

## การศึกษาการรีไซเคิลปูนปลาสเตอร์ของแบบหล่อจากอุตสาหกรรมเครื่องประดับ Study of the recycling plaster mold from jewelry industry

อานนท์ อางนานนท์<sup>1</sup>,  
ณัฐพล ศรีสิทธิโกศล<sup>1,2,\*</sup> และ จักรพงษ์ แก้วขาว<sup>1,2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติของปูนปลาสเตอร์ และหาแนวทางการนำปูนปลาสเตอร์ที่ถูกทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกครั้ง จากการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่าเมื่อปูนปลาสเตอร์ที่ได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส จะไม่พบโครงสร้างของน้ำที่อยู่ในรูปแบบของแคลเซียมซัลเฟตไฮเดรตที่จะสามารถทำให้ปฏิกิริยาผันกลับได้ ส่งผลให้ปูนปลาสเตอร์ไม่สามารถนำกลับมาปรับปรุงและขึ้นรูปใหม่ได้โดยตรง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำปูนปลาสเตอร์เก่าที่ผ่านกระบวนการทำเครื่องประดับแล้วมาผสมกับปูนปลาสเตอร์ใหม่ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้ปูนปลาสเตอร์ใหม่ให้มากที่สุด จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของปูนปลาสเตอร์ใหม่ต่อปูนปลาสเตอร์เก่า ที่สามารถใช้งานได้มากที่สุดคือ 60:40 โดยต้องผสมกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม คือ 41.5 มิลลิลิตร และสามารถแข็งตัวได้ในเวลา 39 นาที

**คำสำคัญ:** ปูนปลาสเตอร์, แคลเซียมซัลเฟตไฮเดรต, ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

### Abstract

In this research, the properties of plaster waste generated by jewelry industry in Thailand have been studied for recycling process. The result from FTIR technique showed that the plaster which was heated at temperature higher than 340 °C not found the functional group of water in calcium sulphate hemihydrate structure. Therefore, the process is irreversible; the plaster waste cannot be reused. Due to reuse of waste in industry has become extremely important for economic and environmental reasons. Taking account of the economic reason, the reuse of material means the cost of manufacturing can be reduced which enables such recovered materials to compete with new products. Therefore, the plaster waste has been used to replace the new plaster in the ration of 60:40 with 41.5 ml of water content and can be setting time in 39 minutes.

**Keywords:** plaster, calcium sulphate hemihydrate, FTIR

### บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการผลิต และส่งออกเครื่องประดับอัญมณีเป็นจำนวนมาก เช่น แหวน สร้อยคอ กำไลข้อมือ เข็มกลัด เป็นต้น ในขั้นตอนการผลิตเครื่องประดับ ต้องมีการสร้างแบบสำหรับหล่อชิ้นงานเครื่องประดับ และการสร้างแบบสำหรับหล่อชิ้นงานเครื่องประดับ ได้มีการนำปูนปลาสเตอร์เข้ามาใช้ในการสร้างแบบหล่อชิ้นงาน ซึ่งจากการหล่อชิ้นงานปูนปลาสเตอร์เหล่านั้นจะเสียสภาพไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ส่งผลให้เกิดปัญหาขยะจากปูนปลาสเตอร์จำนวนมาก ปัจจุบันการกำจัดปูนปลาสเตอร์ที่ถูกทิ้งจากกระบวนการอุตสาหกรรมเครื่องประดับ ได้มีการกำจัดโดยการฝังกลบ ซึ่งในแต่ละปี

<sup>1</sup> โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม 85 ถ.มาลัยแมน อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

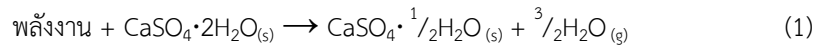
<sup>2</sup> ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้ว และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม 85 ถ.มาลัยแมน อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

\* E-mail: nattapon2004@gmail.com

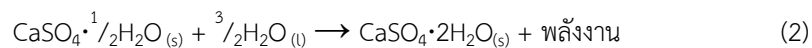
ปริมาณของปูนปลาสเตอร์ที่ถูกทิ้งมีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ส่งผลกระทบต่อการจัด ผู้วิจัยสนใจในการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำปูนปลาสเตอร์ที่ถูกทิ้งมากลับมาใช้ใหม่เพื่อลดต้นทุน และปริมาณขยะจากอุตสาหกรรม

### ทฤษฎี

ยิปซัมเป็นแร่ที่มีอยู่ในธรรมชาติซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเป็น แคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) เมื่อนำยิปซัมมาทำการให้ความร้อนเพื่อให้บางส่วนหลุดออกจะเกิดเป็นปลาสเตอร์ ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต (CaSO<sub>4</sub>·<sup>1</sup>/<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O) ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้



และเมื่อนำไปผสมน้ำเพื่อใช้งานก็จะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับดังนี้



โดยจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของพลังงานความร้อน (Singh & Middendorf, 2007: 57-77; Chindaprasit et al., 2011: 3193–3203; Kostic-Pulek et al., 2004: 115-119) กระบวนการเผาหรือให้ความร้อนแก่ยิปซัมจะสามารถผลิตปูนปลาสเตอร์ได้ 2 ชนิด

ปูนปลาสเตอร์ชนิดแอลฟา (α-plaster) เป็นปูนปลาสเตอร์ผลิตโดยใช้กระบวนการที่ให้ความร้อนแก่ยิปซัมในบรรยากาศที่มีความชื้นอย่างเพียงพอ หรือโดยการเผาในสถานะแบบไอน้ำ (steam treatment) ที่อุณหภูมิ 110-160 องศาเซลเซียส



ปูนปลาสเตอร์ชนิดเบตา (β-plaster) เป็นปูนปลาสเตอร์ผลิตโดยวิธีการคั่ว ให้ไอน้ำระเหยออกจากผลึกปูนปลาสเตอร์กระบวนการนี้จะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 130-150 องศาเซลเซียส แก่ยิปซัมอย่างรวดเร็ว และมีการกวนอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ไอน้ำระเหยออกไปได้ดี (Marinkovic et al., 2004: 89 - 100)



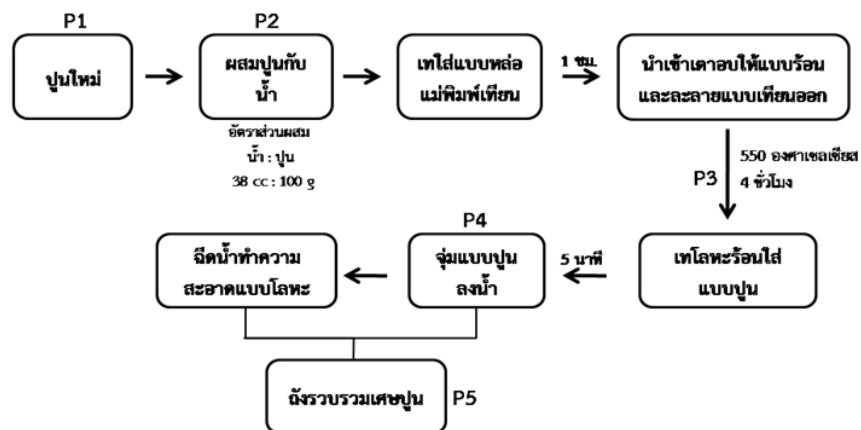
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบลักษณะและสมบัติที่ต่างกักันของปูนปลาสเตอร์ชนิดแอลฟาและเบตา (กรกนก บุญเสริม, 2551: 15)

ลักษณะและสมบัติ	ปูนปลาสเตอร์ชนิดแอลฟา	ปูนปลาสเตอร์ชนิดเบตา
ขนาดผลึก	มีขนาดเล็ก (10-20 μm)	มีขนาดเล็กมาก (1-5 μm)
รูพรุนภายในอนุภาค	ไม่มีรูพรุน	มีรูพรุน
พื้นที่ผิวจำเพาะ	มีปริมาณน้อย	มีปริมาณมาก
ตำหนิที่พบในผลึก	พบน้อย	พบมาก
ความต้องการน้ำในการทำปฏิกิริยา	ต้องการน้ำน้อย	ต้องการน้ำมาก
อัตราเร็วในการให้ความแข็งแรง	เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ	เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว
ความแข็งแรง	แข็งแรงสูง	แข็งแรงต่ำ

## ขั้นตอนการทดลอง

### 1. การเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างปูนปลาสเตอร์จากกระบวนการผลิตเครื่องประดับจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเก็บปูนปลาสเตอร์ใหม่ก่อนการใช้งาน (P1) และเมื่อนำไปผสมน้ำในอัตราส่วนปูนปลาสเตอร์ 100 กรัม ต่อ น้ำ 30 มิลลิลิตร (P2) และปูนปลาสเตอร์ที่ใช้เป็นแบบหล่อเข้าอบที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส (P3) หลังจากนั้นเทโลหะใส่แบบปูนปลาสเตอร์ที่ร้อนและถูกนำไปจุ่มลงน้ำเพื่อให้แบบปูนปลาสเตอร์หลุดออก (P4) จากนั้นเศษปูนปลาสเตอร์จะถูกรวบรวมเก็บไว้เพื่อรอการกำจัดอีกครั้ง (P5) จากนั้นตัวอย่างที่เก็บได้นำมาทำการตากให้แห้งภายใต้อุณหภูมิห้อง และทำการบดให้ละเอียด



รูปภาพที่ 1 กระบวนการผลิตเครื่องประดับ

### 2. วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

นำตัวอย่างที่ตากให้แห้ง และบดละเอียด P1, P2, P3, P4 และ P5 นำมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน และอบตัวอย่าง P2 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) โดยเครื่องยี่ห้อ Agilent รุ่น Cary 630 โดยวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น 650-4000 ต่อเซนติเมตร

### 3. วัดความหนืด และทดสอบเวลาในการแข็งตัว

ซึ่งปูนปลาสเตอร์ และผสมน้ำตามอัตราส่วนต่าง ๆ และนำไปวัดความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดยี่ห้อ Brookfield รุ่น DV-1+ โดยใช้หัววัดความหนืด RV เบอร์ 2 ความเร็ว 0.5 รอบต่อนาที และจับเวลาของการแข็งตัวโดยเริ่มจับเวลาเมื่อเริ่มผสมน้ำ แล้วสิ้นสุดเมื่อปูนปลาสเตอร์แข็งตัว

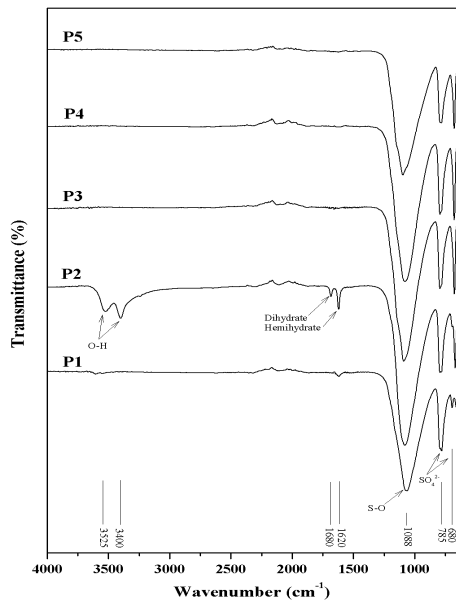
## ผลการทดลอง

### 1. ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

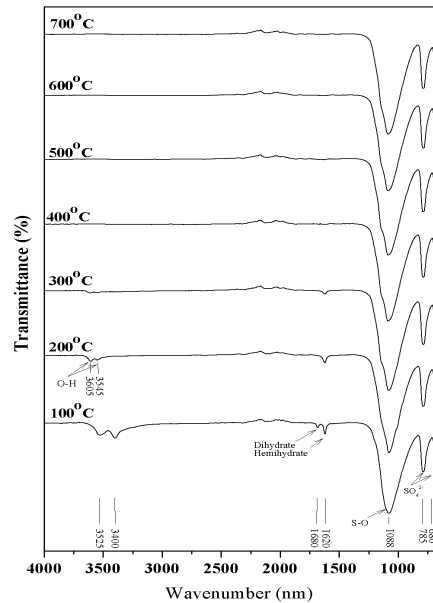
จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันตัวอย่างปูนปลาสเตอร์ที่เก็บจากโรงงานอุตสาหกรรม จากรูปภาพที่ 2 ตัวอย่าง P1-P5 พบโมเลกุลของ  $\text{SO}_4^{2-}$  ที่ตำแหน่ง 680 และ 785 ต่อเซนติเมตร และพบพันธะ S-O ที่ตำแหน่ง 1088 ต่อเซนติเมตร เช่นเดียวกัน ทั้ง 5 ตัวอย่าง ส่วนตัวอย่าง P1 พบว่ามีตำแหน่งที่ 1620 ต่อเซนติเมตร เกิดขึ้นซึ่งเป็นตำแหน่งของพันธะ O-H ที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุลน้ำแบบ Hemihydrate และที่ตำแหน่ง P2 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ผ่านการผสมน้ำและแข็งตัว พบว่ามีตำแหน่งที่ 1620, 1680, 3400 และ 3525 ต่อเซนติเมตร เกิดขึ้น ซึ่งที่ตำแหน่ง 1680 ต่อเซนติเมตร เป็นตำแหน่งของพันธะ O-H ที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุลน้ำแบบ Dihydrate และที่ตำแหน่ง 3400 และ 3525 ต่อเซนติเมตร เป็นตำแหน่งของพันธะ O-H (O-H stretching) ส่วนตัวอย่าง P3, P4 และ P5 ไม่พบตำแหน่งของพันธะ O-H เกิดขึ้น (Al-Jobouri, 2011)

จากรูปภาพที่ 3 พบว่าเมื่อนำปูนปลาสเตอร์ P2 ที่ผ่านการผสมน้ำและนำไปอบที่อุณหภูมิ 100-700 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ตำแหน่ง Dihydrate หายไป และเมื่ออบที่อุณหภูมิสูงขึ้นพบว่าตำแหน่ง

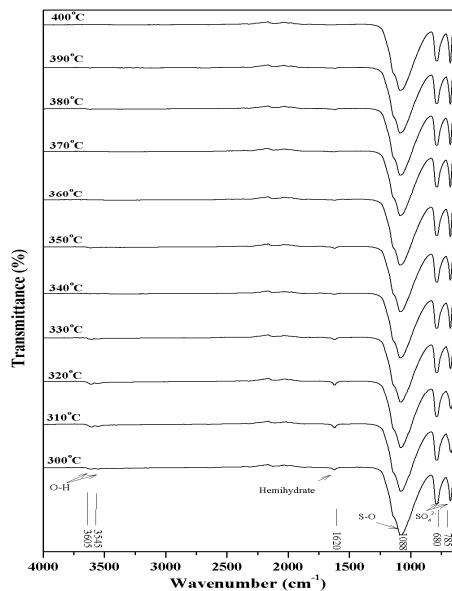
Hemihydrate ลดลง และหายไปเมื่ออบจนถึงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงทำการศึกษาตัวอย่างที่อบในช่วง 100-200 องศาเซลเซียส และ 300-400 องศาเซลเซียส เพื่อหาอุณหภูมิที่ทำให้ตำแหน่ง Dihydrate และ Hemihydrate หายไปจากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีตำแหน่ง Dihydrate แต่เมื่ออบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ตำแหน่ง Dihydrate หายไปและเหลือเฉพาะตำแหน่ง Hemihydrate ดังรูปภาพที่ 4 และปูนปลาสเตอร์ P2 อบที่อุณหภูมิช่วง 300-400 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตำแหน่ง Hemihydrate ค่อย ๆ ลดลง จนถึงอุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส ตำแหน่ง Hemihydrate หายไป ดังรูปภาพที่ 5



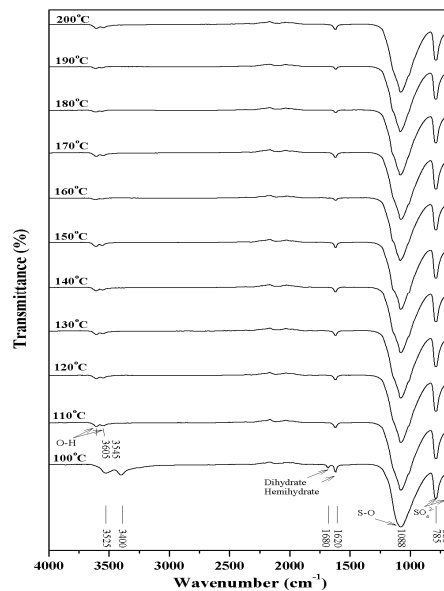
รูปภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน P1, P2, P3, P4 และ P5



รูปภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน P2 อบที่อุณหภูมิ 100-700 องศาเซลเซียส



รูปภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน P2 อบที่อุณหภูมิ 100-200 องศาเซลเซียส



รูปภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน P2 อบที่อุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส

## 2. ผลวัดความหนืด และทดสอบเวลาในการแข็งตัว

จากการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันพบว่าปูนปลาสเตอร์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม P4 และ P5 ไม่พบตำแหน่งของน้ำภายในปูนปลาสเตอร์เหมือนกัน จึงเลือก P4 มาทำการทดลองการแข็งตัวของโดยพบว่าเมื่อปูนปลาสเตอร์ได้รับอุณหภูมิสูงทำให้ตำแหน่ง Hemihydrate หายไปทำให้ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงได้ทำการนำปูนปลาสเตอร์ P4 ที่เก็บจากโรงงานอุตสาหกรรมมาทำการผึ่งให้แห้งภายใต้อุณหภูมิห้อง และทำการบดให้ละเอียดจากนั้นนำมาทำการผสมกับปูนปลาสเตอร์ใหม่ P1 ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ด้วยอัตราส่วนปูนปลาสเตอร์ 100 กรัม ต่อน้ำ 38 มิลลิลิตร และจับเวลาในการแข็งตัวของปูนปลาสเตอร์ได้ดังตารางที่ 2 โดยพบว่าสามารถผสมปูนปลาสเตอร์ใหม่ P1 กับปูนปลาสเตอร์ P4 พบว่าสามารถผสมปูนปลาสเตอร์ P4 ได้มากที่สุดที่อัตราส่วน 60:40 โดยใช้เวลาในการแข็งตัวที่ 38 นาที โดยปูนปลาสเตอร์ใหม่ 100 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลา 30 นาที ในการแข็งตัวส่วนปูนปลาสเตอร์ที่มีการผสมปูนปลาสเตอร์ P4 ในอัตราส่วน 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100 พบว่าปูนปลาสเตอร์ไม่เกิดการแข็งตัว

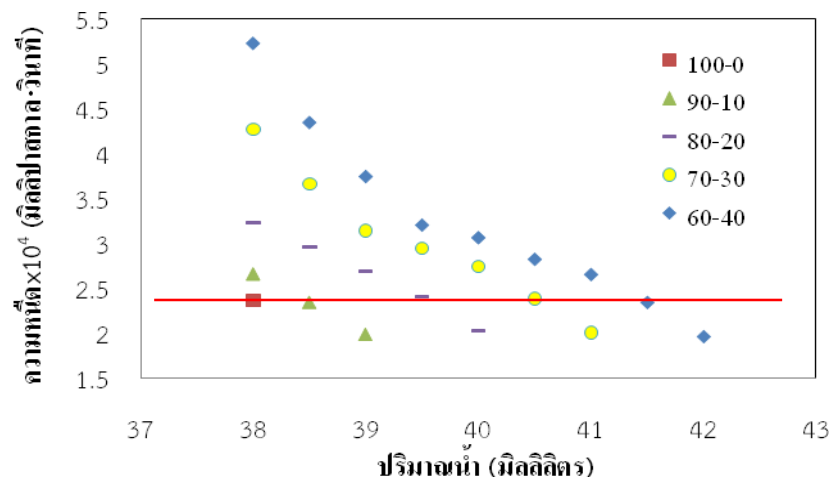
ซึ่งจากการผสมปูนปลาสเตอร์ในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าปูนปลาสเตอร์มีความหนืดที่มากขึ้นจึงได้ทำการวัดความหนืดในช่วงเวลาไม่เกิน 3 นาทีตั้งแต่เริ่มผสมน้ำ โดยเลือกปูนปลาสเตอร์ที่อัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 ซึ่งพบว่ามีกรแข็งตัวได้โดยนำปูนปลาสเตอร์มาวัดความหนืด ด้วยการปรับปริมาณอัตราส่วนปูนปลาสเตอร์ 100 กรัม ต่อน้ำ 38 มิลลิลิตร โดยการปรับปริมาณน้ำ ดังตารางที่ 3 พบว่าปูนปลาสเตอร์ที่อัตราส่วน 100:0 มีค่าความหนืดอยู่ที่  $2.36 \times 10^4$  มิลลิพาสกาลวินาที โดยผสมน้ำ 38 มิลลิลิตร ด้วยอัตราส่วนปูนปลาสเตอร์ 90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 พบว่า ปริมาณน้ำที่ทำให้ความหนืดใกล้เคียงกับปูนปลาสเตอร์ที่อัตราส่วน 100: 0 คือ 38.5, 39.5, 40.5, 41.5 ตามลำดับ ดังรูปภาพที่ 6

ตารางที่ 2 อัตราการแข็งตัวของปูนปลาสเตอร์ผสมระหว่าง P1 และ P4 ปริมาณ 100 กรัม ต่อน้ำ 38 มิลลิลิตร

อัตราส่วน P1 : P4	เวลาแข็งตัว (นาที)
100 : 0	30
90 : 10	32
80 : 20	34
70 : 30	36
60 : 40	38
50 : 50	ไม่แข็งตัว
40 : 60	ไม่แข็งตัว
30 : 70	ไม่แข็งตัว
20 : 80	ไม่แข็งตัว
10 : 90	ไม่แข็งตัว
0 : 100	ไม่แข็งตัว

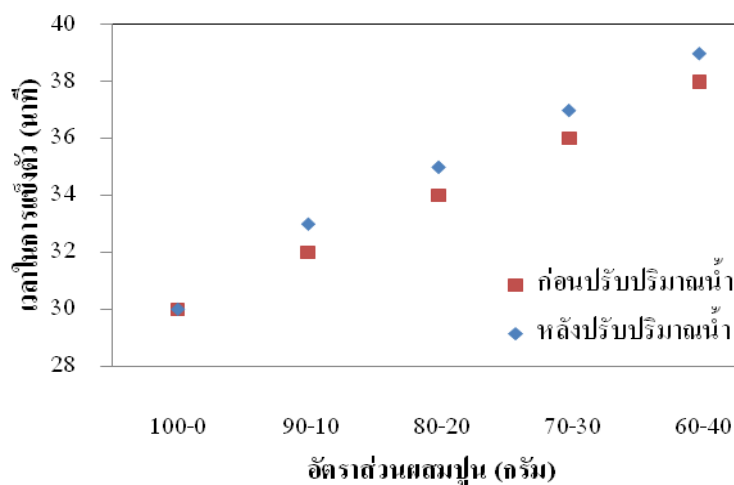
ตารางที่ 3 ความหนืดต่อปริมาตรน้ำ

น้ำ (มล.)	ความหนืด $\times 10^4$ (มิลลิปาสกาล·วินาที)				
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	60 : 40
38.0	2.36	2.66	3.22	4.27	5.22
38.5	-	2.34	2.96	3.66	4.34
39.0	-	1.98	2.69	3.14	3.74
39.5	-	-	2.40	2.94	3.20
40.0	-	-	2.02	2.74	3.06
40.5	-	-	-	2.38	2.82
41.0	-	-	-	2.00	2.65
41.5	-	-	-	-	2.34
42.0	-	-	-	-	1.96



รูปภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับความหนืด

หลังจากการทดลองเพื่อหาปริมาณน้ำที่ทำให้ปูนปลาสเตอร์มีความหนืดที่ใกล้เคียงกันกับปูนปลาสเตอร์ที่อัตราส่วน 100:0 เพื่อให้เหมาะต่อการใช้งาน จึงทำการทดลองผสมปูนปลาสเตอร์อีกครั้ง ด้วยปริมาณน้ำที่เหมาะสมพบว่า เวลาในการแข็งตัวของปูนปลาสเตอร์เพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อยดัง รูปภาพที่ 7



รูปภาพที่ 7 กราฟความสัมพันธ์เวลาในการแข็งตัวของปูนปลาสเตอร์

## สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาหุ้ฟงักข์นของปูนปลาสเตอร์พบว่าปูนปลาสเตอร์ใหม่ (P1) มีตำแหน่งของ Hemihydrate ที่ปฏิกิริยาสามารถผันกลับได้และเมื่อปูนปลาสเตอร์ใหม่ (P1) ไปผสมน้ำเป็นปูนปลาสเตอร์ P2 พบว่ามีตำแหน่งของ Dihydrate ซึ่งเป็นตามทฤษฎีการผันกลับของปฏิกิริยาของปูนปลาสเตอร์ แต่เมื่อปูนปลาสเตอร์ P2 หลังผ่านกระบวนการอบ P3, P4 และ P5 ไม่พบตำแหน่งของ Hemihydrate และ Dihydrate ซึ่งเกิดจากผลของอุณหภูมิโดยพบว่าปูนปลาสเตอร์หลังจากการผสมน้ำ (P2) แล้วนั้นสามารถเผาให้ปฏิกิริยาผันกลับจาก Dihydrate เป็น Hemihydrate ได้โดยการอบที่อุณหภูมิตั้งแต่ 110 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 330 องศาเซลเซียส โดยตำแหน่งของ Hemihydrate ค่อย ๆ ลดลง ตามลำดับ เมื่อให้อุณหภูมิสูงถึง 340 องศาเซลเซียส ไม่พบตำแหน่งของ Hemihydrate ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบการแข็งตัวของปูนปลาสเตอร์ที่โดยพบว่าปูนปลาสเตอร์ P4 เมื่อนำกลับมาผสมน้ำอีกครั้ง ไม่สามารถแข็งตัวได้อีก จึงทำทดลองเพื่อลดใช้ปริมาณปูนปลาสเตอร์ใหม่ลงโดยผสมปูนปลาสเตอร์ P1 กับ P4 เพื่อหาปริมาณน้อยที่สุดที่สามารถใช้ได้และมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับปูนปลาสเตอร์ใหม่พบว่าอัตราส่วนของปูนปลาสเตอร์ใหม่ต่อปูนปลาสเตอร์เก่า ที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้มากที่สุดคือ 60:40 โดยผสมน้ำ 41.5 มิลลิลิตร และใช้เวลาในการแข็งตัวที่ 39 นาที

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และบริษัทโอลด์มูน จำกัด ที่สนับสนุนทุนวิจัยในโครงการนี้

## เอกสารอ้างอิง

- กรกนก บุญเสริม. (2551). ผลของสารเติมแต่งอินทรีย์ และอนินทรีย์ที่มีต่อปฏิกิริยาไฮเดรชัน สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของเอพิจีตียิปซัม. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Kostic-Pulek, A., Marinkovic, S., Popov S., Djuricic, M. & Djinic, J. (2004). The treatment of gypsum as a product of the flue gas desulphurization process. *Ceramics Silikáty*, 49 (2, November), 115-119.
- Al-Jobouri., H.A. (2011). FTIR Spectroscopy for Gypsum after Treatment with Steam Pressure. *Al-Nahrain University*, 14 (2, June), 123-130.
- Singh, N.B., & Middendorf, B. (2007). Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 53 (1, March), 57-77.
- Chindapasirt, P., Boonserm, K., Chairuangri, T., Vichit-Vadkan, W., Eaimsin,, T., Sato, T. & Pimraksa, K. (2011). Plaster materials from waste calcium sulfate containing chemicals, organic fibers and inorganic additives. *Construction and Building Materials*, 25 (8, August), 3193–3203.
- Marinkovic, S., Kostic-Pulek, A., Popov, S., Djinic, J. & Trifunovic, P. (2004). The possibility of obtaining beta-anhydrite from waste nitrogypsum. *Mining and Metallurgy*, 40B (1, April), 89 – 100.