่ t (กิโลกรัม)

Y_j^t = จำนวนวันทำงานของพนักงานคนที่ j ในเดือนที่ t (วัน)

P_k^t = ปริมาณผลิตภัณฑ์ชาชนิดที่ k ในเดือนที่ t (กิโลกรัม)

6.2.3 ค่าพารามิเตอร์ (Parameters)

De_k^t = ปริมาณความต้องการชาชนิดที่ k ในเดือนที่ t (กิโลกรัม)

$Cap1_i$ = ปริมาณวัตถุดิบชาที่สามารถรับซื้อได้จากเกษตรกรรายที่ i (กิโลกรัม)

$Cap2_t$ = ปริมาณวัตถุดิบชาที่ต้องการในเดือนที่ t (กิโลกรัม)

$Cost1_i$ = ต้นทุนสั่งซื้อวัตถุดิบชาจากเกษตรกรรายที่ i (บาท/กิโลกรัม)

$Cost2_j$ = ต้นทุนแรงงานของพนักงานคนที่ j (บาท/วัน)

$Cost3_k$ = ต้นทุนในการบรรจุภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม)

$Cost4$ = ต้นทุนพลังงานในการผลิตชา (บาท/กิโลกรัม)

$Rat1$ = อัตรากำลังการผลิตของพนักงานแผนกผลิตในแต่ละวัน (กิโลกรัม/วัน)

$Rat2$ = อัตรากำลังการผลิตของพนักงานแผนกบรรจุในแต่ละวัน (กิโลกรัม/วัน)

$Rat3$ = อัตราน้ำหนักชาที่ลดลงในการผลิต

WD_j^t = จำนวนวันทำงานสูงสุดของแรงงานคนที่ j ในเดือนที่ t (วัน)

6.2.4 สมการเป้าหมาย (Objective Function)

สมการเป้าหมายเพื่อกำหนดต้นทุนการผลิตรวมต่ำที่สุดจะแสดงได้ดังสมการที่ 3 ต่อไปนี้

$$Minimize Z = \sum_i \left(\text{Cost1}_i \sum_t X_i^t \right) + \sum_j \left(\text{Cost2}_j \sum_t Y_j^t \right) + \sum_k \left(\text{Cost3}_k \sum_t P_k^t \right) + \text{Cost4} \sum_t \sum_i X_i^t \quad (3)$$

6.2.5 สมการข้อจำกัด (Constraints)

ประกอบไปด้วย สมการของปริมาณวัตถุดิบชาที่รับซื้อได้จากเกษตรกรแต่ละราย โดยต้องไม่เกินความสามารถในการจัดหาได้ ดังสมการที่ 4

$$\sum_t X_i^t \le Cap1_i \qquad \forall_i \qquad (4)$$

ปริมาณวัตถุดิบชาที่รับซื้อได้รวมในแต่ละเดือนที่ต้องเท่ากับความต้องการของโรงงานในแต่ละเดือน แสดงดังสมการที่ 5

$$\sum_i X_i^t = Cap2_t \qquad \forall_t \qquad (5)$$

ในส่วนของกำลังการผลิตของแผนกผลิตและแผนกบรรจุในแต่ละเดือน จะแสดงดังสมการที่ 6 และ 7 ตามลำดับ โดยกำลังการผลิตทั้งสองแผนกต้องสอดคล้องกับจำนวนวันทำงานของพนักงาน

$$Rat1 \sum_{j \ge 1}^{2} Y_j^t \ge \sum_i X_i^t \qquad \forall_t \qquad (6)$$

$$Rat2 \sum_{j \ge 3}^{9} Y_j^t \ge \sum_i X_i^t \qquad \forall_t \qquad (7)$$

จำนวนวันทำงานของแรงงานทั้งแผนกผลิตและแผนกบรรจุจะต้องไม่เกินวันทำงานสูงสุดดังสมการที่ 8

$$\sum_{j \ge 1}^{9} Y_j^t \le \sum_j WD_j^t \qquad \forall_t \qquad (8)$$

ปริมาณผลิตภัณฑ์ชาแต่ละชนิดที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน แสดงดังสมการที่ 9

$$Rat3 \sum_i X_i^t = \sum_k P_k^t \qquad \forall_t \qquad (9)$$

และสมการที่ 10 คือปริมาณการผลิตชาที่ต้องเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าได้ในแต่ละเดือน

$$P_k^t = De_k^t \qquad \forall_t \qquad (10)$$

โดยที่

$$X_i^t \ge 0 \qquad (11)$$

$$Y_j^t, P_k^t \ge 0 \text{ and integer} \qquad (12)$$

6.3 ผลการทดสอบแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น

การทดสอบแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น ใช้การจำลองการหาต้นทุนการผลิตชาอัสสัมในระหว่างเดือนกรกฎาคม – พฤศจิกายน โดยใช้โปรแกรม What'sBEST! เวอร์ชั่น 13.0 รุ่นทดลองใช้งาน ที่สามารถประมวลผลข้อจำกัด (Constraint) ได้ถึง 150 ชุด และประมวลผล Adjustable ได้ถึง 300 ตัว ทำการจำลองออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 จำลองโดยใช้ข้อมูลจริงจากสถานประกอบการ กรณีที่ 2 จำลองจากการกำหนดวันทำงานรวมของแรงงานสูงสุด และกรณีที่ 3 จำลองจากการรับซื้อวัตถุดิบชาสดปริมาณสูงสุด พร้อมทั้งกำหนดให้มีตัวแปรควบคุมได้ 2 ชนิด คือ ปริมาณใบชาสดที่รับซื้อจากเกษตรกร และจำนวนวันทำงานของพนักงานผลิตและบรรจุ โดยกำหนดจำนวนพนักงานเท่าเดิมคือ 9 คน

ในขณะที่ต้นทุนพลังงานและต้นทุนบรรจุภัณฑ์เป็นตัวแปรตาม ผลการประมวลผลจะแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประมวลผลต้นทุนการผลิตชาอัสสัมจากข้อมูลระหว่างเดือนกรกฎาคม-กรกฎาคม ปี 2557 ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม What'sBEST!

แบบจำลองกรณีที่	ปริมาณชาสดที่รับซื้อ (กก.)	จำนวนวันทำงาน (วัน)	ผลผลิต (กก.)	ต้นทุนเพิ่มขึ้น
1	3,140	213	605	-
2	4,496	305	866	43.18%
3	5,620	381	1,083	78.99%

จากผลการจำลองในกรณีที่ 1 พบว่าต้นทุนการผลิตจากการประมวลผลเท่ากับต้นทุนการผลิตจริงจากผู้ประกอบการ ในขณะที่ผลการจำลองในกรณีที่ 2 พบว่าเมื่อกำหนดให้อิงวันทำงานสูงสุดในแต่ละเดือนของแรงงานแต่ละคนในปี พ.ศ. 2557 จะได้วันทำงานรวมคือ 305 วัน สามารถผลิตชาอัสสัมแห้งปริมาณสูงสุดคือ 866 กิโลกรัม โดยต้องจัดซื้อวัตถุดิบชาสด 4,496 กิโลกรัม และมีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 43.18 แต่ในกรณีที่ 3 เมื่อกำหนดให้ทำการซื้อวัตถุดิบชาสดในปริมาณสูงสุดคือที่ 5,620 กิโลกรัม จะต้องเพิ่มวันทำงานเพื่อทำการผลิตชาอัสสัมแห้งเป็น 381 วัน โดยสามารถผลิตชาอัสสัมแห้งได้ 1,083 กิโลกรัม และมีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 78.99 นอกจากนี้การประมวลผลแบบจำลองกรณีที่ 3 ได้ใช้ข้อจำกัดสูงที่สุดถึง 110 ชุด และมี Adjustable 165 ตัว

7. สรุป

จากการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตชาอัสสัมในปี พ.ศ. 2557 ดังกราฟในรูปที่ 5 พบว่า ต้นทุนบรรจุภัณฑ์มีสัดส่วนมากที่สุด ดังนั้นผู้ประกอบการควรเลือกลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์ก่อนเป็นอันดับแรก เพื่อลดต้นทุนการผลิต

ในส่วนของแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น ผู้ประกอบการสามารถนำแบบจำลองมาใช้วิเคราะห์หาต้นทุนและวางแผนการผลิตได้ทั้ง 3 กรณี คือกรณีที่ใช้ข้อมูลการผลิตจริง กรณีที่ให้มีจำนวนวันทำงานรวมสูงสุด และกรณีที่มีการรับซื้อหรือใช้วัตถุดิบปริมาณสูงสุดในการผลิต ทั้งนี้ผู้ประกอบการสามารถนำผลที่ได้จากแบบจำลองมาพิจารณาปรับปริมาณการซื้อวัตถุดิบและจำนวนวันทำงานได้ตามความต้องการ

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนางานวิจัยนี้ในโอกาสต่อไปคือ การนำแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นไปทดลองวางแผนการผลิต โดยใช้ข้อมูลจากการผลิตจริงของผู้ประกอบการ SMEs และพัฒนาหรือปรับปรุงแบบจำลองเพื่อให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนข้อมูลจากวิสาหกิจกลุ่มผลิตภัณฑ์ชาและส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศน์ ศรีนาป่าน-ตาแวน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน

บรรณานุกรม

[1] สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.), รายงานสถานการณ์ SMEs ปี 2557, ข้อมูลจาก http://www.sme.go.th/th/index.php/data-alert/alert/report-smes-year/report-year/report-year-2557 (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 กุมภาพันธ์ 2558)

[2] **บรรษัทประกันสินเชื่ออุตสาหกรรมขนาดย่อม (บสย.),** สถิติจำนวน SMEs ในประเทศไทย 2557, ข้อมูลจาก http://www.tcg.or.th (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 กุมภาพันธ์ 2558)

[3] จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์ และ ตะวันฉาย โพธิ์หอม, การจัดการต้นทุนการผลิตโรงงานผลิตเนื้อสุกร, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2555, 17 – 19 ตุลาคม 2555

[4] ชุลีพร กุศลคุ้ม และ กาญจนา เศรษฐนันท์, การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตอ้อยเข้าสู่โรงงานของชาวไร่อ้อยรายย่อยในเขตพื้นที่ตาบลบัวขาว อาเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2555, 17 – 19 ตุลาคม 2555

[5] วิลาสินี สินันตา และ รุ่งฉัตร ชมพูอินไหว, การประยุกต์ใช้เทคนิคบัญชีต้นทุนการไหลของวัสดุอุตสาหกรรมสิ่งทอ, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2557, 30 – 31 ตุลาคม 2557

[6] F.G. Acién, J.M. Fernández, J.J. Magán and E. Molina, Production cost of a real microalgae

production plant and strategies to reduce it, Biotechnology Advances 30 (2012) 1344–1353

[7] จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์, การวิเคราะห์ต้นทุนอุตสาหกรรมและการจัดทำงบประมาณ, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 3, 2552

[8] รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ, เอกสารประกอบการสอน Linear Optimization, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552

[9] บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์, การวางแผนและควบคุมการผลิต, สำนักพิมพ์ท้อป, 2552

[10] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, หน่วยพลังงานและการแปลงหน่วย, ข้อมูลจาก http://km.eppo.go.th/resources/uploaded/9/201307151373840422879 3.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 เมษายน 2558)

[11] สถาบันชา มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, ความรู้เกี่ยวกับชา, ข้อมูลจาก http://teainstitutemfu.com (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 กันยายน 2557)

Minimizing Three Objectives in Flexible Job Shop Scheduling Problems

Thiarat Sootsuk*, Warisa Wisittipanich
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
239 Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai, Thailand, 50200
E-mail: thiarat_s@cmu.ac.th*, warisa@eng.cmu.ac.th

Abstract
This paper addresses the flexible job shop scheduling problem (FJSP) which is an extension of a classical job shop scheduling (JSP). In FJSP environment, an operation of each job is allowed to be processed on one machine selected from a set of available machines, and some machine stations are allowed to be visited more than once or not at all. The mathematical model of the problem is first presented. The objective of the study is to separately minimize three objective functions; the maximal completion time of machines (makespan), the total workload of machines, and the maximal machine workload. Then, LINGO optimization software is used to find the optimal solutions of FJSP benchmark instances for three objective aspects.
Keywords: Mathematical Modeling, Scheduling, Flexible Job Shop

1. Introduction

Scheduling is the problem of allocating limited resources to different tasks over a period of time. It is a decision making process that plays an important role in most manufacturing and service industries (Pinedo, 2008) [1].

Flexible Job Shop Scheduling Problem (FJSP) is an extension of the classical Job Shop Scheduling Problem (JSP) which reduces some constraints of machines but FJSP is more realistic than JSP in manufacturing environment. The FJSP allows an operation for each job to be processed on one machine selected from a given set of alternative machines. Moreover, some machine stations are allowed to be visited more than once or not at all. As a result, FJSP is more complex than classical JSP because of the additional need to determine the assignment of machine for each operation. FJSP consists of two sub-problems of routing and scheduling. The routing sub-problem assigns each operation to a machine among a set of capable machines authorized for each job. The scheduling sub-problem involves sequencing the operations assigned to the machines in order to obtain a feasible schedule which optimizes a certain objective function. In FJSP, a machine is more flexible and capable of operating multi-tasks of jobs. Consequently, it is possible that too much workloads are allocated to one single machine. Since most of scheduling researches focus on minimizing makespan, this paper also considers resource constraint in addition to makespan in order to balance a machine workload and minimizing total workload of all machines (Chan et al., 2006) [2].

The remainder of the paper is organized as follows. The literature reviews are provided in section 2. In section 3, the problem formulation and notation of FJSP are described. Section 4 shows the computational results. Finally, section 5 provides conclusions and scope for future research.

2. Literature review

Scheduling plays an important role in most manufacturing and service industries. JSP is well-known as one of the most

difficult scheduling models (NP-*hard* (Garey, 2006) [3]) that has been subject of many researches. JSP consists of scheduling a set of jobs on a set of machines and each job has specific processing order through all machines, which are fixed and known in advance. But FJSP is more suited to practical job shops because most machines can perform more than one task types. Moreover, in the FJSP, jobs can be transferred to other machines when a machine is breakdown. Therefore it can avoid blocking and production interruptions (Chiang and Lin, 1993) [4]. Makespan is the most typically criteria applied to the FJSP research e.g. Fattahi et al. (2007) [5]. Karthikeyen and Asokan (2014) [6] and Li et al. (2010) [7] studied FJSP by add resource constraint to be the objective functions that is minimize the workload of the critical machine and the total workload of all machines.

Normally, solution methods applied to solve the FJSP can be divided into two categories 1) Exact approaches such as branch and bound and 2) Approximation approaches such as heuristics approach, genetic algorithm, differential evolution, and tabu search.

Exact approach is a method that can obtain optimal solution. Fattahi et al. (2007) [5] and Woon and Salim (2004) [8] applied branch and bound method by using Lingo software, and Rosha (2012) [9] used Cplex to solve the FJSP. Exact approach is proved to be an efficient method to solve FJSP in small-scale instances. While approximation approaches do not guarantee to achieve exact solutions, they are capable to attain near-optimal solutions within reasonable computing times (Wisittipanich and Kachitvichyanukul, 2011) [10]. Wang et al. (2012) [11] proposed an enhanced pareto-based artificial bee colony (EPABC) algorithm to solve the multi-objective FJSP which demonstrate its effectiveness in term of quality. Mohammad Saidi and Fattahi (2007) [12] presented a tabu search algorithm and compare computational results with the result from Lingo. The computational results indicated that the proposed algorithm can find optimal solutions in a short computational time for small and medium size problems.

Since there are few research works considering FJSP with resource constraints when compared with researches on minimizing makespan. Thus, this paper studies FJSP with two resource constraints in additional to makespan in order to minimize three objective functions;

1) The maximal completion time of machine (C_M)

2) The maximal machine workload (W_M) which considers the workload balance among all machines to prevent too much work been assigned to a single machine.

3) The total workload of all machines (W_T) which is of interest assigning the machine with relative small processing time for each operation to improve economic efficiency.

In this study, Lingo software is applied to solve FJSP three objectives separately.

3. Problem formulation

FJSP can be described as follows. There are m machine and n jobs. Each job $(1 \le j \le n)$ consists of a sequence of n_j operations. Each operation, O_{jl} of job can be processed by any machine m_i in the set of eligible machines. In FJSP, it needs to determine both the assignment of machines and the sequence of operations on all the machines to optimize certain scheduling objectives. An example of FJSP with 3 jobs and 2 machines is shown in table 1.

Table 1 FJSP with 3 jobs and 2 machines

Job no.	Operation	Processing Time	
		Machine 1	Machine 2
1	1	2	-
	2	3	2
2	1	4	5
	2	1	2
3	1	-	5

The hypotheses of FJSP are described as follows Karthikeyen and Asokan (2014) [6]:

1. There is no operation order constraint between different jobs.
2. Different jobs have the same priority.
3. All the jobs can be processed at the starting time of scheduling.
4. Setup time and transfer time are included in the processing time.

The mathematical model used in this study is referred to research work in Rosha (2012) [9] which was named as MILP5, and it is formulated as follows:

Indices

j,h	Indices for jobs where $j,h=1,2,...,n$
l,z	Indices for operations of job $l,z=1,2,...,n_j$
i	Indices for machines where $k=1,2,...m$
n	Number of jobs
n_j	Number of operations
m	Number of machines

Parameters

O_{jl}	$l(th)$ operation of job j
P_{jli}	Processing time of O_{jl} on machine i
e_{jli}	Binary variable taking value: 1 if machine i can process O_{jl} 0 otherwise
X_{jlhz}	Binary variable taking value: 1 O_{jl} is processed after O_{hz} 0 otherwise
C_{jl}	Completion time of O_{jl}
C_i	Completion time on machine i
W_i	Total workload on machine i
M	Large number

Decision Variable

Y_{jli}	Binary variable taking value: 1 O_{jl} is processed on machine i 0 otherwise

Objective function

$$Min = C_{\max} \quad (1)$$

$$Min = \max_{1\le i\le m}(W_i) \quad (2)$$

$$Min = \sum_{i=1}^{m} W_i \quad (3)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{m} Y_{jli} = 1 \qquad \forall j,l \quad (4)$$

$$Y_{jli} \le e_{jli} \qquad \forall j,l,i \quad (5)$$

$$C_{jl} \ge C_{j(l-1)} + \sum_{i}^{m}(Y_{jli}\cdot P_{jli}) \qquad \forall j,l \quad (6)$$

$$C_{jl} \ge C_{hz} + P_{jli} - M\cdot(3 - X_{jlhz} - Y_{jli} - Y_{hzi}) \quad (7)$$
$$\forall j<n, l; h>j, z; i$$

$$C_{hz} \ge C_{jl} + P_{hzi} - M\cdot(X_{jlhz} + 2 - Y_{jli} - Y_{hzi}) \quad (8)$$
$$\forall j<n, l; h>j, z; i$$

$$C_{\max} \ge C_{j,n_j} \qquad \forall j \quad (9)$$

$$C_{jl} \ge 0 \qquad \forall j,l \quad (10)$$

where $C_{j0} = 0 \qquad \forall j \quad (11)$

Equations (1) to (3) are objective functions. Equation (4) states that one machine could be selected from the set of capable machines for each operation. Equation (5) ensures the machine i can process O_{jl} only if machine i is capable process the job. Equation (6) expresses the sequence of each operation. Equation (7), (8) ensure that each machine could process only one operation at each time. Equation (9) and (10) are the completion time constraints.

4. Computational Experiments

This section demonstrates the computational results of the experiments. In order to conduct the experiment, Lingo is implemented on AMD A6-3400M 1.4GHz processor with 8GB RAM memory. The problem instances are obtained from Fattahi et al. (2007) [5] which involve two sections: 10 instances of small size problem (SFJS1-10) and 10 instances of medium size problem (MFJS1-10). The problem size (*i.j.l*) is determined by *number of machines. number of jobs. number of operations*.

Table 2 Comparison results of makespan $(C_{\max})$

Problem No.	Size	Makespan, (C_M) [5]		Makespan, (C_M) LINGO	
		CPU time (s)	$C_{\max}$	CPU time (s)	$C_{\max}$
SFJS1	2.2.2	0	66	0	66
SFJS2	2.2.2	0	107	0	107
SFJS3	3.2.2	7	221	3	221
SFJS4	3.2.2	11	355	3	355
SFJS5	3.3.2	87	119	16	119
SFJS6	3.3.2	129	320	7	320
SFJS7	3.3.5	135	397	1	397
SFJS8	3.3.4	116	253	44	253
SFJS9	3.3.3	319	210	15	210
SFJS10	4.3.5	510	516	2644	516
MFJS1	5.3.6	>3600	-	>3600	-
MFJS2	5.3.7	>3600	-	>3600	-
MFJS3	6.3.7	>3600	-	>3600	-
MFSJ4	7.3.7	>3600	-	>3600	-
MFJS5	7.3.7	>3600	-	>3600	-
MFJS6	8.3.7	>3600	-	>3600	-
MFJS7	8.4.7	>3600	-	>3600	-
MFJS8	9.4.8	>3600	-	>3600	-
MFJS9	11.4.8	>3600	-	>3600	-
MFJS10	12.4.8	>3600	-	>3600	-

*Problem size (*i.j.l*)

Table 2 illustrates the makespan results obtained from Lingo and those obtained from Fattahi et al. (2007) [5]. Thus the LINGO can be validated. The experimental results indicate that Lingo is an effective method to solve only small size problems because when problem size increases, it consumes more time to find optimal solution or cannot find optimal solution within reasonable times.

Next, the experiment on this mathematical model is extended to find solutions for the other two objectives; maximal machine workload (W_M) and total workload of all machines (W_T). The experimental results of W_M and W_T are shown in Table 3.

Table 3 Experimental results of (W_M) and (W_T)

Problem No.	Size	CPU time (s)	W_M	CPU time (s)	W_T
SFJS1	2.2.2	0	78	0	115
SFJS2	2.2.2	0	114	0	171
SFJS3	3.2.2	1	221	0	424
SFJS4	3.2.2	1	355	0	662
SFJS5	3.3.2	0	119	0	203
SFJS6	3.3.2	0	250	0	667
SFJS7	3.3.5	0	220	0	899
SFJS8	3.3.4	7	166	0	563
SFJS9	3.3.3	7	160	0	447
SFJS10	4.3.5	19	361	0	1537
MFJS1	5.3.6	481	320	1	1610
MFJS2	5.3.7	432	312	0	1603
MFJS3	6.3.7	704	395	1	1991
MFSJ4	7.3.7	2137	461	3	2505
MFJS5	7.3.7	2216	456	2	2391
MFJS6	8.3.7	4177	560	3	2996
MFJS7	8.4.7	>3600	-	10	4101
MFJS8	9.4.8	>3600	-	28	4621
MFJS9	11.4.8	>3600	-	35	5905
MFJS10	12.4.8	>3600	-	69	6849

*Problem size (*i.j.l*)

According to table 3, Lingo is able to find optimal solutions for all instances in minimizing total workload of all machines. However, it cannot find solutions for large-size problems in minimizing maximal machine workload. This can be explained that in minimizing total workload of all machines, it is easy for the model to assign each operation to a machine which has the smallest processing time. Nevertheless, in minimizing maximal machine workload, the model attempts to balance workload among all machines which makes the problems more complex. As a result, it starts to take long computation time to find a solution for MFJS4. When the problem size increases to MFJS7, it takes computational time more than 3600 seconds and cannot find the optimal solution for the rest of medium instances (MFJS8-10).

As mentioned above, Lingo is an effective method to find optimal solution for only small problem size. However, when the size of problem increases, Lingo tends to take longer computational time to find optimal solutions. Moreover, when the

problem size becomes large enough, Lingo cannot find optimal solutions except for the case of minimizing total workload of all machines because it is easy to choose the machine with smallest processing time.

5. Summary

This paper studies scheduling problems on flexible job shop environment. Most of research focuses on makespan. But in realistic, resource constraint is one of the important criteria that should be considered. Thus in this paper we add two resource constraints to be objective functions into the model and find optimal solutions separately for each objective function by the use of Lingo. The results show that Lingo can solve only small size problem and the computational time also grows exponentially with increased problem size. Moreover, in scheduling, considering only single objective is not close enough to realistic. This paper presents the first phase of research work where three objectives are minimized separately. The ongoing work, a meta-heuristics with pareto optimality approach will be applied for solving multiple objectives in FJSP simultaneously.

References

[1] Pinedo, M. L., Theory, Algorithm and Systems, Prentice-Hall, 2008

[2] Chan, FTS., Wong, TC., and Chan, LY., “Flexible job-shop scheduling problem under resource constraints”, Int J Prod Res, Vol.44(11), pp.2071-2089, 2006

[3] Garey, M. R., Johnson, D. S., and Sethi, R., “The Complexity of Flowshop and Jobshop Scheduling”, Mathematics of Operations Research, Vol.1, pp.117-129, 1976

[4] Chiang, TC., and Lin HJ., “A simple and effective evolution algorithm for multi-objective flexible job shop scheduling”, Int J Prod Econ, Vol.141(1), pp.87-89, 1993

[5] Fattahi, P., Mohammad Saidi, M. and Jolai, F., “Mathematical modeling and heuristic approaches to flexible job shop scheduling problem”, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol.18, pp.331-342, 2007

[6] Karthikeyen, S., Asokan, O., and Nickolas, S., “A hybrid discrete firefly algorithm for multi-objective flexible job shop scheduling problem with limited resource constraints”, The International Journal of Advanced Manufacuring Technology, Vol.72, pp.1567-1579, 2014

[7] Li, J.-Q., Pan, Q.-K., and Liang, Y.-C., “An effective hybrid tabu search algorithm for multi-objective flexible job-shop scheduling problems”, Computer & Industrial Engineering, 59, 647-662, 2010

[8] Woon, T. H. and Salim S., “A branch and boubd and simulatred annealing approach for job shop scheduling, Mathematika, Vol.20, pp.1-17, 2004

[9] Rosha, V., “Mathematical modeling and optimization of job shops scheduling problem”, M.S. Thesis, Industrial and Manufacturing Systems Engineering, University of Windsor, Ontario, Canada, 2012

[10] Wisittipanich, W., and Kachitvichyanukul, V., “Differential evolution algorithm for makespan minization in flexible job shop scheduling problem”, In: Proceeding of the 12th Asia Pacific industrial engineering and management systems conference, Beijing, China, 2011

[11] Wang, L., Zhou, G., Xu, Y. and Liu, M.,” An enhanced Pareto-based artificial bee colony algorithm for the multi-objective flexible job-shop scheduling, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.60, pp.1111-1123, 2012

[12] Mohammad Saidi, M. and Fattahi, P., “Flexible job shop scheduling with tabu search algorithms”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.32, pp.563-570, 2007

แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมสำหรับปัญหาเส้นทางการเดินรถ กรณีศึกษาบริษัท สุวรรณไพศาลขนส่งจำกัด

A Mixed Integer Linear Programming for Vehicle Routing Problem Case Study Suwanpaisan Transportation

คเณศ พลอยดนัย[1*] กรเกล้า ฐิติกุล[2], พรศิริ สัตยเศารยะ[3], ธรินี มณีศรี [4]
[1,2,3]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
[4]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: kanate.engineer@gmail.com[*]

Kanate Ploydanai[1*] Kornkaow Thitikul[2], Pornsiri Sattayasaoraya[3], Tharinee Maneesri[4]
[1,2,3]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
[4]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University
E-mail: kanate.engineer@gmail.com[*]

บทคัดย่อ
งานวิจัยฉบับนี้มีจัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอวิธีแก้ปัญหา Vehicle Routing problem (VRP) กรณีศึกษาบริษัท สุวรรณไพศาล ขนส่ง จำกัด งานวิจัยฉบับนี้แก้ปัญหาโดยใช้เครื่องมือสองชนิดคือ แบบจำลองจำนวนเต็มผสมเชิงเส้น (MILP) และเสริมด้วย visual basic application (VBA) บน Ms-excel การแก้ปัญหา แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลักๆ ขั้นตอนแรกจะใช้ VBA ค้นหาระยะทางระหว่างเมืองต่างๆ โดยจะใช้ VBA จัดส่งพิกัด GPS ผ่าน internet explorer ไปยัง google เพื่อขอระยะทาง ในขั้นตอนที่สอง ผู้วิจัยทำการสร้าง แบบจำลอง VRP เพื่อแก้ปัญหา โดยเป้าหมายหลักคือการหาค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดอันเกิดจาก การเลือกรถแต่ละประเภท และเส้นทางการขนส่งของรถ คำตอบที่เหมาะสมจะถูกค้นหาด้วย Gurobi premium solver บน MS-excel โดยทั่วไปคำตอบที่เหมาะสมคำตอบที่ได้มักเกิด sub contour ขึ้น ดังนั้นขั้นตอนสุดท้ายคือการพัฒนาขั้นตอนวิธีการในการค้นหา sub contour ในรถแต่ละคันและ แล้วสร้างสูตรแก้ sub contour แบบอัตโนมัติ แล้วโปรแกรมจะสั่ง Gurobi premium solver แก้ปัญหาให้จนกว่าจะได้คำตอบที่เหมาะสมโดยไม่เกิด sub contour ผลการทดลองสรุปว่าคำตอบที่ได้สามารถนำไปใช้หาเส้นทางการขนส่งให้สุวรรณไพศาล เพื่อทดแทนการใช้ประสพการณ์ของพนักงานได้และรวดเร็วกว่าการจัดด้วยพนักงาน นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการหาคำตอบมักจะเกิด sub contour ขึ้นเป็นจำนวนมาก ยากที่ผู้วางแผนจะสร้างสมการแก้ sub contour เองโดยตรง การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ค้นหาและแก้ contour มีความสะดวกรวดเร็วกว่าถึงแม้จะเขียนโปรแกรมได้โดยยาก
คำหลัก: การขนส่งแบบ Milk Run, ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ, แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม

Abstract
This paper aims to solve Vehicle Routing problem (VRP) with Suwanpisarn Company case study. To solve the problem, this paper employs two item including mixed integer linear model (MILP) and visual basic application

(VBA) on the MS-excel. There are three steps to find the solution the first step to use VBA to find the distance between cities. VBA sends GPS coordinates VBA to google by using internet explorer. After that, VBA receive distance from Google. In the second steps researcher creates VRP model to solve problems. The objective function is to find the lowest cost from selection of vehicles and the routing of vehicles. The optimal solution is discovered by Gurobi premium solver on MS-excel. Typically, the optimal solution that is discovered always include sub contour. So, the final step is to develop an algorithm to search the sub contour of vehicle and create a formula to eliminate the sub contour automatically. Next the program commands Gurobi premiums to find optimal solution until the solution is without sub contour. The study indicates that the solution can apply for the transportation of Suwanpisarn Company to replace the experience of the staff and the program is faster than the staff. In addition, the results also show that there are many sub contours when determining the optimal solution. It is difficult to eliminate sub contour by human and it is easy by program ,however; program is hard to develop.
Keywords: Milk Run, Vehicle Routing Problem (VRP), Mixed Integer Linear Programming Model (MILP)

1.บทนำ

การบริหารจัดการด้านการขนส่ง(Transportation Management)เป็นกิจกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่งในระบบการจัดการโลจิสติกส์ (Logistics Management) จากการที่ต้นทุนการขนส่งมีมูลค่าสูงที่สุดในต้นทุนโลจิสติกส์รวม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่น้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาแพง จึงจำเป็นที่จะต้องมีระบบบริหารจัดการที่ดีและมีประสิทธิภาพเพื่อลดต้นทุนโลจิสติกส์ให้ต่ำลง[1] เนื่องจากความผันผวนทางเศรษฐกิจส่งผลให้ราคาน้ำมันหรือค่าเชื้อเพลิงมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหากระยะทางการขนส่งมาก ส่งผลให้ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ถ้าเราสามารถลดระยะทางลงได้เท่ากับเราสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งได้ด้วยเช่นกัน งานวิจัยฉบับนี้ ได้ศึกษาปัญหาจากบริษัท สุวรรณไพศาลขนส่ง จำกัด เป็นบริษัทที่ให้บริการขนส่งสินค้าทั่วประเทศ สินค้าที่ขนส่งในงานวิจัยนี้จะเป็นสินค้าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน(Home Appliances ; HA) มีรูปแบบการขนส่งเป็นแบบ Milk Run การทำงานในปัจจุบันจะมีจัดการจัดเส้นทางการเดินรถและการเลือกประเภทของรถที่ใช้ในการขนส่งสินค้าด้วยระบบ Manual ซึ่งอาจจะได้เส้นทางและระยะทางที่ไม่เหมาะสม ส่งผลต่อให้ต้นทุนของการขนส่งสินค้าเพิ่มสูงขึ้น จากปัญหาดังกล่าวจึงเกิดแนวความคิดการสร้างแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม(Mixed Integer Linear Programming Model ; MILP) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซลล์โซลเวอร์-กูโรบิมาช่วยในการคำนวณหาเส้นทางการเดินรถให้มีระยะทางการขนส่งรวมน้อยสุด ,คำนวณประเภทรถและจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้เหมาะสมกับปริมาณสินค้า เพื่อลดต้นทุนที่เกิดจากค่าเชื้อเพลิงในการเดินทางขนส่งสินค้าและใช้รถได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังได้คำตอบที่มีความเหมาะสม (Optimal Solution) กว่าการจัดงานแบบ Manual ที่ทางบริษัทได้ทำอยู่ในปัจจุบัน ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ โดยพิจารณาจากรูปแบบการศึกษาที่มีลักษณะใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ จากการศึกษาดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ งานวิจัยที่ใช้แนวความคิดรูปแบบการขนส่งแบบ Milk Run [2,3,4,5] งานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem : VRP) [6,7] งานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางแบบ Traveling Salesman Problem (TSP) [8,9,10] และงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการเดินทางแบบ Multiple Traveling Salesman Problem (mTSP) [11]

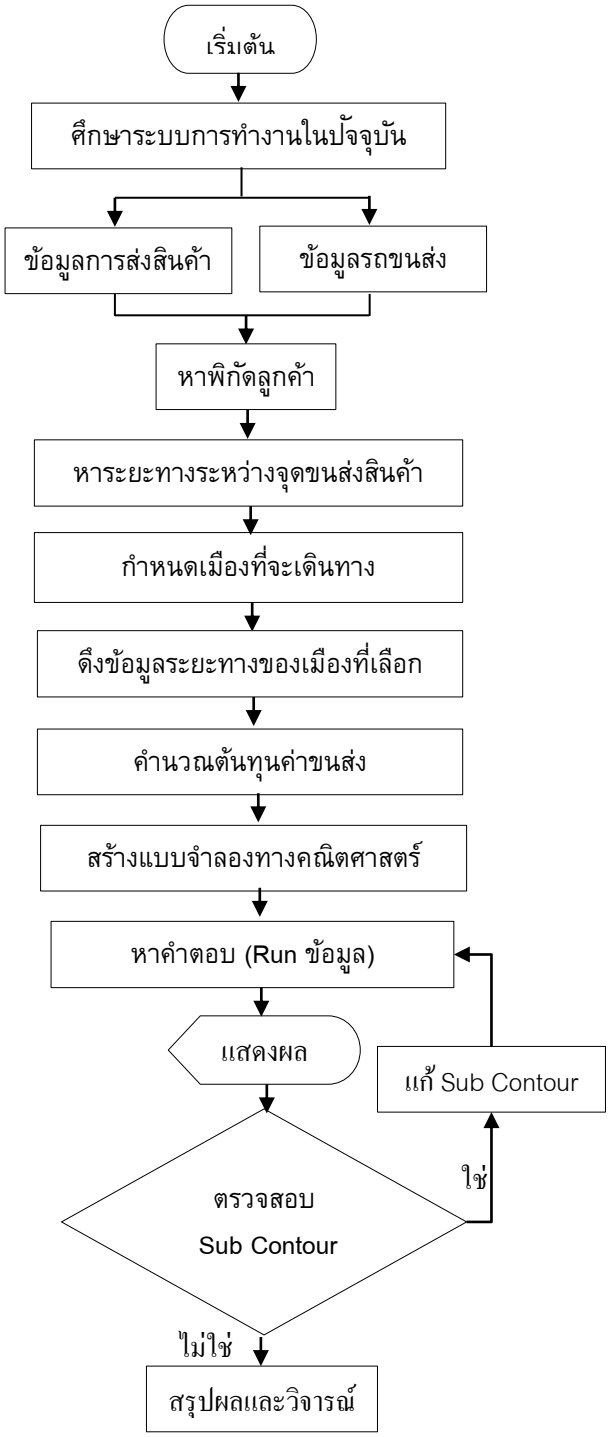
ซึ่งพบงานวิจัยที่มีความคล้ายคลึงกับงานที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา แตกต่างกันที่งานวิจัยดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์การจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem; TSP) และใช้แนวคิดแบบ Nearest Neighbor Heuristics ในการวิเคราะห์สำหรับพัฒนาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าผ่านโปรแกรม VBA in Microsoft Excel เพื่อลดระยะทางในการจัดส่งสินค้าลงเพียงเท่านั้น [9]

2.วิธีการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนและวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยมีขั้นตอนและรายละเอียดการดำเนินงานดังรูปที่ 1

2.1 เก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากศึกษาระบบการทำงานในปัจจุบัน ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากการสัมภาษณ์เจ้าของกิจการและพนักงานที่ปฏิบัติงาน ซึ่งข้อมูลที่ได้ ได้แก่ ข้อมูลของรถที่ใช้ในการขนส่งสินค้าประเภท HP ได้ดังตารางที่ 1 และข้อมูลการส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเมษายน 2557



รูปที่ 1 ขั้นตอนและวิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตารางที่ 1 ข้อมูลรถที่ใช้ในการขนส่งสินค้าประเภท HA

ประเภท	จำนวน (คัน)	การสูญเสียเชื้อเพลิง (กิโลเมตร/ลิตร)	ปริมาณการบรรทุกสินค้า (ลูกบาศก์/เมตร)
รถ 6 ล้อ (เล็ก)	2	6	28
รถ 6 ล้อ (ใหญ่)	40	4.8	35
รถ 18 ล้อ	11	2.5	58

จากข้อมูลการส่งสินค้าจะบอกตำแหน่งของลูกค้าเป็นเพียงชื่อและที่อยู่ของลูกค้าปลายทางทั้ง 214 รายเท่านั้น ไม่มีการกำหนดพิกัดที่แน่นอน ผู้วิจัยจึงทำการหาพิกัดละติจูดและลองจิจูดของลูกค้าทั้งหมดรวมถึงตำแหน่งของคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา โดยจะนำชื่อและที่อยู่ของลูกค้าไปหาพิกัดที่ตั้งด้วย Google Map

เมื่อได้พิกัดแล้ว ผู้วิจัยได้ใช้ VBA ในการหาระยะทางระหว่างจุดขนส่งสินค้า โดยนำพิกัดละติจูดและลองจิจูด มาคำนวณหาระยะทาง (กิโลเมตร) โดยเทียบระยะทางจาก Google Map และแสดงผลเป็นระยะทางระหว่างจุด พร้อมบอกวิธีการเดินทาง แต่เนื่องจากจุดขนส่งนั้นมีจำนวนถึง 214 เมือง ทำให้ไม่สามารถ Run หาคำตอบได้ในครั้งเดียว เพราะจะใช้เวลานานในการ Run และพบปัญหาโปรแกรมค้างระหว่างการ Run ผู้วิจัยจึงได้แบ่งการ Run ออกเป็นครั้งละ 20 เมือง ซึ่งจะทำให้สามารถหาคำตอบได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น และไม่พบปัญหาโปรแกรมค้างระหว่างการหาคำตอบ

2.3 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยจะสร้างมีขนาดใหญ่ (214 จุดขนส่ง) หากเริ่มต้นการสร้างจากรูปแบบปัญหาขนาดใหญ่ อาจทำให้ขั้นตอนการแก้ไขปัญหามีความซับซ้อน และ ไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องได้อย่างถี่ถ้วน ผู้วิจัยจึงเริ่มต้นจากการทดลองขนาดเล็ก และจะขยายเป็นการทดลองขนาดใหญ่ต่อไป โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel และ VBA มาช่วยในการคำนวณ มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

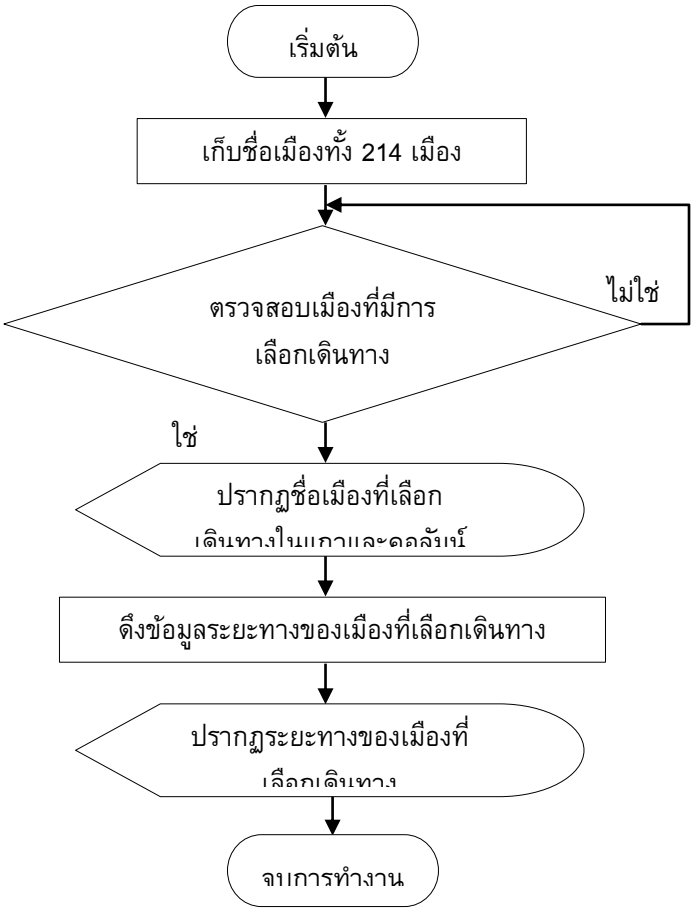
เริ่มจากกำหนดจุดที่จะเดินทางไป ผู้วิจัยกำหนดให้แบบจำลองมีเมืองที่เลือกเดินทางเพียง 7 เมือง โดยเป็น 1= เลือกเดินทาง และ ปล่อยว่าง = ไม่เลือกเดินทาง

ขั้นตอนที่ 2 ดึงข้อมูลระยะทางของเมืองที่เลือกเดินทาง โดยมี Flow การทำงานของ Code ดังรูปที่ 2

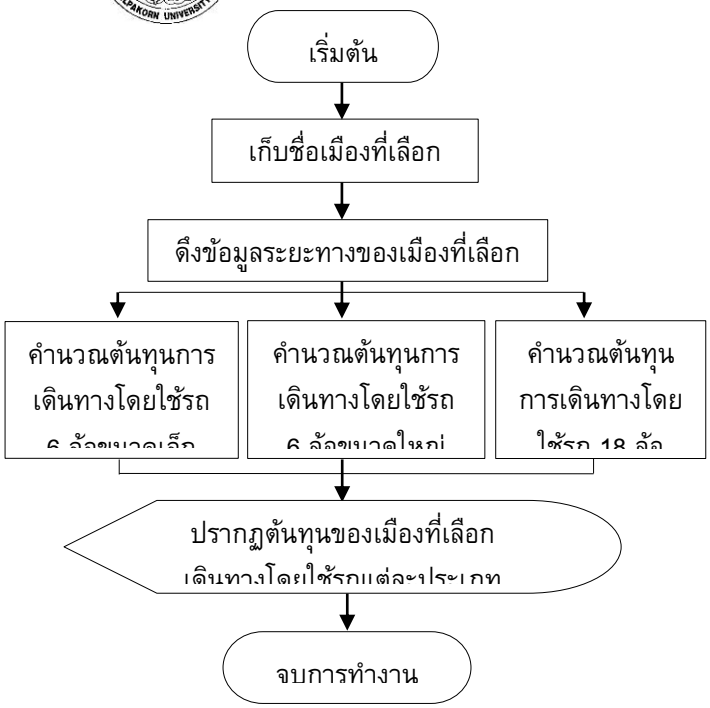
ขั้นตอนที่ 3 คำนวณต้นทุนการขนส่งสินค้า

โดยใช้รถแต่ละประเภท แบบจำลองขนาดเล็ก ผู้วิจัยกำหนดให้มีรถที่ใช้ในการขนส่งสินค้าเพียง 3 ประเภท ได้แก่ รถ 6 ล้อ(เล็ก) , รถ 6 ล้อ(ใหญ่) และ รถ 18 ล้อ ประเภทละ 2 คัน มีสูตรในการคำนวณ ดังสมการที่ (1) โดยใช้ข้อมูลในตารางที่ 1 โดยมี Flow การทำงานของ Code ดังรูปที่ 3

$$\text{ต้นทุนค่าขนส่ง} = \frac{\text{อัตราการสูญเสียเชื้อเพลิง} \times \text{ระยะทาง} \times \text{ค่าน้ำมัน}}{\text{ความสามารถในการบรรทุกสินค้า}} \quad (1)$$



รูปที่ 2 Flow **การทำงานของ** Code **ดึงระยะทาง**



รูปที่ 3 Flow **การทำงานของ** Code **คำนวณต้นทุน**

ขั้นตอนที่ 4 สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์

<u>ดัชนี</u>

k = ประเภทรถบรรทุก ประเภทรถบรรทุก (โดยที่ 1 แทน รถบรรทุก 18 ล้อ , 2 แทน รถบรรทุก 6 ล้อ(ใหญ่) , 3 แทน รถบรรทุก 6 ล้อ (เล็ก))

m = ลำดับรถในประเภทรถบรรทุก k

i , j = สถานที่ส่งสินค้า

ตัวแปรตัดสินใจ

X_{ijkm} = ตัวแปรตัดสินใจของรถประเภท k คันที่ m ในการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j มีค่าเป็น 1 เมื่อเลือกเดินทาง และ มีค่าเป็น 0 เมื่อไม่เลือกเดินทาง

Y_{km} = ตัวแปรตัดสินใจรถบรรทุกประเภท k คันที่ m ในการเลือกใช้รถแต่ละครั้ง มีค่าเป็น 1 เมื่อเลือกใช้งาน และมีค่าเป็น 0 เมื่อไม่มีการเลือกใช้งาน

Q_{jkm} = ปริมาณสินค้าที่รถบรรทุกประเภท k คันที่ m ที่เดินทางไปส่งยังเมือง j

พารามิเตอร์

W_{km} = ความจุของรถบรรทุกประเภท k คันที่ m

D_j = ความต้องการ เมืองที่ j

C_{ijkm} = ค่าใช้จ่ายของรถประเภท k คันที่ m ที่เดินทางจาก i ไป j

<u>สมการเป้าหมาย</u>

$$\text{Minimize} = \left(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M} C_{ijkm}X_{ijkm}\right) + (\text{BigM} \times \sum_{m=1}^{M} Y_{1m}) + (\text{BigM} \times \sum_{m=1}^{M} Y_{2m}) + (\text{BigM} \times \sum_{m=1}^{M} Y_{3m}) \quad (2)$$

<u>เงื่อนบังคับ</u>

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{m=1}^{n} X_{ijkm} \le 1 \quad ; \forall_j \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{m=1}^{n} X_{ijkm} \le 1 \quad ; \forall_i \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{n} Q_{jkm} \le W_{km}Y_{km} \quad ; \forall_{km} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ijkm} = \sum_{i=1}^{n} X_{jikm} \quad ; \forall_{jkm} \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^{n}\sum_{m=1}^{n} Q_{jkm} = D_j \quad ; \forall_j \quad (7)$$

$$Q_{jkm} \le D_j \sum_{i=1}^{n} X_{ijkm} \quad ; \forall_{jkm} \quad (8)$$

$$Y_{km} = \sum_{j=1}^{n} X_{1jkm} \quad ; \forall_{km} \quad (9)$$

$$Y_{km} \in \{0,1\} \quad ; \forall_{km} \quad (10)$$

$$X_{ijkm} \in \{0,1\} \quad ; \forall_{ijkm} \quad (11)$$

ในสมการ (2) แสดงถึงต้นทุนของระยะทางที่น้อยที่สุดโดย $\left(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M} C_{ijkm}X_{ijkm}\right)$ จะแสดงถึงค่าใช้จ่ายในการเดินทางขนส่งสินค้า และ $\left(\text{BigM} \times \sum_{m=1}^{M} Y_{1m}\right)$, $(\text{BigM} \times \sum_{m=1}^{M} Y_{2m})$, $(\text{BigM} \times \sum_{m=1}^{M} Y_{3m})$ จะแสดงถึงต้นทุนคงที่ที่เกิดขึ้นจากการเปิดใช้รถแต่ละประเภท สมการ (3) แสดงถึงผลรวมของรถบรรทุกประเภท k คันที่ m เข้าเมือง i ได้ 1 ครั้ง สมการ (4) แสดงถึงผลรวมของรถบรรทุกประเภท k คันที่ m ออกเมือง j ได้ 1 ครั้ง สมการ (5) แสดงถึงปริมาณสินค้าที่รถบรรทุกประเภท k คันที่ m ส่งสินค้าไปเมือง j ต้องน้อยกว่าเท่ากับความจุที่รถบรรทุกคันดังกล่าวสามารถบรรทุกได้ หากรถคันใดถูกเลือกใช้ ค่า Y_{km} ของรถคันดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับ 1 และมีค่าเป็น 0 เมื่อไม่มีการเลือกใช้ สมการ (6) แสดงถึงรถบรรทุกประเภท k คันที่ m

เข้าเมือง j และรถคันดังกล่าวต้องออกจากเมือง j สมการ (7) แสดงถึงผลรวมของรถบรรทุกประเภท k คันที่ m ที่ไปส่งสินค้าเมือง j ต้องเท่ากับความต้องการของเมือง j สมการที่ (8) แสดงถึงการเชื่อมโยงระหว่างตัวแปร Q_{jkm}และ X_{ijkm} โดยรถบรรทุกคันใด (k,m) ที่จะขนส่งสินค้าในปริมาณของ Q_{jkm} ไปที่เมือง j ได้ก็ต่อเมื่อรถคันดังกล่าววิ่งเข้าเมือง j สมการ (9) แสดงถึงรถประเภท k คันที่ m ที่เลือกใช้งานต้องออกจากเมือง 1 เสมอ สมการ (10) และ (11)แสดงถึงชนิดของข้อมูลว่า ตัวแปร X_{ijkm} และ Y_{km}เป็นไบนารี่

2.4 หาคำตอบ (Run ข้อมูล)

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซลล์โซลเวอร์-กูโรบิ โดยมี Input Process และ Output ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Input Process **และ** Output **ของการหาคำตอบ**

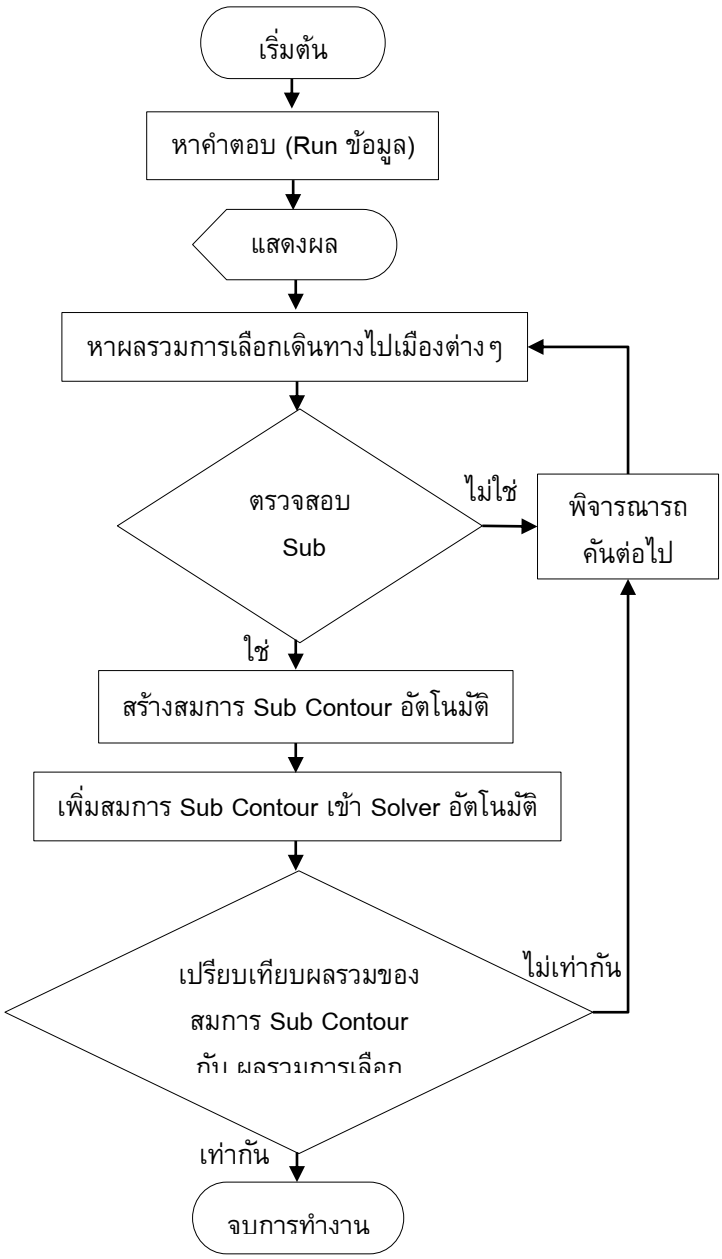
INPUT	PROCESS	OUTPUT
-รายชื่อลูกค้า -ตำแหน่งลูกค้า -ข้อมูลปริมาณสินค้า -ต้นทุนแต่ละเส้นทางในการใช้รถขนส่งแต่ละประเภท -ระยะทาง	-เลือกประเภทของรถ และคำนวณจำนวนรถที่ใช้ -คำนวณเส้นทางในการส่งสินค้า -คำนวณลำดับการส่งสินค้าก่อน/หลัง -คำนวณต้นทุนรวมที่ใช้ในการ	-ประเภทของรถและจำนวนรถที่ใช้ในการส่งสินค้า -เส้นทางการส่งสินค้าที่เหมาะสม -ลำดับการส่งสินค้า ก่อน/หลัง - ต้นทุนรวมใน

2.5 การปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

คำตอบที่ได้จากการ Run อาจจะเกิดSub-tour ผู้จัดทำจึงจำเป็นต้องกำจัด Sub-tour Elimination เพื่อปรับปรุงคำตอบของแบบจำลองให้ดียิ่งขึ้น โดยนำ VBA ที่ใช้งานบน Microsoft Excel มาช่วยในการทำงาน เนื่องจาก การทำงานบน Microsoft Excel นั้น ไม่จำเป็นต้องลงโปรแกรมเพิ่มเติม โดย Flow การทำงาน ของ Code ดังรูปที่ 4

ผลการวิจัย

การหาคำตอบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีรถขนส่งสินค้า 3 ประเภท ได้แก่ รถ 6 ล้อ(เล็ก), รถ 6 ล้อ(ใหญ่) และรถ 18 ล้อ ประเภทละ 2 คัน โดย Run ข้อมูลเปรียบเทียบผลระหว่าง Manual และ Gurobi 2 โจทย์ โดย



รูปที่ 2 **โดย** Flow **การทำงาน ของ** Code **ปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์**

แต่ละโจทย์จะมีเมืองที่เลือกเดินทาง 7 เมือง และมีความต้องการสินค้าเท่ากับ 30 Cubic เท่ากันทุกเมือง มีผลการ Run ดังตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ โดยที่โจทย์

C30T3N6*(1) คือโจทย์จากการสุ่มเพื่อการทดลอง แต่โจทย์ C30T3N6(2) เป็นค่าจริงจากบริษัทกรณีศึกษา

ตารางที่ 3 การคำนวณหาคำตอบโจทย์ C30T3N6*(1)

C30T3N6*(1)

Gurobi			Manual		
รถที่ใช้	ลำดับ	ปริมาณบรรทุก (Q)	รถที่ใช้	ลำดับ	ปริมาณบรรทุก (Q)
รถ 18 ล้อ (คันที่ 1)	City1	0	รถ 18 ล้อ (คันที่ 1)	City1	0
	City2	13		City2	10
	City5	13		City4	10
	City4	30		City7	18
	City7	2		City3	10
รถ 18 ล้อ (คันที่ 2)	City1	0		City5	10
	City4	0		City1	0
	City7	28		City2	18
	City3	30		City4	10
รถ 6 ล้อใหญ่ (คันที่ 1)	City1	0	รถ 18 ล้อ (คันที่ 1)	City7	10
	City6	30		City3	10
รถ 6 ล้อใหญ่ (คันที่ 2)	City1	0		City5	10
	City5	17		City1	0
	City2	17	รถ 6 ล้อใหญ่ (คันที่ 1)	City2	2
				City4	10
				City7	2
				City3	10
				City5	10
			รถ 6 ล้อใหญ่ (คันที่ 2)	City1	0
				City6	30
Sub contour (รอบ)		11	Sub contour (รอบ)		-
ต้นทุน (บาท)		85,397.67	ต้นทุน (บาท)		85,404.83
ระยะทาง (km.)		3,240	ระยะทาง (km.)		3,267.8
เวลา(S)		8.46	เวลา(S)		960

ตารางที่ 4 การคำนวณหาคำตอบโจทย์ C30T3N6(2)

C30T3N6(2)

Gurobi			Manual		
รถที่ใช้	ลำดับ	ปริมาณบรรทุก (Q)	รถที่ใช้	ลำดับ	ปริมาณบรรทุก (Q)
รถ 18 ล้อ (คันที่ 1)	bkk01	0	รถ 18 ล้อ (คันที่ 1)	bkk01	0
	kpp07	30		kpp01	18
	kpp03	25		kpp05	10
	kpp01	2		kpp10	10
รถ 18 ล้อ (คันที่ 2)	bkk01	0		kpp03	10
	kpp10	30		kpp07	10
	kpp01	28		bkk01	0
รถ 6 ล้อใหญ่ (คันที่ 1)	bkk01	0	รถ 18 ล้อ (คันที่ 2)	kpp01	10
	kpp03	0		kpp05	10
	kpp08	30		kpp10	17
รถ 6 ล้อใหญ่ (คันที่ 2)	bkk01	0		kpp03	10
	kpp05	30		kpp07	10
			รถ 6 ล้อใหญ่ (คันที่ 1)	bkk01	0
				kpp01	2
				kpp05	10
				kpp10	3
				kpp03	10
				kpp07	10
			รถ 6 ล้อใหญ่ (คันที่ 2)	bkk01	0
				kpp08	30
Sub contour (รอบ)		-	Sub contour (รอบ)		-
ต้นทุน (บาท)		85,158.96	ต้นทุน (บาท)		86,146.02
ระยะทาง (km.)		3,654.8	ระยะทาง (km.)		3,267.8
เวลา (S)		5.88	เวลา (S)		900

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าในการเดินทางไป City1 ถึง City7 โดยใช้ Gurobi ในการหาคำตอบ จะมีต้นทุนเท่ากับ 85,397.67 บาท ระยะทาง 3,240 km. และใช้เวลาในการหาคำตอบ 8.46 S พบ Subcontour 11 รอบ แต่การหาคำตอบด้วยวิธี Manual จะมีต้นทุนเท่ากับ 85,404.83 บาท ระยะทาง 3,267.8 km. ใช้เวลาในการหาคำตอบ 960 S และไม่เกิด Subcontour ทำให้เห็นว่าการหาคำตอบโดยใช้

Gurobi สามารถหาคำตอบได้รวดเร็วกว่าการทำงานแบบ Manual นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนลงได้ประมาณ 988 บาท และลดระยะทางในการเดินทางลงได้ 27.80 km.

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าในการเดินทางไป bkk01 kpp01 kpp03 kpp05 kpp07 kpp08 และ kpp10 โดยใช้ Gurobi ในการหาคำตอบ จะมีต้นทุนเท่ากับ 85,158.96 บาท ระยะทาง 3,654.8 km. และใช้เวลาในการหาคำตอบ 5.88 S และไม่พบ Subcontour แต่การหาคำตอบด้วยวิธี Manual จะมีต้นทุนเท่ากับ 86,146.02 บาท ระยะทาง 3,267.8 km. ใช้เวลาในการหาคำตอบ 900 S จะเห็นว่า Gurobi สามารถลดต้นทุนลงได้ประมาณ 8 บาท แต่ระยะทางในการเดินทางมากกว่าการจัดงานแบบ Manual 387 km. แต่ใช้เวลาในการหาคำตอบมากกว่าการจัดงานด้วย Gurobi

นอกจากนี้ จะพบว่าข้อมูลในตารางที่ 3 ที่เป็นข้อมูลสุ่ม พบ Subcontour ถึง 11 รอบ แต่ข้อมูลในตารางที่ 4 ซึ่งเป็นข้อมูลจริงจากบริษัทกรณีศึกษา ไม่พบ Subcontour ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การสุ่มข้อมูลเพื่อตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาตร์อาจไม่ได้ผลที่เป็นไปตามความจริง ทั้งนี้อาจจะเกิดจากระยะทางขาไปและขากลับมีความแตกต่างกันเมาก ดังนั้นหากต้องการจะตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองต้องมีการทดสอบกับข้อมูลจริง หรือข้อมูลของกรณีศึกษา เพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ อขอบคุณ บริษัท สุวรรณไพศาล ขนส่ง จำกัด และ ผศ.ดร.ธริณี มณีศรี ที่ให้ความเอื้อเฟื้อข้อมูลในงานวิจัยฉบับนี้

อ้างอิง

[1] ดร.สมชาย ปฐมศิร,ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการขนส่ง ข้อมูลจาก http://www.logisticscorner.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1732:2010-03-13-02-31-29&catid=36:transportation&Itemid=90 (10 กันยายน 2557)

[2] ณัฐกาญจน์ โพธิ์สัมฤทธิ์ , วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง-พัสดุคงคลัง (A Mathematical Model for Inventory-routing Problem)

[3] S.G.H. Jalali-Naiini , A.R. Aliahmadi , S.J. Sadjadi, A Robust Optimization Approach for the Milk Run Problem with Time Windows under Inventory Uncertainty - An Auto Industry Supply Chain Case Study

[4] Ben Peterson , Willem-Jan van Hoeve , Sham Kekre ,Flexible Milk-Runs for Stochastic Vehicle Routing

[5] Theeratham Meethet , Manoj Lohatepanont , Vehicle Routing in Milk-Run Operations: A Column Generation Based Approach

[6] ธีรธรรม มีเทศน์ ,แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการคัดเลือกผู้ให้บริการขนส่งสินค้าโดยการประมูลเชิงกลุ่ม

[7] Gulcin Dinc Yalcin ,Nihal Erginel ,A Heuristic Based on Integer Programming for the Vehicle Routing Problem with Backhauls

[8] นางสาว ศุภสิริ เต็งศุภกุล ,อ.ดร. ชัชพันธ์ ขำญาติ , การใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบหลายคลังสินค้า (Algorithm for Multi Depot Traveling Salesman Problem)

[9] ชุลีกร ชนะสิทธิ์ , สรวิชญ์ เยาวสุวรรณไชย ,การพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้า กรณีศึกษาบริษัทผู้ให้บริการด้านธุรกิจขนส่งสินค้า

(Development on Vehicle Routing Problem Program: A Case Study of a Transportation Service Provider)

[10] Changbing Jiang , A Reliable Solver of Euclidean Traveling Salesman Problems with Microsoft Excel Add-in Tools for Small-size Systems

[11] Ranjana Ponraj ,George Amalanathan, OPTIMIZING MULTIPLE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM CONSIDERING THE ROAD CAPACITY

กลุ่มที่ 10

Related Topics in Industrial Engineering

การวิเคราะห์ความต้องการด้านทักษะภาษาอังกฤษเชิงวิศวกรรมของสถานประกอบการในประเทศไทยเพื่อเตรียมความพร้อมในการก้าวสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

Analysis of the requirements of engineering English proficiency for private organizations in Thailand to support the preparation for the ASEAN Economic Community

สุขอังคณา แถลงกัณฑ์* ปนิทัศน์ สุริยธนาภาส อภิชาติ บุญมา
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002 E-mail:sukangkana@kku.ac.th*

Sukangkana Talangkun*, Panitas Sureeyatanapas, Apichat Boonma
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University
Naimuang, Muang, Khonkaen, 40002, E-mail:sukangkana@kku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการด้านทักษะทางภาษาอังกฤษเพื่อการสื่อสารและการทำงานของบริษัทอุตสาหกรรมในประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาเนื้อหาการเรียนการสอนภาษาอังกฤษในระดับอุดมศึกษาสำหรับนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ และเพื่อรองรับการก้าวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน โดยศึกษาจากการส่งแบบสอบถามเพื่อสำรวจข้อมูลความจำเป็นในการใช้ภาษาอังกฤษทั้งในด้านการฟัง การพูด การอ่าน และการเขียน รวมทั้งสำรวจความพึงพอใจของบริษัทอุตสาหกรรมในตัววิศวกรที่จบการศึกษาจากคณะวิศวกรรมศาสตร์จากมหาวิทยาลัยในประเทศไทยในด้านการใช้ภาษาอังกฤษ โดยแบบสำรวจมีความครอบคลุมบริษัทในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย ทั้งบริษัทสัญชาติไทยและบริษัทสัญชาติต่างประเทศที่ตั้งอยู่ในประเทศไทย จากการศึกษาพบว่า กิจกรรมที่ต้องใช้ภาษาอังกฤษสามอันดับแรกคือ การติดต่อผ่านอีเมล์หรือจดหมาย การต้อนรับวิทยากร/ลูกค้า/คู่ค้า/ผู้ทรงคุณวุฒิ/ที่ปรึกษาจากต่างประเทศ และการติดต่อผ่านโทรศัพท์ ผลของการวิเคราะห์ความต้องการของบริษัทในด้านการใช้ภาษาอังกฤษและการวิเคราะห์ความพึงพอใจของบริษัทต่อวิศวกรที่จบการศึกษาจากมหาวิทยาลัยในประเทศไทยโดยใช้ Mood-Median Test พบว่าบริษัทส่วนใหญ่ต้องการให้วิศวกรมีทักษะในแต่ละด้านไม่เท่ากัน โดยมีความต้องการทักษะการอ่านมากที่สุด และมีความต้องการทักษะการพูดน้อยที่สุด ขณะที่ในแง่ของความพึงพอใจ พบว่าบริษัทมีความพึงพอใจกับทักษะการอ่านมากที่สุด แต่ในภาพรวมระดับความพึงพอใจยังอยู่ในระดับปานกลางในทุกทักษะเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบระดับความต้องการของนายจ้างกับระดับความพึงพอใจ โดยใช้ Mann-Whitney test พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกๆ ทักษะ โดยค่ามัธยฐานของความต้องการของบริษัทจะเท่ากับ 4 (ต้องการมาก) ในขณะที่ค่ามัธยฐานของความพึงพอใจของนายจ้างมีค่าเท่ากับ 3 (ปานกลาง) ซึ่งอาจบ่งบอกได้ว่าระดับภาษาอังกฤษของวิศวกรจบใหม่ของประเทศไทยยังไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของบริษัทได้อย่างสมบูรณ์

คำหลัก ภาษาอังกฤษวิศวกรรม, ทักษะด้านภาษาอังกฤษ, ภาษาอังกฤษสำหรับวิศวกร

Abstract

The main objective of this research is to investigate the requirements of English proficiency skills which are needed for communicating and working within private industrial organizations in Thailand. The results can be used as a guideline to improve and develop English courses for engineering students in Thai universities in order to support the preparation for the ASEAN Economic Community. The survey using questionnaires were employed to investigate the levels of requirement of private organizations based upon four English proficiency skills (listening, speaking, reading and writing), as well as to evaluate their levels of satisfaction on English proficiency of recently-graduated engineers (from universities in Thailand) who have been working in their organizations. The questionnaires cover various types of industry and also cover both Thai and international companies established in Thailand. From the survey, it was found that the top three activities which require English competency skills were the communication via e-mail/post, the hospitality for foreigner guests, and the phone communication. The analysis of the requirements of English proficiency skills and satisfaction, through Mood-Median Test, indicated that the requirement on the four skills were significantly different. Reading was the most required skill while speaking became the least necessary one. Reading was also ranked first in terms of satisfaction. However, all four skills were mostly rated at moderate level only. In comparison, the levels of requirement and satisfaction for each skill, using Mann-Whitney Test, indicated that they were all significantly different. Median of the requirement level was equal to 4 (High) while that of the satisfactory received the value of 3 (Medium). This implies that English proficiency levels of Thai recently-graduated engineers do not generally meet the requirements of the companies.

Keywords: Engineering English, English Proficiency, English for engineers

1. บทนำ

การเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community 2015) ในปี พ.ศ. 2558 จะส่งผลให้ประเทศสมาชิกเสมือนหล่อรวมเป็นหนึ่งเดียว เกิดเป็นพลวัตทางเศรษฐกิจจากการไหลเวียนอย่างเสรีของสินค้า บริการ การลงทุน และแรงงานฝีมือทั่วเขตประชาคม

ด้วยเหตุนี้ สถาบันการศึกษา กระทรวง สมาคม และหน่วยงานซึ่งเกี่ยวข้องกับวิชาชีพสาขาต่าง ๆ จำเป็นต้องมีความตื่นตัวในการเตรียมความพร้อมและการพัฒนาทักษะความรู้ความสามารถของผู้ประกอบวิชาชีพอย่างเต็มที่ โดยเฉพาะความจำเป็นในการเพิ่มพูนทักษะการใช้ภาษาอังกฤษเพื่อการสื่อสารและทำงานในประชาคมอาเซียนให้แก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษาและบัณฑิตศึกษา เนื่องจากภาษาอังกฤษจะเป็นภาษากลางในการติดต่อสื่อสารของประชาคมอาเซียน

เพื่อเตรียมความพร้อมด้านภาษาอังกฤษให้กับนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความต้องการความสามารถขั้นพื้นฐานด้านภาษาอังกฤษจากหน่วยงานภาคเอกชนระหว่างประเทศและวิศวกรอาวุโสที่มีประสบการณ์ทำงานในต่างประเทศ ผลลัพธ์จากการสังเคราะห์ความต้องการดังกล่าว จะเป็นแนวทางในการปรับปรุงเนื้อหาการเรียนการสอนและกิจกรรมพัฒนาทักษะความสามารถภาษาอังกฤษให้แก่นักศึกษาต่อไป

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในประเทศที่ภาษาอังกฤษไม่ได้เป็นภาษาแม่ เช่น มาเลย์เซียได้มีการศึกษาทักษะภาษาอังกฤษของนักศึกษาและบัณฑิตว่าตรงกับความต้องการของผู้ประกอบการหรือไม่ ผลปรากฏว่าบัณฑิตยังขาดทักษะด้านภาษา โดยเฉพาะการเขียนและการพูดในการทำงานและในชีวิตประจำวัน [1,2]

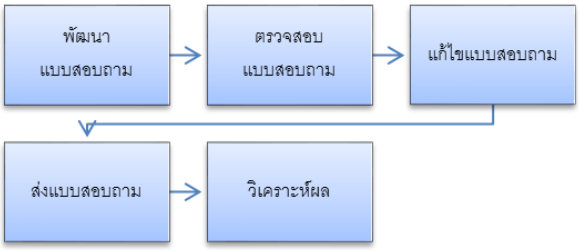
สถานประกอบการในมาเลเซียต้องการให้เน้นทักษะการพูดมากกว่าการเขียน ซึ่งสิ่งที่จำเป็นในการทำงานได้แก่ การประชุมทางไกล การติดต่อกับเครือข่าย และการนำเสนองาน [3] ขณะที่วิศวกรในไต้หวันเห็นว่า การเขียน (จดหมายอีเล็กทรอนิกส์, รายงาน, บันทึกช่วยจำ) และการพูด (ในการประชุม, การนำเสนองาน) มีความจำเป็นในการทำงานของพวกเขา [4] ทั้งนี้ทักษะด้านภาษาอังกฤษของนักศึกษาจะได้รับการพัฒนาควบคู่ไปกับทักษะวิชาชีพทางวิศวกรรม และถือว่าเป็นภาษาที่มีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งสำหรับนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ [5,6] จากงานวิจัยที่ทำการสำรวจนักศึกษาวิศวกรรมโยธาในมาเลเซียที่ผ่านการฝึกงานมาแล้วพบว่า ทักษะที่จำเป็นมากที่สุดประกอบด้วย การเข้าใจเอกสารทางเทคนิค การเขียนถูกต้องตามหลักไวยากรณ์ การมีความรู้เกี่ยวกับคำศัพท์และโครงสร้างประโยค และการเขียนรายงานรวมทั้งการตั้งคำถาม [7]

สำหรับประเทศไทยนั้น จากงานวิจัยที่ทำการศึกษาความต้องการทักษะภาษาอังกฤษของนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ชั้นปีที่ 2 ของมหาวิทยาลัยรัฐบาลแห่งหนึ่ง พบว่าความต้องการทักษะทั้งสี่ด้าน (ฟัง พูด อ่าน เขียน) นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งพบว่าความแตกต่างของภาควิชา (เครื่องกล เคมี โยธา ไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ และอุตสาหการ) นั้นไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความต้องการทักษะภาษาอังกฤษในแต่ละด้าน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 [8] ส่วนงานวิจัยที่ศึกษากับนักศึกษาวิศวกรรมโยธาในประเทศไทยเห็นว่าทักษะด้านภาษาที่สำคัญประกอบด้วยสี่ประการ คือ การอ่านคู่มือ การเขียนรายงาน การรับรู้คำสั่ง และการสื่อสารกับลูกค้าทั้งทางโทรศัพท์และจดหมายอีเล็กทรอนิกส์ [9]

จากงานวิจัยต่างๆข้างต้นพบว่า การศึกษาความต้องการทักษะภาษาอังกฤษของวิศวกรไทยนั้นยังมีอยู่น้อย และยังจำกัดอยู่เพียงบางสาขาวิชาเท่านั้น ทั้งๆที่ความต้องการทักษะภาษานั้นมีความคล้ายคลึงกันในทุกสาขาวิชา อีกทั้งพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ศึกษาความต้องการในการใช้ภาษาอังกฤษสำหรับวิศวกรโดยการสำรวจจากกลุ่มนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถสะท้อนถึงความต้องการจริงจากสถานประกอบการหรือนายจ้างได้ ผู้วิจัยจึงเห็นว่า ควรมีการศึกษาถึงความต้องการทักษะด้านภาษาของวิศวกรไทยโดยทำการสำรวจจากนายจ้างและให้ครอบคลุมทุกกลุ่มอุตสาหกรรมในประเทศ เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่มีความหลากหลาย และนำมาสู่ข้อมูลที่มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลดีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนและการพัฒนาทักษะภาษาในอนาคต

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้ ขั้นแรกผู้วิจัยได้พัฒนาแบบสอบถามขึ้น หลังจากนั้นแบบสอบถามได้ถูกส่งให้กับผู้เชี่ยวชาญเพื่อทำการตรวจสอบ เมื่อได้รับข้อเสนอแนะมาแล้ว แบบสอบถามได้ถูกแก้ไขให้เหมาะสมก่อนจะถูกส่งไปยังสถานประกอบการต่างๆทั่วประเทศ เมื่อสถานประกอบการทำการตอบแบบสอบถามและส่งกลับมาแล้ว ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางสถิติ ซึ่งขั้นตอนข้างต้นแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการวิจัย

3.1 การพัฒนาแบบสอบถาม

วัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาแบบสอบถามคือศึกษาความต้องการพื้นฐานทางภาษาอังกฤษของวิศวกรในภาคอุตสาหกรรม และศึกษาแนวทางการพัฒนาการเรียนการสอนภาษาอังกฤษสำหรับนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยแบบสอบถามได้ถูกแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆ ประกอบด้วย

1) ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม
2) ข้อมูลเกี่ยวกับองค์กร
3) ความจำเป็นในการใช้ภาษาอังกฤษของวิศวกร
4) ความสามารถพื้นฐานในการใช้ภาษาที่ต้องการ
5) ความพึงพอใจด้านการใช้ภาษาในตัววิศวกร

ข้อ 1-3 เป็นการรวบรวมข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถามและองค์กรอุตสาหกรรมซึ่งคาดว่าอาจจะ

เกี่ยวข้องและเชื่อมโยงได้กับการใช้ภาษาอังกฤษของวิศวกร ส่วนข้อ 4 และ 5 จะเป็นคำถามที่มุ่งตอบจุดประสงค์หลักทั้ง 2 ข้อที่กล่าวมา ซึ่งผลที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพโดยรวมของหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต และกำหนดแนวทางในการพัฒนาการเรียนการสอนภาษาอังกฤษต่อไป

3.2 การตรวจสอบแบบสอบถาม

แบบสอบถามได้ถูกตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญจากภาคเอกชนและสถานศึกษา ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญจากบริษัทเบทาโกร จำกัด (ระดับหัวหน้างานขึ้นไป) และ จากคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จำนวนทั้งสิ้น 7 ท่าน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมของแบบสอบถามและเพื่อกำจัดปัญหาต่างๆหรือความเข้าใจผิดที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากการเก็บข้อมูลจริง [10,11] โดยพยายามกำจัดทิ้งซึ่งคำหรือประโยคที่มีความเสี่ยงที่จะมีปัญหาในการตีความ อันอาจจะทำผู้ตอบแบบสอบถามแต่ละคนเข้าใจไม่ตรงกันได้ [12]

นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญยังได้วิจารณ์รูปแบบของตัวแบบสอบถาม เช่น ความยาว การวางรูปแบบตาราง และการแบ่งหัวข้อ เพื่อให้มั่นใจว่าองค์ประกอบเหล่านี้มีความเหมาะสม อันจะส่งผลให้การสำรวจในครั้งนี้ได้รับการตอบสนองสูงสุด การทดสอบแบบสอบถามเบื้องต้นในครั้งนี้ยังถือเป็นการยืนยันความถูกต้องตามหลักการของ content validity ซึ่งหมายความว่าผู้ที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับประเด็นที่ถูกสำรวจได้มีส่วนร่วมในการตรวจสอบความครบถ้วนสมบูรณ์ของคำถามในแบบสอบถาม [10]

3.3 การแก้ไขแบบสอบถาม

หลังจากได้รับแบบสอบถามและคำแนะนำต่างๆกลับมาจากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขแบบสอบถามตามคำแนะนำ อาทิ เปลี่ยนคำในบางประโยค สลับสับเปลี่ยนหัวข้อใหม่ในแบบสอบถาม รวมทั้งตัดบางคำถามที่ไม่เกี่ยวข้องทิ้งไปเพื่อให้แบบสอบถามมีความกระชับขึ้น

3.4 การส่งแบบสอบถาม

แบบสอบถามได้ถูกจัดทำขึ้นในสองรูปแบบคือ 1) จัดพิมพ์เป็นเอกสารและส่งทางไปรษณีย์ และ 2) จัดทำเป็นเอกสารออนไลน์ โดยได้จัดทำทั้งหมด 280 ตัวอย่าง คลอบคลุมทุกกลุ่มอุตสาหกรรม และส่งให้กับบริษัทสัญชาติไทยและบริษัทข้ามชาติที่ตั้งอยู่ในประเทศไทย

4. ผลการวิจัย

จากจำนวนแบบสอบถามที่ส่งออกไปจำนวน 280 ตัวอย่าง มีผู้ตอบแบบสอบถามกลับมาทั้งสิ้น 129 ชุด คิดเป็นร้อยละ 46 ซึ่งคิดเป็นอัตราการตอบสนอง (Response rate) ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นๆทางด้านสังคมวิทยา (Social Science) โดยสถานประกอบการที่ตอบแบบสอบถามกลับมานั้นเป็นองค์กรสัญชาติไทยถึง 58.91% รองลงมาได้แก่สัญชาติญี่ปุ่น อเมริกา ยุโรป และอื่นๆ (ซึ่งประกอบไปด้วย ไต้หวัน อินเดีย สิงคโปร์ และ ออสเตรเลีย) ตามลำดับ

สถานประกอบการที่เข้าร่วมการตอบแบบสอบถามมาจากหลายกลุ่มอุตสาหกรรมดังแสดงในตารางที่ 1 โดยกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีจำนวนการเข้าร่วมการตอบแบบสอบถามมากที่สุดสามอันดับแรกได้แก่ อุตสาหกรรมยานยนต์ (24.03%) ปิโตรเคมีและเคมีภัณฑ์ (11.63%) และ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (8.53%) ตามลำดับ ส่วนกิจกรรมในองค์กรที่จำเป็นต้องให้วิศวกรใช้ภาษาอังกฤษในการดำเนินงานแสดงในตารางที่ 2 ผลของแบบสอบถามแสดงให้เห็นว่า กิจกรรมที่ต้องการมากที่สุด คือ การใช้ภาษาอังกฤษในการติดต่อผ่านอีเมลล์หรือจดหมาย (88.4%) รองลงมาได้แก่ การต้อนรับชาวต่างชาติ (72.1%) การติดต่อทางโทรศัพท์ (71.3%) การนำเสนอผลงาน (70.5%) การติดต่อทางเอกสารในองค์กร (69.8%) การเข้ารับการอบรม (69.0%) การประชุม (57.4%) การปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคล (46.5%) และอื่นๆ (1.55%)

ตารางที่ 1 สัดส่วนของกลุ่มอุตสาหกรรมที่เข้าร่วมการตอบแบบสอบถาม

ประเภทอุตสาหกรรม	จำนวนแบบสอบถาม	เปอร์เซ็นต์ (%)
ยานยนต์	31	24.03
ปิโตรเคมีและเคมีภัณฑ์	15	11.63
ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์	11	8.53

เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร	9	6.98
กระดาษและวัสดุการพิมพ์	6	4.65
ธุรกิจการเกษตร	6	4.65
พลังงานและสาธารณูปโภค	5	3.88
พัฒนาอสังหาริมทรัพย์	5	3.88
อาหารและเครื่องดื่ม	5	3.88
เหล็ก	4	3.10
ของใช้ในครัวเรือนและสำนักงาน	3	2.33
วัสดุก่อสร้าง	3	2.33
วัสดุอุตสาหกรรมและเครื่องจักร	3	2.33
เหมืองแร่	2	1.55
ขนส่งและโลจิสติกส์	2	1.55
บรรจุภัณฑ์	2	1.55
แฟชั่น	1	0.78
การแพทย์	1	0.78
ของใช้ส่วนตัวและเวชภัณฑ์	1	0.78
ธนาคาร หลักทรัพย์ และประกันภัย	1	0.78
พาณิชย์	1	0.78
อื่นๆ	12	9.30
รวม	129	100

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลประเภทของงานที่จำเป็นต้องใช้ภาษาอังกฤษ

งานที่ต้องใช้ภาษาอังกฤษ	ร้อยละ (%)
การติดต่อผ่านอีเมล์หรือจดหมาย	88.4
การต้อนรับวิทยากร/ลูกค้า/คู่ค้า/ผู้ทรงคุณวุฒิ/ที่ปรึกษา จากต่างประเทศ	72.1
การติดต่อผ่านโทรศัพท์	71.3
การนำเสนอผลงาน	70.5
การติดต่อผ่านทางเอกสารในองค์กร/ระหว่างองค์กร	69.8
การเข้ารับการอบรม/ฟังบรรยาย/เข้าร่วม workshop	69.0
การประชุม/ประชุมทางไกล	57.4
ทักษะการปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคล(ในกิจกรรมประจำวัน)	46.5
อื่นๆ	1.55

4.1 การวิเคราะห์ความสามารถพื้นฐานด้านการใช้ภาษาอังกฤษที่สถานประกอบการต้องการ

เนื่องจากข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลอันดับ (Ordinal scale) และไม่กระจายตัวแบบปกติ (Non-normal distribution) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจึงต้องอาศัยการทดสอบแบบไม่มีพารามิเตอร์ (Non parametric test) โดยในที่นี้ต้องการทดสอบสมมติฐานว่าความต้องการของสถานประกอบการที่จะให้วิศวกรมีทักษะภาษาอังกฤษทั้ง 4 ด้านนั้นไม่มีความแตกต่างกัน (สมมติฐานหลัก: H_0) เทคนิคในการทดสอบสมมติฐานที่เลือกใช้ได้แก่ Mood-Median test เนื่องจากต้องการอนุมานความแตกต่างของค่ามัธยฐานของประชากรมากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไป โดยทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากผลการทดสอบพบว่า ค่า p-value มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ใช้ทดสอบ จึงทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นหมายความว่า ความต้องการใช้ทักษะภาษาอังกฤษแต่ละด้านในสถานประกอบการวิศวกรรมนั้นไม่เท่ากัน

ตารางที่ 3 ระดับความต้องการทักษะภาษาอังกฤษแต่ละด้านของหน่วยงานจากภาคอุตสาหกรรม

ทักษะ	จำนวนข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน	ฐานนิยม
การฟัง	478	3.85	4	4
การพูด	477	3.57	4	3
การอ่าน	242	4.21	4	4
การเขียน	484	3.78	4	4

จากผลการสำรวจในตารางที่ 3 พบว่าสถานประกอบการส่วนใหญ่ต้องการให้วิศวกรสามารถอ่านภาษาอังกฤษได้มากที่สุด (4.21) รองลงมาได้แก่ การฟัง (3.85) การเขียน (3.78) ในขณะที่ความต้องการทางด้านการพูดได้รับค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด (3.57) รวมทั้งยังมีค่าฐานนิยมที่ต่ำกว่าทักษะด้านอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ค่าฐานนิยมของความต้องการทักษะด้านการพูดซึ่งเท่ากับ 3 นั้นยังถือว่าอยู่ในระดับปานกลาง นั่นคือ สถานประกอบการส่วนใหญ่ยังมีความต้องการให้วิศวกรสามารถพูดสื่อสารได้ในระดับหนึ่งอยู่เช่นกัน ข้อมูลนี้อาจเป็นผลมาจากการ

ที่ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นสถานประกอบการสัญชาติไทยที่ต้องการให้วิศวกรสามารถรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี คู่มือการใช้เครื่องจักร คำสั่งซื้อ และอื่นๆ ซึ่งโดยมากมักอยู่ในรูปแบบของเอกสารภาษาอังกฤษ จึงทำให้ทักษะด้านการอ่านมีความสำคัญกว่าทักษะด้านอื่น ในขณะที่การทำงานในบริษัทสัญชาติไทยนั้นอาจยังไม่มีความจำเป็นต้องใช้ทักษะการพูดภาษาอังกฤษมากนัก

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการทดสอบว่าทางสถานประกอบการมีความต้องการทักษะย่อยภายใต้ทักษะหลักในแต่ละด้าน (ฟัง พูด อ่าน เขียน) เท่าๆกันหรือไม่โดยการใช้เทคนิค Mood Median test กับทักษะการฟัง พูด และเขียน และใช้เทคนิค Mann-Whitney test กับทักษะการอ่าน (เนื่องจากเป็นการอนุมานความแตกต่างของค่ามัธยฐานของข้อมูลเพียง 2 กลุ่ม) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลจากข้อมูลค่าเฉลี่ยแสดงว่า ในด้านการฟังนั้น สถานประกอบการที่รับวิศวกรเข้าทำงานมีความต้องการทักษะย่อยด้านการฟังภาษาอังกฤษในแต่ละเรื่องไม่เท่ากัน โดยให้ความสำคัญกับ ความเข้าใจคำศัพท์เทคนิคและการจับใจความสำคัญ มากกว่าความเข้าใจศัพท์ที่ใช้สื่อสารประจำวันและความเข้าใจในสำเนียงและออกเสียง

ในด้านการพูดนั้น สถานประกอบการที่รับวิศวกรเข้าทำงานมีความต้องการทักษะย่อยด้านการพูดภาษาอังกฤษในแต่ละเรื่องไม่เท่ากัน โดยให้ความสำคัญกับการใช้ศัพท์เทคนิคและการใช้ศัพท์ในชีวิตประจำวันอย่างเหมาะสม มากกว่าการใช้สำเนียงฟังง่ายและถ้อยคำที่ถูกต้องตามไวยากรณ์

ส่วนในด้านการอ่านนั้น ระดับความต้องการของสถานประกอบการทางด้านทักษะการอ่านเรื่องที่ 1 (เข้าใจแบบงาน คู่มือ การปฏิบัติงาน และเอกสารทางเทคนิคอื่นๆที่เขียนโดยใช้ภาษาอังกฤษ) กับเรื่องที่ 2 (อ่านและเข้าใจอีเมล์หรือเอกสารทางธุรกิจที่ใช้ในการติดต่อภายในหรือระหว่างหน่วยงาน) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ในประเด็นสุดท้ายคือด้านการเขียนนั้น ระดับความต้องการของสถานประกอบการทางด้านทักษะการเขียน เรื่องที่ 1 (เขียนรายงานทางเทคนิคเป็นภาษาอังกฤษ) เรื่องที่ 2 (เขียนอีเมล์หรือเอกสารทางธุรกิจที่ใช้ในการติดต่อภายในหรือระหว่างหน่วยงาน) เรื่องที่ 3 (ใช้คำศัพท์ที่มีความเหมาะสมกับกาลเทศะ) และ เรื่องที่ 4 (เขียนรายงานหรือเอกสารได้อย่างถูกต้องตามหลักไวยากรณ์) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ผลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ในด้านการฟังและพูดนั้น สถานประกอบการต้องการให้วิศวกรสามารถใช้ศัพท์ทางเทคนิคและสื่อสารทางเทคนิคได้อย่างเหมาะสม มากกว่าการใช้ทักษะระดับสูง (เช่น การเข้าใจและสื่อสารอย่างถูกต้องโดยใช้สำเนียงที่ดีเช่นเจ้าของภาษา) ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่รายงานว่า เนื้อหาในการเรียนภาษาอังกฤษนั้นควรมีความเกี่ยวข้องกับงานทางวิศวกรรมและภาคอุตสาหกรรมโดยตรงมากกว่าการติดต่อสื่อสารทางธุรกิจทั่วๆไป [7,13] ส่วนในด้านการอ่านและเขียนนั้น สถานประกอบการให้ความสำคัญในทุกทักษะย่อยเท่าๆกัน

4.2 การวิเคราะห์ความพึงพอใจของสถานประกอบการในตัววิศวกร

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมมติฐานที่ว่าความพึงพอใจของบริษัทต่อตัววิศวกรจบใหม่ของประเทศไทยในแง่ทักษะภาษาอังกฤษทั้ง 4 ด้านนั้นไม่มีความแตกต่างกัน (สมมติฐานหลัก: H_0) โดยเทคนิคในการทดสอบสมมติฐานที่เลือกใช้ได้แก่ Mood-Median test ซึ่งทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากผลการทดสอบพบว่าค่า p-value มีค่าเท่ากับ 0.00 จึงทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก ชี้ให้เห็นว่าความพึงพอใจของบริษัทที่มีต่อทักษะแต่ละด้านในการใช้ภาษาอังกฤษของวิศวกรจบใหม่นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4 ระดับความพึงพอใจของสถานประกอบการในตัววิศวกรในด้านการใช้ภาษาอังกฤษ

ทักษะ	จำนวนข้อมูล	ค่าเฉลี่ย	มัธยฐาน	ฐานนิยม
การฟัง	467	3.13	3	3
การพูด	472	3.06	3	3
การอ่าน	238	3.34	3	3
การเขียน	474	3.01	3	3

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของข้อมูลในตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าวิศวกรของไทยนั้นมีทักษะการอ่านที่อยู่ในเกณฑ์ดีที่สุด (3.34) เมื่อเทียบกับทักษะด้านอื่นๆ

(ฟัง:3.13, พูด:3.06, เขียน: 3.01) ทั้งนี้ในภาพรวมแล้วความพึงพอใจของนายจ้างเกี่ยวกับความสามารถทั้ง 4 ด้านของวิศวกรจบใหม่ก็ยังอยู่เพียงแค่ในระดับปานกลางที่มีค่ามัธยฐานและฐานนิยมเท่ากับ 3 เท่ากันหมด นอกจากนี้ยังพบว่า บริษัทที่รับวิศวกรเข้าทำงานนั้นมีระดับความพึงพอใจในตัววิศวกรไทยทางด้านทักษะย่อยเท่าๆกันในทุกๆเรื่องในกลุ่มทักษะหลักเดียวกัน หรือถือว่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญนั่นเอง อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตได้ว่าสถานประกอบการมีความต้องการความสามารถด้านการเขียนสูงกว่าการพูด แต่กลับมีความพึงพอใจกับระดับความสามารถด้านการเขียนต่ำกว่า ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าวิศวกรไทยมีทักษะด้านการเขียนค่อนข้างต่ำกว่าความคาดหวัง

4.3 การเปรียบเทียบระดับความต้องการทักษะภาษาอังกฤษกับระดับความพึงพอใจในตัววิศวกร

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบว่าระดับความต้องการของสถานประกอบการที่จะให้วิศวกรมีทักษะภาษาอังกฤษในแต่ละด้านมีค่าเท่ากันกับระดับความพึงพอใจของบริษัท (สมมติฐานหลัก: H_0) หรือไม่ หรือในอีกแง่หนึ่งก็คือเป็นการทดสอบว่าวิศวกรที่จบจากมหาวิทยาลัยในประเทศไทยสามารถเติมเต็มความคาดหวังหรือความต้องการของสถานประกอบการได้หรือไม่นั่นเอง โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูล 2 กลุ่มด้วยเทคนิค Mann-Whitney test ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5

จากผลการทดสอบ Mann-Whitney test ของทักษะภาษาอังกฤษแต่ละด้านพบว่าค่า p-value มีค่าเท่ากับ 0.00 (น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05) นั่นคือระดับความต้องการของสถานประกอบการกับระดับความพึงพอใจมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกๆทักษะ ซึ่งจะพบว่าค่ามัธยฐานของความต้องการของบริษัทจะเท่ากับ 4 (มาก) ในขณะที่ค่ามัธยฐานของความพึงพอใจของนายจ้างมีค่าเท่ากับ 3 (ปานกลาง) เท่านั้น ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ระดับความสามารถด้านภาษาของวิศวกรยังต่ำกว่าความคาดหวังจากสถานประกอบการ

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบระดับความต้องการทักษะภาษาอังกฤษกับระดับความพึงพอใจในตัววิศวกร

ทักษะหลัก	p-value	หัวข้อ	จำนวนข้อมูล	ค่ามัธยฐาน
การฟัง	0.000	ระดับความต้องการ	478	4
		ระดับความพึงพอใจ	467	3
การพูด	0.000	ระดับความต้องการ	477	4
		ระดับความพึงพอใจ	472	3
การอ่าน	0.000	ระดับความต้องการ	242	4
		ระดับความพึงพอใจ	238	3
การเขียน	0.000	ระดับความต้องการ	484	4
		ระดับความพึงพอใจ	474	3

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้สอบถามความต้องการ และความพึงพอใจทักษะด้านภาษาของวิศวกรในสถานประกอบการต่างๆทั่วประเทศจำนวน 129 แห่ง พบว่า กิจกรรมในองค์กรที่จำเป็นต้องให้วิศวกรใช้ภาษาอังกฤษในการดำเนินงานมากที่สุดคือ การใช้ภาษาอังกฤษในการติดต่อผ่านอีเมลล์หรือจดหมาย ผลจากการตอบแบบสอบถามพบว่า ทักษะที่สถานประกอบการต้องการเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้แก่ อ่าน ฟัง เขียน พูด ตามลำดับ ความพึงพอใจของนายจ้างเกี่ยวกับความสามารถทั้ง 4 ด้านของวิศวกรจบใหม่ก็ยังอยู่เพียงแค่ในระดับปานกลางเท่านั้น และสถานประกอบการต้องการให้วิศวกรสามารถใช้ศัพท์เทคนิคสื่อสารได้อย่างเหมาะสม มากกว่าการใช้ภาษาได้อย่างถูกต้องตามหลักไวยากรณ์

หลังการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (Asian Economic Community: AEC) วิชาชีพวิศวกรถือเป็นหนึ่งใน 7 วิชาชีพที่จะเปิดเสรีให้เกิดการเคลื่อนย้ายแรงงาน อย่างไรก็ตามจากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าวิศวกรไทยยังมีระดับทักษะภาษาอังกฤษทุกด้านต่ำกว่าความคาดหวังของสถานประกอบการ ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาสูญเสียความสามารถในการแข่งขันกับวิศวกรชาติ

อื่น จึงจำเป็นต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ภายใต้โครงการส่งเสริมการเรียนการสอนภาษาอังกฤษและภาษาของประเทศเพื่อนบ้านเพื่อส่งเสริมและพัฒนาการเรียนการสอนภาษาอังกฤษเชิงวิชาชีพสำหรับการทำงานในประชาคมอาเซียน ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

เอกสารอ้างอิง

[1] Ministry of Higher Education, Malaysia (MoHE). (2008). The English Language Proficiency of Malaysian Public University Students. In Mohd Don. Z. et.al.eds. Enhancing the Quality of Higher Education through Research: Shaping Future Policy. Kuala Lumpur.

[2] Ambigaphaty, P., Aniswal, A.G. (2005). University Curriculum:An Evaluation On Preparing Graduates For Employment. Universiti Sains Malaysia:National Education Research Institute (IPPTN).

[3] Kassim, H., Ali, F. (2010). English communicative events and skills needed at the workplace. Feedback from the industry. English for Specific Purposes, 29, 168–182. Retrieved from. http://dx.doi.org/10.1016/j.esp. 2009.10.002.

[4] Paul Spence, Gi-Zen Liu (2013), Engineering English and the high-tech industry: A case study of an English needs analysis of process integration engineers at a semiconductor manufacturing company in Taiwan. English for Specific Purposes 32 (2013) 97 – 109

[5] Pendergrass, N., Kowalczyk, R., Dowd, J., & Laoulache, R. (2001). Improving first-year engineering education. Journal of Engineering Education. Retrieved May 12, 2008 from http://findarticles.com/p/articles/mi_qa3886/is_200101/ai_n8942238

[6] Pritchard, M & Nasr, A. (2004) Improving reading performance among Egyptian engineering tudents: Principles and practices. English for Specific Purposes 23, 425–445

[7] Ahmad Yasruddin Md Yasin, Wan Mohd haniff Wan Mohd Shaupil, Affidah Mardziah Mukhtar, Noor Izma Ab Ghani and Farawaheeda Rashid, The English Proficiency of Civil Engineering Students at a Malaysian Polytechnic. Asian Social Science, Vol.6, No.6 June 2010

[8] Pattama Kittidhaworn, An Assessment of the English-Language Needs of Second-Year Thai Undergraduate Engineering Students in a Thai Public University in Thailand in Relation to the Second-Year EAP Program in Engineering, PhD Dissertation, West Verginia University, 2001

[9] Kaewpet, C. (2009). Communication needs of Thai civil engineering students. English for Specific Purposes, 28, 266–278.

[10] Flynn, B.B. et al. (1990) 'Empirical research methods in operations management', Journal of Operations Management, 9(2), pp. 250-284.

[11] Saunders, M., Lewis, P. and Thornhill, A. (2003) Research methods for business students. Essex: Pearson Education.

[12] De Vaus, D. (2002) Surveys in social research. London: Routledge.

[13] Md.Jamal Hossain, 2013, ESP Needs Analysis for Engineering Students: A Learner Centered Approach Journal of PU, Part: B Vol.2 No.2, July 2013, pp 16-26 PRESIDENCY UNIVERSITY ISSN: 2224-7610

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการด้านการเงิน

The Decision Support System for Financial Module of Project Feasibility Study

พีรธัช วิริยาเสถียร[1*] ภัทรพล พันธ์เขตรกิจ[2] คเณศ พลอยดนัย[3]
[1,2,3]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ. นครปฐม 73000 E-mail: peeratach.w@gmail.com[*]

Peeratach Wiriyasatien[1*] Phattarapon Panketgit[2] Kanate Ploydanai[3]
[1,2,3]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Silpakorn University, Muang, Nakornpathom, 73000, E-mail: peeratach.w@gmail.com[*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นการพัฒนาโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์โครงการลงทุนในธุรกิจการผลิต เนื่องจากในปัจจุบันการวิเคราะห์โครงการลงทุนเป็นสิ่งที่ควรพิจารณาก่อนที่จะตัดสินใจลงทุนในโครงการนั้น นอกจากนี้การวิเคราะห์โครงการลงทุนยังช่วยในการพิจารณาอย่างรอบครอบถึงอัตราผลตอบแทน และความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นจากโครงการลงทุนต่าง ๆ ผู้วิจัยเริ่มเขียนโปรแกรมโดยการศึกษาภาพรวมของการวิเคราะห์โครงการลงทุนแล้วจึงปรับเปลี่ยนขั้นตอนการคำนวณให้ง่ายขึ้น ในการออกแบบโปรแกรมจะคำนึงถึงหน้าที่การใช้งานและความสะดวกของผู้ใช้โปรแกรมเป็นสำคัญ ผู้ใช้ต้องกรอกข้อมูลผ่าน VB หลังจากนั้นข้อมูลทั้งหมดจะถูกคำนวณโดยใช้ Microsoft Excel แล้วโหลดข้อมูลกลับไปแสดงผลในหน้าโปรแกรม VB ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลโดยการนำข้อมูลของโครงการที่ได้วิเคราะห์ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณ ผลปรากฏว่า ผลลัพธ์ระหว่างข้อมูลเดิมและโปรแกรมต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากกระบวนการคำนวณของโปรแกรมมีความละเอียดกว่า แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลของโครงการและผลลัพธ์จากโปรแกรมนั้นมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมไปใช้ประกอบการตัดสินใจลงทุนได้ ข้อสรุปของงานวิจัยนี้ คือ โปรแกรมวิเคราะห์โครงการลงทุนนี้ ใช้งานง่ายกว่าและนำไปใช้กับโครงการจริงได้ หากมีผู้นำโปรแกรมไปใช้งาน ผู้ใช้โปรแกรมจะได้ผลการวิเคราะห์โครงการลงทุนที่ถูกต้อง รวดเร็ว และแม่นยำ ที่สามารถนำผลลัพธ์ไปเป็นข้อมูลที่ช่วยตัดสินใจในการลงทุนได้

คำสำคัญ การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ การวิเคราะห์โครงการลงทุน การเงิน

Abstract

This research focused on a program development for an investment project analysis about manufacturing business. Since, nowadays, an investment project analysis should be considered before deciding to do an investment in any project; furthermore, an investment project analysis helped investors to consider a rate of return and a risk that might be occurred in an investment project. The researchers started developing program by studying the overview of an investment project analysis. After that, we modified a calculating procedure to be easier. To design a program, the researchers significantly considered about a usage and a convenience of the users. The users have to input a data in Graphic use interface of VB. After that, all data would be calculated by Microsoft Excel, and load import data to show results in GUI of VB again. We analyzed the data by taking the analyzed project's data to test with the program to check whether the calculation was correct or not. The result of this procedure illustrated that there is a little difference of an outcome because the calculation between an original data and the result from the program were different. Moreover, there are some constraints of this program that also affect to the result of the program. However, the

project's data and the result of the program inclined to the same direction; therefore, it was useful to help the investors to make a decision about an investment. In summary, it is easier for calculate all data by this program than by Microsoft Excel; furthermore, the users will get a correct, speedy and accurate result which can be useful for an investment as well.

Keywords: Project feasibility study, Project investment analysis, Finance

1. บทนำ

ในปัจจุบันต้นทุนทางโลจิสติกส์มีบทบาทสำคัญต่อภาคองค์กรและอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก ท่ามกลางสภาพการแข่งขันที่สูงขึ้น กำไรของบริษัทจึงถือว่าเป็นสิ่งสำคัญที่เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของธุรกิจ ดังนั้นต้นทุนจากการดำเนินงานมีผลกระทบโดยตรงต่อกำไรของบริษัท ทำให้การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการจึงเป็นสิ่งที่ควรพิจารณาว่าโครงการที่กำลังจะลงทุนอยู่นั้นมีความคุ้มค่าหรือไม่ นับว่าเป็นข้อมูลที่ดีที่จะช่วยในการพิจารณาอย่างรอบคอบถึงอัตราผลตอบแทน และความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นจากโครงการลงทุนต่างๆ

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการจะพิจารณา 4 ด้าน ได้แก่ ด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้านการจัดการ และด้านการเงิน สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ใน 3 ด้านแรกจะต้องวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการระดมสมอง และไม่มีรูปแบบของผลลัพธ์ที่ตายตัว แต่การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการด้านการเงินนั้นจะต้องใช้หลักการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล ที่ยุ่งยากและซับซ้อน

งานวิจัยฉบับนี้มีความประสงค์ที่จะนำ โปรแกรม Visual Basic.Net และ Microsoft Excel มามีส่วนช่วยช่วยในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการด้านการเงินที่จะช่วยให้การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการด้านการเงินทำได้ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น โดยโปรแกรม จะนำเสนอการ สร้างหน้าจอ GUI ด้วย VB จากนั้นส่งการคำนวณมาใช้สูตรต่างๆผ่าน MS-Excel และ ส่งผ่านข้อมูลดังกล่าว กลับไปแสดงผลใน GUI ของ VB เพื่อลดเวลาในการเขียนโปรแกรมและสามารถใช้งานใน ประเมินโครงการได้อย่างครบถ้วน

ในการพัฒนาโปรแกรมครั้งนี้โปรแกรมนี้มีข้อจำกัดทั้งหมด 12 ข้อ ได้แก่

1) ออกแบบมาสำหรับกิจการที่เป็นธุรกิจการผลิต
2) ออกแบบมาสำหรับวิเคราะห์การลงทุนในกิจการใหม่ ยังไม่มีการลงทุนใดๆในกิจการ
3) กำหนดระยะเวลาของโครงการอยู่ในช่วง 1-20 ปี
4) ไม่มีการจำหน่ายสินทรัพย์ลงทุนระหว่างโครงการ
5) ไม่มีการถอนทุนคืนหรือลงทุนเพิ่มระหว่างโครงการ
6) พิจารณาต้นทุนและรายได้เต็มจำนวน
7) ไม่คำนึงถึงวัตถุดิบคงคลัง
8) ไม่คำนึงถึงภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)
9) ของเสียที่เกิดขึ้นนับเป็นของเสียปกติ
10) จัดหาเงินทุนหมุนเวียนด้วยการกู้ยืมเท่านั้น
11) เงินทุนหมุนเวียนต้องชำระคืนภายในปีที่กู้เท่านั้น
12) การชำระเงินกู้ระยะยาว กำหนดให้ชำระปีละครั้งและเท่ากันทุกปี จนกว่าจะครบอายุของโครงการ

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ผศ.ดร.เจริญวิชญ์ สมพงษ์ธรรม ได้กล่าวถึงการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (Project Feasibility Study) ว่า คือการศึกษาภาพรวมของโครงการทั้งมหาภาคและจุลภาค แล้วจึงจัดทำเอกสารที่ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ เพื่อแสดงถึงความเหมาะสมของโครงการ โดยมีอัตราผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนในระดับที่พึงพอใจ การวิเคราะห์ประกอบไปด้วย 4 ด้าน ได้แก่ ด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้านการจัดการและด้านการเงิน [1]

สุมาลี จิวะมิตร ได้กล่าวถึง ด้านการเงินว่า คือการนำเอาผลการวิเคราะห์ทางด้านการตลาด ด้านเทคนิคและด้านการจัดการ มาจัดทำงบประมาณเงินลงทุน เพื่อแสดงให้เห็นถึงต้นทุนของเงินลงทุน ระยะเวลาคืนทุน อัตราผลตอบแทน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราส่วนระหว่างผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน ข้อมูลทั้งหมดจะบ่งชี้ว่าโครงการที่กำลังลงทุนอยู่นั้นมีความคุ้มค่าแก่การลงทุนหรือไม่ [2,7]

อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์ ได้กล่าวถึง เครื่องมือในการวิเคราะห์และประเมินโครงการ ว่ามี 4 วิธี ได้แก่ วิธีระยะเวลาคืนทุนที่คำนึงถึงงวดเวลา (The Discounted Payback Period Method : DPP) เป็นการพิจารณา

โครงการลงทุนจากมูลค่าเงินลงทุนที่เสียไปกับระยะเวลาที่จะได้รับประโยชน์จากการลงทุนคืน วิธีผลตอบแทนจากการลงทุน (The Internal Rate of Return Method : IRR) เป็นการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่จะได้รับจากการลงทุนในโครงการ วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (The Net Present Value Method : NPV) จะคำนวณหาผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับในอนาคตตามอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ หรือต้นทุนเงินทุนกับต้นทุนเงินทุนเริ่มแรกและวิธีอัตราส่วนระหว่างผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (The Benefit-Cost Ratio Method : B/C Ratio) เป็นอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดเข้าสุทธิกับกระแสเงินสดจ่ายลงทุนครั้งแรกหลังภาษี [3,7]

บัญชา ปะสีละเตสัง ได้กล่าวถึง Visual Basic หรือ VB ไว้ว่าเป็นโปรแกรมภาษาที่สมบูรณ์แบบที่สุดตัวหนึ่ง เพราะประกอบด้วยเครื่องมือที่ช่วยให้เราพัฒนาแอปพลิเคชั่นที่หลากหลาย สบายต่อการใช้งานและเป็นที่นิยมสำหรับผู้ที่ต้องการพัฒนาโปรแกรม [4]

ธนะกิตติ บำรุงเชาว์เกษม ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนของการเป็นศูนย์จำหน่ายและให้บริการปั๊มสามสูบ ผลจากการศึกษาด้านการเงินพบว่า มีต้นทุนของเงินทุน (WACC) เท่ากับ 10.64% สำหรับ NPV ณ WACC มีค่าเท่ากับ 14,196,217 บาท มี IRR เท่ากับ 23.45% ซึ่งสูงกว่า WACC และระยะเวลาคืนทุนประมาณ 4.48 ปี น้อยกว่าอายุโครงการที่กำหนดไว้ 10 ปี จึงสรุปได้ว่าโครงการนี้สมควรลงทุน [5]

ดารุณี บุญสินไทย ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการพัฒนาคุณภาพการผลิตน้ำประปา อายุของโครงการมีอายุ 20 ปี ผลจากการวิเคราะห์โครงการนี้พบว่า NPV มีค่าเท่ากับ -9,570,867 บาท B/C Ratio มีค่าเท่ากับ 0.76 IRR มีค่าเท่ากับ -7.12% จากข้อมูลทั้งหมดจึงสรุปได้ว่าโครงการนี้ไม่ควรลงทุนเนื่องจากการลงทุนไม่คุ้มค่า [6]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1) ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการคัดเลือกงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่เป็นโครงการลงทุนในธุรกิจการผลิตและมีความครบถ้วนในแง่ของการวิเคราะห์โครงการลงทุนเพื่อนำมาเป็นหลักพื้นฐานในการออกแบบโปรแกรม

2) ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่มีข้อมูลการวิเคราะห์โครงการที่นอกจากข้อมูลปฐมภูมิ ใช้เป็นข้อมูลสนับสนุน และออกแบบโปรแกรมให้มีหน้าที่การทำงานเพิ่มเติมตามที่ผู้วิจัยได้ออกแบบ

3.2 ศึกษาภาพรวมของการวิเคราะห์โครงการ

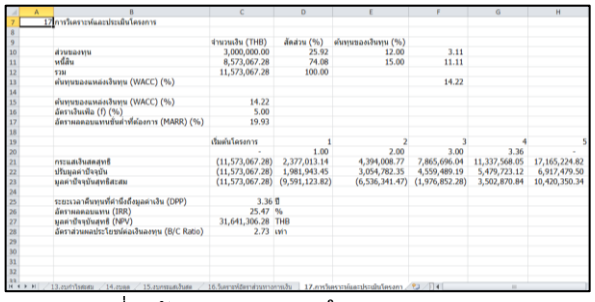
จากการศึกษาภาพรวมของการวิเคราะห์โครงการสามารถสรุปได้เป็นหัวข้อ ดังนี้

1) กำหนดเงินลงทุนที่ต้องการ
2) ประมาณผลประโยชน์ที่ได้รับจากการลงทุน
3) ประมาณการความเสี่ยงของกระแสเงินสด
4) กำหนดอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ
5) คำนวณหามูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด
6) เปรียบเทียบกระแสเงินสดกับเงินลงทุน

ทางผู้วิจัยได้ตัดขั้นตอนที่ 3 ออกจากการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจาก การประเมินความเสี่ยงของกระแสเงินสดจะต้องใช้หลักการทางสถิติที่เรียกว่า ความน่าจะเป็นที่จะเกิดกระแสเงินสดที่คาดไว้ (Probability Distribution) [7] ซึ่งผลลัพธ์ที่ออกมาไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ทางผู้วิจัยจึงตัดสินใจตัดการวิเคราะห์ในส่วนนี้ออกไป

3.3 การสร้างกระบวนการการคำนวณและการแสดงผล

1) การสร้างกระบวนการการคำนวณข้อมูลใน Microsoft Excel ทางผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างกระบวนการการการคำนวณไว้ใน Microsoft Excel โดยหน้าต่างการคำนวณมีทั้งหมด 18 หน้า

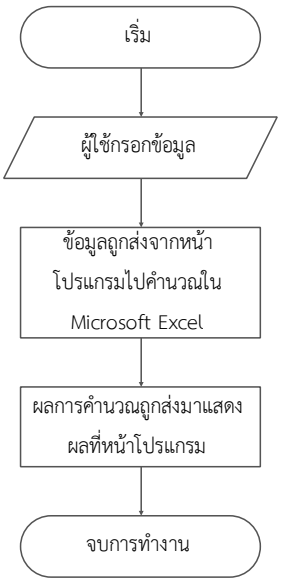


7	17 การวิเคราะห์และประเมินโครงการ						
8							
9		จำนวนเงิน (THB)	สัดส่วน (%)	ต้นทุนของเงินทุน (%)			
10	ส่วนของทุน	3,000,000.00	25.92	12.00	3.11		
11	หนี้สิน	8,573,067.28	74.08	15.00	11.11		
12	รวม	11,573,067.28	100.00				
13	ต้นทุนของแหล่งเงินทุน (WACC) (%)				14.22		
14							
15	ต้นทุนของแหล่งเงินทุน (WACC) (%)	14.22					
16	อัตราเงินเฟ้อ (f) (%)	5.00					
17	อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ (MARR) (%)	19.93					
18							
19		เริ่มต้นโครงการ	1	2	3	4	5
20		-	1.00	2.00	3.00	3.36	-
21	กระแสเงินสดสุทธิ	(11,573,067.28)	2,377,013.14	4,394,008.77	7,865,696.04	11,337,568.05	17,165,224.82
22	ปริมูลค่าปัจจุบัน	(11,573,067.28)	1,981,943.45	3,054,782.35	4,559,489.19	5,479,723.12	6,917,479.50
23	มูลค่าปัจจุบันสุทธิสะสม	(11,573,067.28)	(9,591,123.82)	(6,536,341.47)	(1,976,852.28)	3,502,870.84	10,420,350.34
24							
25	ระยะเวลาคืนทุนที่คำนึงถึงมูลค่าเงิน (DPP)	3.36 ปี					
26	อัตราผลตอบแทน (IRR)	25.47 %					
27	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	31,641,306.28	THB				
28	อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C Ratio)	2.73	เท่า				

รูปที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณใน Microsoft Excel

2) การสร้างหน้าต่างเพื่อแสดงข้อมูลใน VB หลังจากที่ผู้วิจัยสร้างกระบวนการการการคำนวณเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้ออกแบบหน้าต่างเพื่อแสดงข้อมูลต่างๆ โดยการเชื่อมโยงไปยัง Microsoft Excel แล้วเรียก

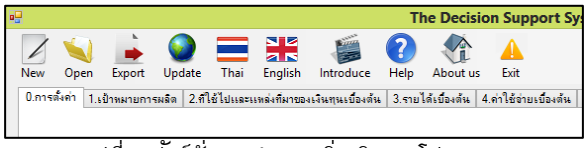
ข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาแสดงผลในหน้าต่างของ VB เพื่อความสวยงามและง่ายต่อการใช้งาน



รูปที่ 2 ผังกระบวนการการคำนวณและการแสดงผลข้อมูล

3.4 ออกแบบการทำงานของโปรแกรม

สำหรับการออกแบบการทำงานของโปรแกรม ทางผู้วิจัยได้กำหนดหน้าที่ตามความเหมาะสมจากการใช้งานโปรแกรมโดยทั่วไป เพื่อให้โปรแกรมมีความสามารถมากขึ้นนอกเหนือจากการคำนวณเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 3 ฟังก์ชั่นการทำงานเพิ่มเติมของโปรแกรม

3.5 ทดสอบและปรับปรุงโปรแกรม

เพื่อความสมบูรณ์ในด้านองค์ประกอบ และกระบวนการการการคำนวณ ทางผู้วิจัยได้วางแผนการปรับปรุงโปรแกรมด้วยการนำกรณีศึกษามาทดสอบกับโปรแกรม 2 กรณีศึกษา แต่อย่างไรก็ตามโครงการลงทุนดังกล่าวยังต้องอยู่ในข้อจำกัดของโปรแกรมเช่นกัน

3.6 ทำวีดีโอแนะนำการใช้โปรแกรม

หลังจากการทดสอบและปรับปรุงโปรแกรมเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทางผู้วิจัยมีแผนการจัดทำวีดีโอแนะนำการใช้งานโปรแกรมเบื้องต้น โดยทางผู้วิจัยจะนำเสนอเป็นวีดีโอให้ครบตามหน้าที่การใช้งาน

3.7 สรุปผลงานวิจัยและการจัดทำรายงาน

ทางผู้วิจัยจะเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูลระหว่าง กรณีศึกษาและข้อมูลที่ถูกวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม ว่าได้ผลเป็นอย่างไร มีความแตกต่างในด้านหน้าที่การใช้งานอย่างไร

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการทั้งหมดแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายทางผู้วิจัยจะเก็บผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดมาสรุป และอภิปรายผล โดยอ้างอิงกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ตามลำดับการทำงานจริง

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 รายละเอียดเบื้องต้นของโปรแกรม

1) เป้าหมายการผลิต (Target) เป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้ประมาณการเป้าหมายการผลิต ในระยะเวลา 1 ปี เป็นการผลิตแบบเต็มความสามารถ และไม่มีของเสีย

2) ที่ใช้ไปและแหล่งที่มาของเงินลงทุน (Use and Source of Fund) เป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้กรอกรายละเอียดของสินทรัพย์ที่ลงทุนในโครงการ

3) รายได้เบื้องต้น (Introductory Revenues) เป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้ประมาณการยอดขายจากการผลิตในโครงการ ในที่นี้เป็นการประมาณการในกรณีที่มีการผลิตเต็มโครงการและไม่มีของเสีย

4) ค่าใช้จ่ายเบื้องต้น (Introductory Expenses) เป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของโครงการ ในที่นี้เป็นการประมาณการในกรณีที่มีการผลิตเต็มโครงการและไม่มีของเสีย

5) จุดคุ้มทุน (Break-even Point) เป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้เลือกค่าใช้จ่ายของของโครงการตามที่ผู้ใช้ได้กรอกรายละเอียดไปแล้วว่าเป็นค่าใช้จ่ายคงที่หรือแปรผันเพื่อที่จะคำนวณจุดคุ้มทุนในมิติของปริมาณ และมูลค่า

6) ปริมาณสินค้า (Product Quantity) เป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้กำหนดสัดส่วนสินค้าที่เป็นของดีในแต่ละปีนับตั้งแต่ปีแรกจนถึงปีสุดท้าย และคำนวณสัดส่วนของสินค้าที่เป็นของดี สินค้าที่ขายไป สินค้าคงคลัง และของเสียตลอดอายุของโครงการ

7) รายได้ของโครงการ (Project Revenues) ในส่วนนี้โปรแกรมจะคำนวณรายได้ตลอดอายุของโครงการโดยคำนึงถึงสัดส่วนที่เป็นของดีในแต่ละปีที่ผู้ใช้ได้กำหนดเอาไว้ในส่วนที่ 6

8) ค่าใช้จ่ายของโครงการ (Project Expenses) ใน

ส่วนนี้โปรแกรมจะคำนวณต้นทุนการผลิต ในแต่ละปีและนำข้อมูลจากส่วนที่ 6 มาคำนวณต้นทุนขาย คำนวณค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร นอกจากนี้ยังคำนวณค่าเสื่อมราคาในแต่ละปี และค่าเสื่อมราคาสะสมอีกด้วย

9) เงินทุนหมุนเวียน (Working Capital) ในส่วนนี้โปรแกรมจะคำนวณเงินทุนหมุนเวียนที่จำเป็นในแต่ละปีโดยคำนึงถึง ลูกหนี้การค้า สินค้าคงคลัง เจ้าหนี้การค้าและค่าใช้จ่ายค้างจ่าย และยังคำนวณจำนวนเงินที่ต้องจ่ายคืนพร้อมดอกเบี้ย ที่ผู้ใช้กำหนดไว้ในส่วนแรก

10) เงินทุนจดทะเบียน (Capital Investment) ในส่วนนี้โปรแกรมจะคำนวณเงินปันผลจ่ายต่อปีโดยคำนึงถึงอัตราการจ่ายเงินปันผล อัตราขยายตัวของผลกำไร ราคาหุ้น ที่ผู้ใช้กำหนดไว้ในส่วนแรก

11) เงินกู้ระยะยาว (Long-Term Loans) ในส่วนนี้โปรแกรมจะคำนวณดอกเบี้ยจ่ายและเงินต้นคงเหลือในแต่ละปีตามที่ผู้ใช้กำหนดไว้ในส่วนแรก

12) งบกำไร-ขาดทุน (Statement of Income) ในส่วนนี้เป็นการนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจัดทำเป็นงบกำไร-ขาดทุน ตลอดระยะเวลาโครงการ

13) งบกำไรสะสม (Statement of Retained Earnings) ในส่วนนี้เป็นการนำกำไรสุทธิจากงบกำไรขาดทุนมาหักเงินปันผลจ่ายเป็นกำไรสะสมของผู้ถือหุ้น

14) งบดุล (Balance Sheet) ในส่วนนี้เป็นการนำข้อมูลสินทรัพย์ หนี้สินและส่วนของผู้ถือหุ้น มาจับทำเป็นงบดุล

15) งบกระแสเงินสด (Statement of Cash Flows) ในส่วนนี้เป็นการนำรายการเปลี่ยนแปลงในบัญชีงบดุลระหว่างปีมาจัดทำเป็นงบกระแสเงินสด โดยผลลัพธ์สุดท้ายจะแสดงผลเป็นเงินสดปลายงวด

16) การวิเคราะห์อัตราส่วนทางการเงิน (Financial Ratio Analysis) ในส่วนนี้เป็นการนำข้อมูลจากงบการเงินมาวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่บ่งบอกถึงความสามารถและประสิทธิภาพทางการเงินของโครงการนี้

17) การวิเคราะห์และประเมินโครงการ (Analysis and Evaluation of Project) ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายเพื่อสรุปว่าโครงการลงทุนนี้สมควรลงทุนหรือไม่ โดยนำข้อมูลจากงบกระแสเงินสดมาปรับเป็นมูลค่าปัจจุบันด้วยอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ (MARR) ที่โปรแกรมได้คำนวณจากข้อมูลต่างๆของผู้ใช้และประเมินด้วยเครื่องมือทั้ง 4 เป็นอันเสร็จสิ้นการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ

4.2 การเปรียบเทียบระหว่างกรณีศึกษาและผลลัพธ์จากโปรแกรม

ทางผู้วิจัยได้เลือกสาระสำคัญของการวิเคราะห์โครงการลงทุน ได้แก่ MARR, DPP, IRR, NPV และ B/C Ratio มาเปรียบเทียบกันระหว่างผลลัพธ์จากโปรแกรมและข้อมูลของกรณีศึกษา มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบสาระสำคัญระหว่างกรณีศึกษาและโปรแกรม

	กรณีศึกษา	โปรแกรม
MARR (%)	15.00	18.42
DPP (ปี)	2.93	3.29
IRR (%)	41.00	27.50
NPV (บาท)	29,982,990.00	34,838,923.89
B/C Ratio (เท่า)	2.59	3.01

จะเห็นว่าผลลัพธ์ของโปรแกรมไม่เท่ากันทุกประการ แต่มีแนวโน้มที่ผลลัพธ์จะเป็นไปในแนวทางเดียวกันซึ่งมีผลมากจากกระบวนการคำนวณของแต่ละโปรแกรมไม่เหมือนกันอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของโปรแกรมที่ทางผู้วิจัยกำหนดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามโปรแกรมจะใช้หลักการพื้นฐานการคำนวณเดียวกัน นั่นคือ ใช้หลักการทางการเงิน เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม บัญชีและอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โครงการลงทุน ดังนั้นจึงสามารถใช้ผลลัพธ์จากโปรแกรมมาประกอบการตัดสินใจได้

4.3 ข้อได้เปรียบของโปรแกรม

โปรแกรมนี้ถูกออกแบบมาเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานที่ต้องการวิเคราะห์โครงการลงทุน โดยมีหน้าที่การใช้งานที่เป็นจุดเด่น ดังนี้

1) สามารถล้างข้อมูลใหม่ทั้งหมดได้โดยไม่ต้องลบทีละข้อมูล โดยการกดปุ่ม New

2) สามารถเรียกเอกสารรายงานที่ถูกบันทึกไว้แล้วโดยการกดปุ่ม Open

3) สามารถบันทึกข้อมูลการวิเคราะห์โครงการเป็นเอกสารรายงานได้ โดยการกดปุ่ม Export

4) มีการแสดงผลในรูปของสกุลอื่นๆ และมีการปรับปรุงข้อมูลอัตราแลกเปลี่ยนได้ตลอดเวลาที่ใช้งานเมื่อ

เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต โดยการกดปุ่ม Update

5) สามารถเปลี่ยนภาษาได้ โดยการกดเลือกภาษาที่ต้องการ (Thai, English)

6) มีการสอนการใช้งานด้วยวีดีโอแนะนำการสอน โดยการกดปุ่ม Introduce

7) มีระบบการป้องกันการกดปุ่มออกจากโปรแกรมถึง 2 ขั้นตอน เพื่อป้องกันผู้ใช้กดปุ่มพลาดแล้วออกจากโปรแกรมโดยยังไม่ได้บันทึก

8) มีระบบตรวจสอบความถูกต้องของการป้อนข้อมูล

9) มีความรวดเร็วในการคำนวณ

10)ง่ายต่อการใช้งาน

11)การคำนวณมีความแม่นยำ ถูกต้อง ตามหลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์โครงการ

5. อภิปรายผล

ผู้ดำเนินงานวิจัยเปรียบเทียบการทำงานของมนุษย์ระหว่างการใช้โปรแกรมและประสบการณ์ สามารถสรุปได้ว่าการวิเคราะห์โครงการลงทุนเริ่มเขียนกระบวนการการคำนวณใหม่ จะมีความยุ่งยากต่อการวิเคราะห์มาก เนื่องจากการวิเคราะห์มีความละเอียดของเนื้อหาและข้อมูลจำนวนมาก และใช้เวลานาน ในทางกลับกันการเริ่มวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมที่ทางผู้ดำเนินงานวิจัยได้จัดทำขึ้นนั้นมีแบบแผนที่ชัดเจน ทำให้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจในการลงทุนได้จริง เนื่องจากผลลัพธ์จากโปรแกรมเป็นไปในทิศทางเดียวกับข้อมูลกรณีศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร และบุคคลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ที่ให้ความร่วมมือในการงานวิจัยนี้ด้วยดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

[1] เจริญวิชญ์ สมพงษ์ธรรม, การบริหารและประเมินโครงการ ศูนย์นวัตกรรมการบริหารผู้นำทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2554

[2] สุมาลี จิวะมิตร, การบริหารการเงิน, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545

[3] อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์, การตัดสินใจเพื่อการลงทุน, ข้อมูลจาก http://home.kku.ac.th/anuton/3526301/Doc_04.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 ตุลาคม 2557)

[4] บัญชา ปะสีละเตสัง, พัฒนาแอปพลิเคชั่นด้วย Visual Basic 2010, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2554

[5] ธนะกิตติ บำรุงเชาว์เกษม. การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนของการเป็นศูนย์จำหน่ายและให้บริการปั๊มสามสูบในอำเภอเมืองสมุทรสาคร, ข้อมูลจาก http://dric.nrct.go.th/bookdetail.php?book_id=21255, (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 ตุลาคม 2557)

[6] ดารุณี บุญสินไทย. การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการพัฒนาคุณภาพการผลิตน้ำประปา องค์การบริหารส่วนตำบลสำนักบก อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี, ข้อมูลจาก www.nakarugsa.com/cidmis/document/2555ดารุณี.pdf, (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 ตุลาคม 2557)

[7] พรรณุภา ธุวนิมิตร, การเงินธุรกิจ (Corporate Finance), ภาควิชาการเงิน คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ท่าพระจันทร์, 2553