การประชุมวิชาการระดับชาติ
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 4

The 4th NPRU National Academic Conference

2012

Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand

"75 ปีจากโรงเรียนสตรีฝึกหัดครูสู่มหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืนและการเตรียมพร้อมสู่ประชาคมอาเซียน"

Vol. 1

วันที่ 12-13 กรกฎาคม 2555

อาคารโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม

The 4th NPRU National Academic Conference 2012
Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12-13 July 2012

การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 4
The 4th NPRU National Academic Conference 2012
"75 ปีจากโรงเรียนสตรีฝึกหัดครูสู่มหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืนและการเตรียมพร้อมสู่ประชาคมอาเซียน"
ณ อาคารโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000
วันที่ 12 – 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2555

หลักการและเหตุผล

งานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมได้เริ่มจัดครั้งแรกในปี พ.ศ. 2552 โดยสถาบันวิจัยและพัฒนา และได้จัดอย่างต่อเนื่องทุกปีจนถึงครั้งที่ 4 ในปี พ.ศ. 2555 โดยงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีแลกเปลี่ยนทางวิชาการระหว่างคณาจารย์ นักศึกษา นักวิจัย และนักวิชาการ ทั้งจากหน่วยงานภายในและหน่วยงานภายนอกมหาวิทยาลัย เพื่อนำเสนอแลกเปลี่ยนผลงานวิจัย ทั้งในรูปแบบของภาคบรรยาย (Oral Presentation) และภาคโปสเตอร์ (Poster Presentation) ซึ่งถูกกลั่นกรองและคัดเลือกโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขานั้น ๆ จำนวน 3 ท่าน บทความวิจัยที่ได้รับคัดเลือกในการนำเสนอในงานประชุมวิชาการครั้งนี้ บทคัดย่อจะได้รับการตีพิมพ์ในเอกสารประกอบการประชุมวิชาการ (Abstract Proceedings Book) โดยบทความวิจัยฉบับเต็ม (Full Paper) อยู่ในรูปแบบดิจิตอลไฟล์ซึ่งจะนำไปติดตั้งไว้ที่เว็บไซต์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา (rdi.npru.ac.th) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และจะส่งให้ห้องสมุดของมหาวิทยาลัยทั่วประเทศ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้จะคัดเลือกบทความวิจัยฉบับเต็ม (Full paper) ที่มีคุณภาพดี ซึ่งถูกกลั่นกรองและคัดเลือกโดยผู้ทรงคุณวุฒิลงตีพิมพ์ในวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏตะวันตก ซึ่งอยู่ในฐานข้อมูลดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI : Thai-Journal Citation Index)

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จึงขอเสนอ โครงการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 4 ภายใต้แนวความคิดของการจัดประชุมวิชาการ "75 ปีจากโรงเรียนสตรีฝึกหัดครูสู่มหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืนและการเตรียมพร้อมสู่ประชาคมอาเซียน" ระหว่างวันที่ 12 – 13 กรกฎาคม 2555 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

สารจากอธิการบดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ยึดมั่นในปรัชญา "การศึกษาสร้างคน คิดค้นภูมิปัญญา พัฒนาท้องถิ่น" และมีวิสัยทัศน์ คือ "เป็นมหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน ผลิตบัณฑิตที่มีคุณภาพคู่คุณธรรม พัฒนาองค์ความรู้ ภูมิปัญญาสู่สากล" ซึ่งกลไกหนึ่งในการขับเคลื่อนให้เกิดการคิดค้นภูมิปัญญา เพื่อที่จะผลิตบัณฑิตให้มีคุณภาพ หรือการพัฒนาท้องถิ่นให้ยั่งยืน คือ การสร้างองค์ความรู้จากงานวิจัยเพื่อตอบโจทย์ปัญหา และพัฒนาท้องถิ่น และผลที่ตามมาคือองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยซึ่งนำไปสู่สากล เวทีของงานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 4 ภายใต้แนวคิด "75 ปีจากโรงเรียนสตรีฝึกหัดครูสู่มหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืนและการเตรียมพร้อมสู่ประชาคมอาเซียน" ในระหว่างวันที่ 12 - 13 กรกฎาคม 2555 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมในครั้งนี้ มหาวิทยาลัยหวังว่าจะเป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนผลงานวิจัยระหว่างนักวิชาการ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และมหาวิทยาลัย หรือหน่วยงานอื่นๆ ที่ใช้งานวิจัยในการขับเคลื่อนเพื่อตอบโจทย์ปัญหา และพัฒนาท้องถิ่น และประเทศชาติต่อไป

ท้ายที่สุดนี้ ผมขอขอบคุณเครือข่ายสหวิทยาการแห่งราชบัณฑิตยสถานในพระบรมราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และคณะผู้จัดงานประชุมวิชาการระดับชาติในครั้งนี้ และขอให้ช่วยกันนำความรู้ที่ได้จากการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ทางวิชาการในครั้งนี้ ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาท้องถิ่น ประเทศชาติ และสังคมต่อไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมเดช นิลพันธุ์)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

“75 ปีจากโรงเรียนสตรีฝึกหัดครูสู่มหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืนและการเตรียมพร้อมสู่ประชาคมอาเซียน”

สารจากรองอธิการบดีฝ่ายวิจัย

งานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 4 ภายใต้แนวคิด “75 ปีจากโรงเรียนสตรีฝึกหัดครูสู่มหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืนและการเตรียมพร้อมสู่ประชาคมอาเซียน” ในระหว่างวันที่ 12 - 13 กรกฎาคม 2555 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ภายใต้ความร่วมมือของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม เครือข่ายสหวิทยาการแห่งราชบัณฑิตยสถานในพระบรมราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีแลกเปลี่ยนทางวิชาการระหว่างคณาจารย์ นักศึกษา นักวิจัย และนักวิชาการ ทั้งจากหน่วยงานภายในและหน่วยงานภายนอกมหาวิทยาลัย เพื่อนำเสนอแลกเปลี่ยนผลงานวิจัย ทั้งในรูปแบบของภาคบรรยาย (Oral Presentation) และภาคโปสเตอร์ (Poster Presentation) ซึ่งถูกกลั่นกรองและคัดเลือกโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขานั้น ๆ จำนวน 3 ท่าน บทความวิจัยที่ได้รับคัดเลือกในการนำเสนอในงานประชุมวิชาการครั้งนี้ บทคัดย่อจะได้รับการตีพิมพ์ในเอกสารประกอบการประชุมวิชาการ (Abstract Proceedings Book) พร้อมบทความวิจัยฉบับเต็ม (Full Paper) ในรูปแบบดิจิตอลไฟล์ ซึ่งจะติดตั้งไว้ที่เว็บไซต์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา (www.rdi.npru.ac.th) และจะส่งให้ห้องสมุดของมหาวิทยาลัยทั่วประเทศ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้จะคัดเลือกบทความวิจัยฉบับเต็ม (Full paper) ที่มีคุณภาพดี ซึ่งถูกกลั่นกรองและคัดเลือกโดยผู้ทรงคุณวุฒิ ลงตีพิมพ์ในวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏตะวันตก ซึ่งอยู่ในฐานข้อมูลดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI : Thai-Journal Citation Index)

งานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 4 นี้มีการแบ่งสาขาของการนำเสนอบทความวิจัยเป็น 16 สาขา ใน 6 กลุ่มสาขาวิชาการหลัก คือ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ครุศาสตร์ สังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ พยาบาลศาสตร์ และวิทยาการจัดการ มีบทความวิจัยได้รับการคัดเลือกให้นำเสนอบทความวิจัยจำนวน 127 เรื่อง ในงานประชุมวิชาการครั้งนี้ได้มีการจัดกิจกรรมคู่ขนานอีก 2 กิจกรรม คือ การอภิปรายเรื่อง “มหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างพอเพียงและยั่งยืน” โดย ฯพณฯ นายอำพล เสนาณรงค์ องคมนตรี และการอภิปรายของวิทยากรระดับชาติในเรื่อง ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน : วิกฤติ หรือ โอกาส และความท้าทายในมิติของสังคม/เศรษฐกิจ ความมั่นคง และการเมือง และการจัดประชุมวิชาการ The Symposium on ASEAN UNIVERSITIES PARTNER MEETING โดยมีผู้เข้าร่วมจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน กัมพูชา สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม และสาธารณรัฐอินเดีย

ดิฉันขอขอบคุณและแสดงความยินดีต่อความสำเร็จของนักวิจัยทุกท่าน ที่ได้พากเพียรทุ่มเทในการศึกษาค้นคว้าวิจัยจนได้ผลการวิจัยที่มีประโยชน์ต่อท้องถิ่น ประเทศชาติ และสะท้อนความก้าวหน้าทางวิชาการในสาขาต่าง ๆ

ท้ายนี้ดิฉันขอขอบคุณเครือข่ายสหวิทยาการแห่งราชบัณฑิตยสถานในพระบรมราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่ได้ร่วมสนับสนุนในการจัดประชุมวิชาการระดับชาติในครั้งนี้ และหวังว่าการร่วมมือกันในครั้งนี้ จะสามารถขับเคลื่อนในการสร้างเครือข่ายการวิจัยในสาขาต่าง ๆ ให้กว้างขวางต่อไปในอนาคต มีการเชื่อมโยงและสร้างประโยชน์ให้ผู้ที่สนใจนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัย พัฒนาท้องถิ่นและประเทศชาติต่อไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกศินี ประทุมสุวรรณ)
รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

Presentation

The 4th National NPRU Academic Conference

"The 75th Anniversary of Nakhon Pathom Rajabhat University"

12nd - 13rd of July, 2012 at Nakhon Pathom Rajabhat University

12-Jul-12 — อาคารโลจิสติกส์

Class	ห้องประชุม 3	ห้อง 301	ห้อง 302	ห้อง 303
Session	SCI วิทยาศาสตร์กายภาพ	EDU3 หลักสูตรและการสอน	PAL รัฐประศาสนศาสตร์และนิติศาสตร์	CE วิศวกรรมโยธาและวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
Chairpersons	ดร.จักรพงษ์ แก้วขาว	ผศ.ดร.สมจิต จันทร์ฉาย	ผศ.ดร.กัณฑิมา นิลทองคำ	อ.เจษฎา ปริตาโพธิ์
09.00 - 09.15 น.				
09.15 - 09.30 น.				
09.30 - 09.45 น.				
09.45 - 10.00 น.				
10.15 - 10.30 น.				
10.30 - 10.45 น.				
10.45 - 11.00 น.				
11.00 - 11.15 น.				
11.15 - 11.30 น.				
11.30 - 11.45 น.				
11.45 - 12.00 น.				
12.00 - 13.00 น.				
13.00 - 13.15 น.	SCI_Invited1	EDU3_Invited	PAL_Invited	CE_Invited
13.15 - 13.30 น.				
13.30 - 13.45 น.				
13.45 - 14.00 น.				
14.00 - 14.15 น.	SCI2_Invited	EDU3_1	PAL_1	CE_1
14.15 - 14.30 น.		EDU3_2	PAL_2	CE_2
14.30 - 14.45 น.		EDU3_3	PAL_3	CE_3
14.45 - 15.00 น.		EDU3_4		CE_4
15.00 - 15.15 น.	SCI_1	EDU3_5		CE_5
15.15 - 15.30 น.	SCI_2	EDU3_6		CE_6
15.30 - 15.45 น.	SCI_3	EDU3_7		
15.45 - 16.00 น.	SCI_4	EDU3_8		
16.00 - 16.15 น.	SCI_5	EDU3_9		
16.15 - 16.30 น.	SCI_6	EDU3_10		
16.30 - 16.45 น.	SCI_7	EDU3_11		
16.45 - 17.00 น.	SCI_8	EDU3_12		
17.00 - 17.15 น.	SCI_9			
17.15 - 17.30 น.	SCI_10			
17.30 - 17.45 น.				
17.45 - 18.00 น.				
18.00 น.	รับประทานอาหารเย็น			

13-Jul-12 — อาคารโลจิสติกส์ / ห้องสัตตบงกช

Class	ห้องประชุม 2	ห้องประชุม 3	ห้อง 301	ห้อง 302	ห้อง 303	ห้องประชุม 4	ห้อง 401	ห้อง 402	ห้อง 402	ห้อง 403	ห้อง 403	ห้องประชุม 6	ห้องสัตตบงกช
Session	"Asian University Partner Symposium"	NUR & PH พยาบาลศาสตร์และสาธารณสุข	EDU3 หลักสูตรและการสอน	EDU4 นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้	HUM มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์	EE วิศวกรรมโทรคมนาคม ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	COM คอมพิวเตอร์	GR การท่องเที่ยว	EDU2 บริหารการศึกษา & EDU1 วิจัยการศึกษา	MAN บริหารธุรกิจและเศรษฐศาสตร์	PR นิเทศศาสตร์	AGR ชีววิทยา เกษตรและอาหาร	BUD พุทธชยันตี
Chairpersons	รศ.ดร.วิไลรัตน์ คีรินทร์	รศ.ดร.สุนุตตรา ตะบูนพงศ์	ผศ.ดร.สมจิต จันทร์ฉาย	รศ.บรรดล สุขปิติ	ดร.สมศักดิ์ อมรสิริพงศ์	รศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์	ดร.สุพจน์ เฮงพระพรหม	ดร.นิพล เชื้อเมืองพาน	ดร.พรรณี & ดร.จิตติรัตน์	ดร.แสงแข บุญศิริ	ผศ.ดร.กฤติยา รุจิโชค	ดร.พิทักษ์พงศ์ ป้อมปราณี	ดร.มนตรี วิวาห์สุข
09.00 - 09.15 น.	"Asian University Partner Symposium"	PH_1	กิจกรรมและนิทรรศการ	EDU4_Invited 1	HUM_Invited	EE_Invited	COM_Invited	GR_1		MAN_Invited		AGR_1	BUD_Invited
09.15 - 09.30 น.		NUR_1						GR_2				AGR_2	
09.30 - 09.45 น.		NUR_2						GR_3				AGR_3	
09.45 - 10.00 น.		NUR_3										AGR_4	
10.15 - 10.30 น.		NUR_4		EDU4_Invited 2	HUM_1	EE_1	COM_1			MAN_1		AGR_5	BUD_1
10.30 - 10.45 น.		NUR_5			HUM_2	EE_2	COM_2			MAN_2		AGR_6	BUD_2
10.45 - 11.00 น.		NUR_6			HUM_3	EE_3	COM_3			MAN_3		AGR_7	BUD_3
11.00 - 11.15 น.		NUR_7			HUM_4	EE_4	COM_4			MAN_4		AGR_8	BUD_4
11.15 - 11.30 น.		NUR_8		EDU4_1	HUM_5	EE_5	COM_5			MAN_5		AGR_9	BUD_5
11.30 - 11.45 น.		NUR_9		EDU4_2	HUM_6	EE_6				MAN_6			BUD_6
11.45 - 12.00 น.		NUR_10		EDU4_3	HUM_7	EE_7							
12.00 - 13.00 น.	รับประทานอาหารกลางวัน												
13.00 - 13.15 น.	"Asian University Partner Symposium"	NUR_11	กิจกรรมและนิทรรศการ	EDU4_4		EE_8			EDU1&2 Invited		PR_Invited		
13.15 - 13.30 น.		NUR_12		EDU4_5		EE_9							
13.30 - 13.45 น.		NUR_13		EDU4_6		EE_10							
13.45 - 14.00 น.				EDU4_7		EE_11							
14.00 - 14.15 น.				EDU4_8					EDU1_1		PR_1		
14.15 - 14.30 น.				EDU4_9					EDU1_2		PR_2		
14.30 - 14.45 น.				EDU4_10					EDU1_3		PR_3		
14.45 - 15.00 น.				EDU4_11					EDU2_1		PR_4		
15.00 - 15.15 น.				EDU4_12					EDU2_2		PR_5		
15.15 - 15.30 น.				EDU4_13					EDU2_3				
15.30 - 15.45 น.				EDU4_14									
15.45 - 16.00 น.				EDU4_15									
16.00 - 16.15 น.				EDU4_16									
16.15 - 16.30 น.				EDU4_17									
16.30 - 16.45 น.				EDU4_18									
16.45 - 17.00 น.													
17.00 - 17.15 น.													
17.15 - 17.30 น.													
17.30 - 17.45 น.													
17.45 - 18.00 น.													
18.00 น.													

ปี
สร้างปัญญา
สู่การพัฒนาท้องถิ่น

กำหนดการ

งานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 4

"75 ปี จากโรงเรียนสตรีฝึกหัดครูสู่มหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืนและการเตรียมพร้อมสู่ประชาคมอาเซียน"

The 4th NPRU NATIONAL ACADEMIC CONFERENCE

"The 75th Anniversary of Nakhon Pathom Rajabhat University"

วันที่ 12 – 13 กรกฎาคม 2555 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

วันที่ 12 กรกฎาคม 2555

เวลา	ห้องประชุมสัตตบงกช
08.00 - 08.45 น.	ลงทะเบียน
08.45 - 08.50 น.	กล่าวรายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 4 โดย **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกศินี ประทุมสุวรรณ**
08.50 - 09.00 น.	กล่าวเปิดงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 4 โดย **อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม**
09.00 - 10.00 น.	การปาฐกถา ของ องค์ปาฐกหลัก เรื่อง "มหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างพอเพียงและยั่งยืน" โดย **ฯพณฯ นายอำพล เสนาณรงค์** องคมนตรี
10.00 - 10.30 น.	การบรรยายพิเศษ เรื่อง "นวัตกรรมดนตรีจีนของชุมชนบางหลวงเพื่อการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม" โดย **รองศาสตราจารย์ชลีรัตน์ พยอมแย้ม และทีมวิจัย** ทีมวิจัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
10.30 - 12.00 น.	การบรรยายพิเศษ เรื่อง "สถานการณ์ปัจจุบันและอนาคตเกี่ยวกับการศึกษา การเคลื่อนย้ายแรงงาน และการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ในประชาคมอาเซียน: วิกฤต หรือโอกาส และความท้าทายในมุมมองทางประชากร และทรัพยากรมนุษย์" โดย **รองศาสตราจารย์ ดร.พัชราวลัย วงศ์บุญสิน** ผู้อำนวยการศูนย์ศึกษาการพัฒนามนุษย์และย้ายถิ่น วิทยาลัยประชากรศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
12.00 - 13.00 น.	รับประทานอาหารกลางวัน
13.00 - 14.00 น.	บรรยายพิเศษ เรื่อง "ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน: วิกฤติ หรือโอกาส และความท้าทายของประเทศไทยในมุมมองด้านเศรษฐกิจ" โดย **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัทธ์ พิศาลวานิช** ผู้อำนวยการศูนย์ศึกษาการค้าระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
14.00 - 15.00 น.	บรรยายพิเศษ เรื่อง "ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน: วิกฤติ หรือโอกาส และความท้าทายของประเทศไทยในมุมมองภาคธุรกิจ และอุตสาหกรรม" โดย **นายพิชัย อุตมาภินันท์** อดีตรองประธานคณะกรรมการโครงสร้างพื้นฐาน คมนาคม ขนส่ง และโลจิสติกส์ สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และอนุกรรมมาธิการอุตสาหกรรมคณะกรรมาธิการการเศรษฐกิจ การพาณิชย์และอุตสาหกรรม วุฒิสภา
15.00 - 16.00 น.	บรรยายพิเศษ เรื่อง "ประชาคมอาเซียน: วิกฤติ หรือโอกาส และความท้าทายของประเทศไทยในมุมมองด้านความมั่นคง" โดย **พันเอก ดร.ธีรนันท์ นันทขว้าง** รองผู้อำนวยการกองการศึกษากองบัญชาการสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ กองบัญชาการทหารสูงสุด
16.00 - 17.00 น.	บรรยายพิเศษ เรื่อง "สถานการณ์ปัจจุบันและอนาคตเกี่ยวกับเศรษฐกิจ การเมือง สังคม ของประเทศในลุ่มแม่น้ำโขง: วิกฤตหรือโอกาส และความท้าทายของประเทศไทยในประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน" โดย **นายทรงฤทธิ์ โพนเงิน** คอลัมนิสต์ "Mekong Corridor" ในเครือเดอะเนชั่นและพิธีกรรายการรอบบ้านอาเซียน คลื่น FM 100.5 อสมท.

กิจกรรมคู่ขนาน อาคารโลจิสติกส์

ห้องประชุม 3 SCI : วิทยาศาสตร์กายภาพ

Chairpersons : ดร.จักรพงษ์ แก้วขาว

เวลา	รหัส	เรื่อง
13.00 - 14.00 น.	SCI_Invited1	บรรยาย เรื่อง Fabrication of nanostructured for sensor applications โดย ดร.มติ ห่อประทุม
14.00 - 15.00 น.	SCI_Invited2	1 ศตวรรษตัวนำยวดยิ่ง: อดีต ปัจจุบัน และอนาคต โดย ดร.อาภาพงศ์ ชั่งจันทร์
15.00 - 15.15 น.	SCI_1	การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดของกลุ่มแม่บ้านบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม โดย ธันยนันท์ ศรีพันธ์ลม
15.15 - 15.30 น.	SCI_2	Calculation of Radiation Attenuation Coefficients for Cement Containing with $BaCO_3$ and PbO โดย จุรีพร ชิ้นฮะจ้อ
15.30 - 15.45 น.	SCI_3	Effect of Gd_2O_3 doping on the physical and optical properties of soda lime silicate glass โดย ณัฐพล ศรีสิทธิโภคกุล
15.45 - 16.00 น.	SCI_4	การพัฒนาผลิตภัณฑ์สปา ตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม : กรณีศึกษาเบื้องต้นเถาวัลย์เปรียง เถาเอ็นอ่อน และว่านนางคำในลูกประคบสมุนไพร โดย อรุณรัตน์ สัณฐิติกวินสกุล
16.00 - 16.15 น.	SCI_5	ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายตะกั่วในเส้นใยมะพร้าวแปรสภาพ โดย จตุพล ลิ้มทุติเนตร
16.15 - 16.30 น.	SCI_6	การศึกษาค่าเลขอะตอมยังผลของทัวร์มาลีน โดย Pruittipol Limkitjaroenporn
16.30 - 16.45 น.	SCI_7	การวัดสมบัติทางกลของวัสดุโดยเทคนิคการใช้คลื่นอัลตราโซนิกตรวจสอบแบบไม่ทำลาย โดย ศุภรัตน์ ทัศน์เจริญ
16.45 - 17.00 น.	SCI_8	การดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้วัสดุเหลือใช้ โดย กิ่งกาญจน์ แสนสุข
17.00 - 17.15 น.	SCI_9	ผลของ SnO_2 ต่อสมบัติของแก้วที่เติมอนุภาคทองคำ โดย ยศกิต เรืองทวีป
17.15 - 17.30 น.	SCI_10	ผลของ CaO ต่อคุณสมบัติของแก้วที่เตรียมจากขี้เถ้าแกลบ โดย กิติพันธ์ บุญอินทร์

ห้อง 301 EDU3 : หลักสูตรและการสอน

Chairpersons : ผศ.ดร.สมจิต จันทร์ฉาย

เวลา	รหัส	เรื่อง
13.00 - 14.00 น.	EDU3_Invited	บรรยาย เรื่อง จัดการเรียนการสอนอย่างไรให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง โดย รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพันธ์ เดชะคุปต์
14.00 - 14.15 น.	EDU3_1	แนวทางการพัฒนาการฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูสู่การเป็นครูมืออาชีพของนักศึกษาครูสาขาการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏ โดยใช้หลักการเป็นหุ้นส่วน โดย สุทธิพงศ์ บุญผดุง
14.15 - 14.30 น.	EDU3_2	ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคิดเห็นของนักศึกษาครูที่มีต่อการใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือตามแนวการสอนภาษาเพื่อการสื่อสารในการสอนกฎไวยากรณ์ภาษาอังกฤษ โดย ดวงกมล ฐิติเวส
14.30 - 14.45 น.	EDU3_3	การพัฒนาชุดการเรียนการสอนด้วยคอร์สแวร์อีเลิร์นนิง เรื่อง รังสีดวงอาทิตย์สำหรับนักศึกษาคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร โดย พิสิษฐ์ สุวรรณแพทย์

ห้อง 301 EDU3 : หลักสูตรและการสอน

Chairpersons : ผศ.ดร.สมจิต จันทร์ฉาย

เวลา	รหัส	เรื่อง
14.45 - 15.00 น.	EDU3_4	การศึกษาและพัฒนาทักษะการสื่อสารกับนักเรียนอนุบาลในการฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูของนักศึกษาฝึกสอน โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐดาว พิศาลพงศ์
15.00 - 15.15 น.	EDU3_5	การพัฒนารูปแบบการเผยแพร่นวัตกรรมรูปแบบการสอนภาษาไทยแบบสร้างเสริมสะสมประสบการณ์ภาษาสู่โรงเรียนในเขตพื้นที่การศึกษาจังหวัดนครปฐม โดย สมจิต จันทร์ฉาย
15.15 - 15.30 น.	EDU3_6	ศึกษาผลของการนำรูปแบบการเผยแพร่นวัตกรรมรูปแบบการสอนภาษาไทยแบบสร้างเสริม สะสมประสบการณ์ภาษาสู่โรงเรียน ในเขตพื้นที่การศึกษาจังหวัดนครปฐม โดย ดรุณี โกเมนเอก
15.30 - 15.45 น.	EDU3_7	การพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมรูปแบบการเรียนการสอนแบบสร้างเสริม สะสมประสบการณ์ภาษา สำหรับนักศึกษาวิทยาลัยครูหลวงพระบางสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดย P. Sorphimpha
15.45 - 16.00 น.	EDU3_8	การประเมินหลักสูตรปริญญาตรีศึกษาศาสตร์ ภาควิชาครูคณิตศาสตร์ (ปรับปรุงพุทธศักราช 2550) มหาวิทยาลัยสุภานุวงศ์ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดย Mr.Yelee Choumo
16.00 - 16.15 น.	EDU3_9	การพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมเรื่องการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญโดยใช้หลักการเรียนรู้ CIPPA สำหรับอาจารย์แห่งมหาวิทยาลัยสุภานุวงศ์สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดย Mr.Thongthiane Vathanavong
16.15 - 16.30 น.	EDU3_10	การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์และความสามารถในการแก้ปัญหาของนักศึกษาวิทยาลัยครูหลวงพระบางที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบการสอนแบบร่วมมือเทคนิคกลุ่มสืบค้น โดย Ch, Simuan, A, Inyoo
16.30 - 16.45 น.	EDU3_11	การพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมเรื่องการจัดการเรียนการสอนแบบร่วมมือสำหรับอาจารย์มหาวิทยาลัยสุภานุวงศ์ แห่งสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดย Sonephet Thongpadit
16.45 - 17.00 น.	EDU3_12	การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาภาษาอังกฤษ เรื่อง พระธาตุหลวงเวียงจันทน์เพื่อส่งเสริมทักษะการฟังของนักศึกษา ชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว โดย Ponenaly Pongnathy
17.00 - 17.15 น.	EDU3_13	การพัฒนาความสามารถด้านการอ่านจับใจความภาษาอังกฤษของนักศึกษาเอกภาษาอังกฤษที่วิทยาลัยครูหลวงพระบาง ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือบูรณาการการอ่านและการเขียน โดย ขันทิพย์ สะพาพอน
17.00 - 17.15 น.	EDU3_14	การพัฒนาชุดกิจกรรมเสริมการสอนอ่านภาษาอังกฤษเพื่อความเข้าใจ เรื่อง เมืองมรดกโลกหลวงพระบางสำหรับนักศึกษาวิทยาลัยครูหลวงพระบาง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดย สมจิต แสงพะสิทธิ์ชัย

ห้อง 302 **PAL : รัฐประศาสนศาสตร์และนิติศาสตร์**

Chairpersons : ผศ.ดร.กัณฑิมา นิลทองคำ

เวลา	รหัส	เรื่อง
13.00 - 14.00 น.	PAL_Invited	บรรยาย เรื่อง การเตรียมความพร้อมการเข้าสู่ประชาคมอาเซียนในมิติของความมั่นคงและความปรองดอง โดย พลโท ดร.ยอดยุทธ บุญญาธิการ
14.00 - 14.15 น.	PAL_1	Knowledge Management of Local Wisdom on Coastal Fisheries, Samutsakorn Province โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญศรี ฉิรินัง
14.15 - 14.30 น.	PAL_2	การอ่าน: อีกหนึ่งกลไกในการพัฒนาคุณภาพพลเมือง โดย ไชยณัฐ ดำดี
14.30 - 14.45 น.	PAL_3	บทบาทของรัฐบาลกับการวางแผนนโยบายการคลังเพื่อรองรับผู้ได้รับผลกระทบจากอุทกภัย โดย นิภาพรรณ เจนสันติกุล

ห้อง 303 **CE : วิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ**

Chairpersons : อ.เจษฎา ปริตาโพธิ์

เวลา	รหัส	เรื่อง
13.00 - 14.00 น.	CE_Invited	บรรยาย เรื่อง การพัฒนาวิธีการแก้ไขปัญหาอุทกภัยในประเทศไทย โดย ศ.ดร.ธวัชชัย ติงสัญชลี
14.00 - 14.15 น.	CE_1	การจำลองกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงด้านข้างแบบไปกลับ โดย วัชระ จันทร์อนันต์
14.15 - 14.30 น.	CE_2	ทัศนคติที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการเลือกใช้บริการรถตู้โดยสารของผู้เดินทาง โดย เจษฎา ปริตาโพธิ์
14.30 - 14.45 น.	CE_3	การประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพของอาคารที่พักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็กในเขตชุมชน โดย บัญญัติ วารินทร์ใหล
14.45 - 15.00 น.	CE_4	การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าก้นเตาเศษปูนขาวและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดย อุมาพร ปฏิพันธ์ภูมิสกุล
15.00 - 15.15 น.	CE_5	Application of 2-D Finite Difference Model to Simulate Seepage Flow through an Earthfill Dam โดย Janjira Aksornnarong
15.15 - 15.30 น.	CE_6	Modeling Investigation on the Heterogeneity Effect to the Flow Net beneath a Concrete Dam โดย Supatcha Kongphed

วันที่ 13 กรกฎาคม 2555

ห้องประชุม 3 **NUR & PH : พยาบาลศาสตร์และสาธารณสุข**

Chairpersons : รศ.ดร.สุนุตตรา ตะบูนพงศ์

เวลา	รหัส	เรื่อง
09.00 - 09.15 น.	PH_1	การติดเชื้อในโรงพยาบาล และรูปแบบดื้อยาต้านจุลชีพของ Acinetobacter baumannii ที่แยกได้จากผู้ป่วยมะเร็ง โดย วรยุพา ฌมปัด
09.15 - 09.30 น.	NUR_1	การจัดการระบบบริการสุขภาพสำหรับผู้ประสบอุทกภัย ณ ศูนย์พักพิงชั่วคราว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดย หทัยชนก บัวเจริญ
09.30 - 09.45 น.	NUR_2	ภาวะความเครียดและการปรับตัวของผู้ประสบอุทกภัยจากภาวะน้ำท่วม ณ ศูนย์พักพิงชั่วคราว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม" โดย วริยา จันทร์ขำ
09.45 - 10.00 น.	NUR_3	การศึกษาศักยภาพการจัดการสวัสดิการสังคมโดยชุมชนเพื่อสร้างชุมชนท้องถิ่นจัดการตนเองขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองน้ำไหล โดย วริยา จันทร์ขำ
10.15 - 10.30 น.	NUR_4	ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะโภชนาการเกินในเด็กก่อนวัยเรียนในจังหวัดนครปฐม โดย ณัฐธยาน์ อังคประเสริฐกุล
10.30 - 10.45 น.	NUR_5	พฤติกรรมการสร้างเสริมสุขภาพของอาสาสมัคร ศูนย์พักพิงผู้ประสบอุทกภัย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดย กมลภู ถนอมสัตย์
10.45 - 11.00 น.	NUR_6	การบริหารจัดการแบบมีส่วนร่วมบนพื้นฐานความแตกต่างทางวัฒนธรรมเพื่อสร้างชุมชนท้องถิ่นพึ่งพาตนเอง ตำบลแม่ปะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดย กมลภู ถนอมสัตย์
11.00 - 11.15 น.	NUR_7	การศึกษาทุนและศักยภาพขององค์การบริหารส่วนตำบลทุ่งโพธิ์เพื่อสร้างชุมชนท้องถิ่นจัดการตนเอง โดย สมบัติ ประทักษ์กุลวงศา
11.15 - 11.30 น.	NUR_8	ผลการให้คำปรึกษารายบุคคลต่อความเครียดของผู้ประสบอุทกภัย ณ ศูนย์พักพิงชั่วคราว มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดย สมบัติ ประทักษ์กุลวงศา
11.30 - 11.45 น.	NUR_9	ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสุขภาพของผู้ประสบอุทกภัยกรณีศึกษาวัยทำงานที่ประสบอุทกภัย ณ ศูนย์พักพิงชั่วคราวมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดย กรวรรณ สุวรรณสาร
11.45 - 12.00 น.	NUR_10	ชุมชนต้นแบบลดโรคลดเสี่ยงโรคเรื้อรัง และนวัตกรรมโรคเบาหวาน: ธนาคารรับฝากพุง โดย ดร.ธีรนันท์ วรรณศิริ
13.00 - 13.15 น.	NUR_11	ผลของการฟื้นฟูสมรรถภาพทางจิตสังคมในผู้ป่วยติดสุราเพื่อป้องกันการกลับไปดื่มซ้ำในโรงพยาบาลศรีธัญญา โดย สมบัติ ประทักษ์กุลวงศา
13.15 - 13.30 น.	NUR_12	บทบาทของผู้ดูแลผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุในภาวะประสบอุทกภัย กรณีศูนย์พักพิงผู้ประสบอุทกภัย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดย วันเพ็ญ แววีรคุปต์

ห้อง 301 **EDU3 : หลักสูตรและการสอน**

Chairpersons : ผศ.ดร.สมจิต จันทร์ฉาย

เวลา	เรื่อง
09.00 - 12.00 น.	กิจกรรมและนิทรรศการ
13.00 - 16.30 น.	กิจกรรมและนิทรรศการ

ห้อง 302 **EDU4 : นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้**

Chairpersons : รศ.บรรดล สุขปิติ

เวลา	รหัส	เรื่อง
09.00 - 10.00 น.	EDU4_Invited1	บรรยาย เรื่อง แนวโน้มการทำผลงานวิจัยเพื่อขอเลื่อนวิทยฐานะ โดย นายพรสมบัติ คำตรง
10.00 - 11.00 น.	EDU4_Invited2	บรรยาย เรื่อง การออกแบบและเขียนแผนจัดการเรียนรู้ที่เน้นการสร้างความรู้ โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิทัศน์ ฝักเจริญผล
11.00 - 11.15 น.	EDU4_1	ผลการใช้แบบการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสร้างความรู้โดยเน้นทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง สถานการณ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในทวีปอเมริกาเหนือและอเมริกาใต้ โดย ธนาคม ตันตยานุวัตร
11.15 - 11.30 น.	EDU4_2	ผลการใช้แบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง โปรแกรม Microsoft PowerPoint สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดย กิ่งดาว ฉิมวัย
11.30 - 11.45 น.	EDU4_3	ผลการเรียนรู้ และความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้แบบจัดการเรียนรู้ด้วยการสร้างความรู้ หน่วยการเรียนรู้ โลก และการเปลี่ยนแปลง โดย สุวภีร์ อินทร์ใจเอื้อ
11.45 - 12.00 น.	EDU4_4	ผลการจัดการเรียนรู้และทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้แบบการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสร้างความรู้ วิชาเศรษฐศาสตร์ เรื่อง ระบบเศรษฐกิจ โดย นงนุช สวัสดิผล
13.00 - 13.15 น.	EDU4_5	ผลการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ด้านการอ่านจับใจความ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/1 โดยใช้แบบฝึกทักษะการอ่านจับใจความสำคัญ โดย จิรวัฒน์ บุญครอง
13.15 - 13.30 น.	EDU4_6	ผลการเรียนรู้ด้วยแบบการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสร้างความรู้ เรื่อง “สารและการเปลี่ยนแปลง” สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนบ้านหลวงวิทยา อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม โดย เฉลา ม่วงทรัพย์
13.30 - 13.45 น.	EDU4_7	ผลการใช้แบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดฝึกทักษะการคิดสร้างสรรค์วิชาการคิดสร้างสรรค์ กลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดย ปนัดดา เปียถนอม
13.45 - 14.00 น.	EDU4_8	ผลการจัดการเรียนรู้ด้วยเทคนิค KWL Plus เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ด้านการอ่านจับใจความของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้หนังสืออ่านเพิ่มเติม ชุด กำแพงแสนเมืองน่าอยู่ โดย อรัญญา แสงวิจิตร

ห้อง 302 **EDU4 : นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้**

Chairpersons : รศ.บรรดล สุขปิติ

เวลา	รหัส	เรื่อง
14.00 - 14.15 น.	EDU4_9	ผลการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ชุดกิจกรรมสร้างความรู้ตามทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ เรื่อง รูปสามเหลี่ยม สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านวังปลา จังหวัดราชบุรี โดย กัลจะญาณี ศิริบุญมา
14.15 - 14.30 น.	EDU4_10	ผลการใช้แบบจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค TAI เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ด้านการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้แบบฝึกทักษะ ชุดชนิดของคำในภาษาไทย โดย กิตติยา สิงห์โต
14.30 - 14.45 น.	EDU4_11	ผลการใช้แบบการจัดการเรียนรู้ด้วยการสร้างความรู้ด้วยตนเอง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง สนุกกับแม่เหล็กและไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 โดย นภกัญ ศรีอ่อนหล้า
14.45 - 15.00 น.	EDU4_12	ผลการใช้แบบการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสร้างความรู้ เรื่อง การดำรงชีวิตของพืช สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย จังหวัดนครปฐม โดย ปาริชาติ บุญเสวก
15.00 - 15.15 น.	EDU4_13	ผลการใช้แบบจัดการเรียนรู้ด้วยการสร้างความรู้ เรื่อง ความน่าจะเป็นสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนห้วยกระเจาพิทยาคม จังหวัดกาญจนบุรี โดย กาญจนา ใจร่มเย็น
15.15 - 15.30 น.	EDU4_14	ผลการใช้แบบจัดการเรียนรู้ที่สร้างความรู้เพื่อพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์เรื่องธาตุและสารประกอบ รายวิชา ว30102 เคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ไม่เน้นวิทยาศาสตร์ โดย ลัดดา ปุจฉาการณ์
15.30 - 15.45 น.	EDU4_15	ผลการพัฒนาแบบจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ด้วยแบบฝึกเสริมทักษะคณิตศาสตร์เรื่องการบวก การลบ และการบวกลบระคนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โดย กาญจนา จันทร์ไกร
15.45 - 16.00 น.	EDU4_16	การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง การบวกและการลบจำนวนที่มีผลลัพธ์และตัวตั้งไม่เกิน 100 ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ด้วยแบบจัดการเรียนรู้ที่เน้นการสร้างความรู้ โรงเรียนวัดหนองศาลา จังหวัดนครปฐม โดย บังอร เมืองนก
16.00 - 16.15 น.	EDU4_17	ผลการจัดการเรียนรู้ด้วยแบบการจัดการเรียนรู้ PATT (PATT Model) สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนอนุบาลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดย พัตรา เมฆประยูร
16.15 - 16.30 น.	EDU4_18	ผลการใช้ด้วยแบบจัดการเรียนรู้ ELTA Model เรื่อง Fallow me และเรื่อง Family members สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนเทศบาล 2 (ประชาภิบาล) อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี โดย ธัชษณกร ศรีวันพิมพ์

ห้อง 303 **HUM : มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์**

Chairpersons : ดร.สมศักดิ์ อมรสิริพงศ์

เวลา	รหัส	เรื่อง
09.00 - 10.00 น.	HUM_Invited	บรรยาย เรื่อง อาเซียน วัฒนธรรม สื่อมวลชน ชาตินิยม และอุปสรรคในการรวมตัว โดย ดร.ลำเนา เอี่ยมสอาด
10.15 - 10.30 น.	HUM_1	มัชฌิมาปฏิปทา: อุปลักษณ์การเดินทางในพุทธศาสนา โดย นภัทร อังกูรสินธนา
10.30 - 10.45 น.	HUM_2	คุณภาพชีวิตของนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์สังคม มหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว โดย นายแก้วภูธร หาทาลง
10.45 - 11.00 น.	HUM_3	การศึกษาสาเหตุการไม่สนใจเรียนวิชากฎหมายในชีวิตประจำวันของนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดย ปิยะพร ตันณีกุล
11.15 - 11.30 น.	HUM_4	รำกลองยาวในวิถีชีวิตชาวโพหัก โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์พจนีย์ กงตาล
11.30 - 11.45 น.	HUM_5	การศึกษาเปรียบเทียบหลักสูตรการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาสวัสดิการสังคม และสังคมสงเคราะห์ศาสตร์ของประเทศไทยและประเทศสหรัฐอเมริกา โดย อ.ดร.สมศักดิ์ อมรสิริพงศ์
11.45 - 12.00 น.	HUM_6	นวัตกรรมในการจัดสวัสดิการสังคมขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของประชาชนและยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่จังหวัดนครปฐม โดย อ.ดร.สมศักดิ์ อมรสิริพงศ์

ห้องประชุม 4 **EE : วิศวกรรมโทรคมนาคม ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์**

Chairpersons : รศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

เวลา	รหัส	เรื่อง
09.00 - 10.00 น.	EE_Invited	บรรยาย เรื่อง เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดฟ์ โดย รองศาสตาจารย์ ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์
10.15 - 10.30 น.	EE_1	เทคนิคการลดความซับซ้อนของการลดผลกระทบจากความขรุขระเชิงความร้อนในช่องสัญญาณผลตอบสนองบางส่วนแบบเข้ารหัส โดย สันติ กูลการขาย
10.30 - 10.45 น.	EE_2	สายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสามเหลี่ยมสามชั้นแบบสองความถี่ โดย ประกาศิต ตันติอลงการ
10.45 - 11.00 น.	EE_3	การพัฒนาระบบการวิเคราะห์และตรวจวัดการใช้พลังงานของหม้อแปลงจำหน่าย โดย วิโรจน์ บัวงาม
11.15 - 11.30 น.	EE_4	การศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติของ cantenna กับสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม โดย สรายุทธ บรรหาร
11.30 - 11.45 น.	EE_5	การพัฒนาระบบตรวจวัดสภาพอากาศระยะไกล โดย หฤทัย ดิ้นสกุล
11.45 - 12.00 น.	EE_6	เทคนิคการใช้งานโปรแกรม SCILAB และภาษา PHP ร่วมกัน โดย จิรันดร บู้ฮวดใช้
13.00 - 13.15 น.	EE_7	การวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจระหว่างการใช้ระบบโทรศัพท์แบบเดิมกับระบบโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต : กรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดย นิฏฐิตา เชิดชู

ห้องประชุม 4 **EE : วิศวกรรมโทรคมนาคม ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์**

Chairpersons : รศ.ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

เวลา	รหัส	เรื่อง
13.15 - 13.30 น.	EE_8	เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงความถี่สูงแบบอัลตร้าโซนิคโดยใช้วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรมสำหรับไล่นก โดย สุรศักดิ์ พันธ์กิตติกุล
13.30 - 13.45 น.	EE_9	การประยุกต์ใช้โปรแกรม SCIlAB ร่วมกับ Flash Animation โดย จิรันดร บู้ฮวดใช้
13.45 - 14.00 น.	EE_10	การศึกษาสนามแม่เหล็กในกระบวนการทำน้ำร้อนด้วยเทคนิคปรับจุดความร้อน โดย เฉลิมชนม์ ตั้งวชิรพันธุ์
14.00 - 14.15 น.	EE_11	ชุดขับหลอด High Power LED ด้วยวงจร SEPIC Converter ซึ่งควบคุมด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ PIC และปรับความสว่างได้ โดย เจษฎา จำปาซอน

ห้อง 401 **COM : คอมพิวเตอร์**

Chairpersons : ดร.สุพจน์ เฮงพระพรหม

เวลา	รหัส	เรื่อง
09.00 - 10.00 น.	COM_Invited	บทบาทของ Machine Learning Algorithm ต่องานวิจัยด้านเวชสารสนเทศ (Medical Informatics) โดย รองศาสตราจารย์ ดร.นวลวรรณ สุนทรภิษัช
10.15 - 10.30 น.	COM_1	ระบบติดตามตำแหน่งบนเครือข่ายไร้สาย โดย กายรัฐ เจริญราษฎร์
10.30 - 10.45 น.	COM_2	การพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกแบบ DoS บนเครือข่ายแลน โดย กายรัฐ เจริญราษฎร์
10.45 - 11.00 น.	COM_3	การเลือกขนาดของพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสร้างภาพ 3 มิติ ด้วยวิธีจำแนก โดย ณัฐชามญชุ์ ศรีจำเริญรัตนา
11.15 - 11.30 น.	COM_4	ระบบวิเคราะห์การจราจรข้อมูลบนระบบเครือข่ายแบบไร้สาย โดย พงศธร เกิดผลทวี
11.30 - 11.45 น.	COM_5	การจัดการจราจรข้อมูลบนโครงข่ายไอพี โดยการกำหนดค่าน้ำหนักเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดย ณัฐกุล หาญกิตติกาญจนา

ห้อง 402 **GR : การท่องเที่ยว**

Chairpersons : ดร.นิพล เชื้อเมืองพาน

เวลา	รหัส	เรื่อง
09.00 - 10.00 น.	GR_1	การรับรู้และการตัดสินใจซื้อการท่องเที่ยวเชิงการแพทย์ไทยของนักท่องเที่ยวคนอเมริกัน โดย สุวัฒน์ วิรุฬห์สิงห์
10.15 - 10.30 น.	GR_2	การจัดการธุรกิจสินค้าที่ระลึกเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวจังหวัดกำแพงเพชร โดย ปาจรีย์ ผลประเสริฐ
10.30 - 10.45 น.	GR_3	การมีส่วนร่วมของประชาชนที่มีต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมบริเวณตลาดน้ำวัดลำพญา อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม โดย ขวัญยุพา ศรีสว่าง

ห้อง 402 EDU1 : วิจัยการศึกษา & EDU2 : บริหารการศึกษา

Chairpersons : ดร.จิตติรัตน์ แสงเลิศอุทัย & ดร.พรรณี สุวัตถี

เวลา	รหัส	เรื่อง
13.00 - 14.00 น.	EDU1&2 Invited	การพัฒนาคุณภาพงานวิจัย...ก้าวใหม่สู่อาเซียน โดย ศาสตราจารย์ ดร.ธีระ รุญเจริญ
14.00 - 14.15 น.	EDU1_1	ปัจจัยสมรรถนะความเป็นครูตามมาตรฐานวิชาชีพครูที่ส่งผลต่อการพัฒนาคุณภาพครูยุคใหม่ตามแนวทางปฏิรูปการศึกษาในทศวรรษที่สอง โดย ดร.พรรณี สุวัตถี
14.15 - 14.30 น.	EDU1_2	ปัจจัยสมรรถนะนวัตกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศทางการศึกษาตามมาตรฐานวิชาชีพครูที่ส่งผลต่อการพัฒนาคุณภาพครูยุคใหม่ตามแนวทางปฏิรูปการศึกษาในทศวรรษที่สอง โดย ดร.นภาภรณ์ ยอดสิน
14.30 - 14.45 น.	EDU1_3	ปัจจัยสมรรถนะด้านภาษาและเทคโนโลยีสำหรับครูตามมาตรฐานวิชาชีพครูที่ส่งผลต่อการพัฒนาคุณภาพครูยุคใหม่ตามแนวทางปฏิรูปการศึกษาในทศวรรษที่สอง โดย ผศ.เรวดี ศรีเอี่ยมสะอาด
14.45 - 15.00 น.	EDU2_1	บรรยากาศองค์การของสถานศึกษาขั้นพื้นฐาน สังกัดเทศบาลในจังหวัดราชบุรี โดย อุทัย สุขแป้น
15.00 - 15.15 น.	EDU2_2	การพัฒนาสมรรถนะของครูในสถานศึกษาขั้นพื้นฐาน สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษานครปฐม เขต 1 โดย พรทิพย์ บุญณสะ
15.15 - 15.30 น.	EDU2_3	สมรรถนะครูกับการประกันคุณภาพภายในของโรงเรียนสาธิตในจังหวัดนครปฐม โดย เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ

ห้อง 403 MAN : บริหารธุรกิจและเศรษฐศาสตร์

Chairpersons : ดร.แสงแข บุญศิริ

เวลา	รหัส	เรื่อง
09.00 - 10.00 น.	MAN_Invited	บรรยาย โดย ดร.จิรพันธ์ สกุณา
10.15 - 10.30 น.	MAN_1	การศึกษาคุณลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ของโปรแกรมวิชาการบริหารธุรกิจ (การบริหารทรัพยากรมนุษย์) โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรญา ทองอุ่น
10.30 - 10.45 น.	MAN_2	บุพปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมความพึงพอใจร่วมมือของผู้เสียภาษีที่ดินท้องถิ่นไทย โดย ณิชาภัทร บุญรัตน์
10.45 - 11.00 น.	MAN_3	วิเคราะห์การเลือกใช้บริการผู้ขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ และความสัมพันธ์กับความพึงพอใจของผู้นำเข้าส่งออกในประเทศ โดย ศาลิษา เหมพันธ์
11.15 - 11.30 น.	MAN_4	การพัฒนานวัตกรรมการจัดการเพื่อยกระดับกลุ่มหัตถกรรม OTOP (เบญจรงค์) จังหวัดสมุทรสาคร โดย สุภาณี อินทน์จันทน์
11.30 - 11.45 น.	MAN_5	การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการแนะนำการท่องเที่ยวจังหวัดนครปฐม โดย จีรวรรณ นกเอี้ยงทอง
11.45 - 12.00 น.	MAN_6	การพัฒนารูปแบบการบริการอย่างมีคุณภาพของงานการเงินและบัญชี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดย หรรษกานต์ สมไพบูลย์

ห้อง 403 PR : นิเทศศาสตร์

Chairpersons : ผศ.ดร.กฤติยา รุจิโชค

เวลา	รหัส	เรื่อง
13.00 - 14.00 น.	PR_Invited	บทบาทงานวิจัยทางสื่อสารมวลชนในทศวรรษใหม่ โดย มาลี บุญศิริพันธ์
14.00 - 14.15 น.	PR_1	บริบทชุมชนที่สนับสนุนการดำเนินงานของหอกระจายข่าวสาร บ้านดอนยายมิ หมู่ 18 ตำบลบางหลวง อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม โดย ณัชชา ศิรินธนาธร
14.15 - 14.30 น.	PR_2	การศึกษาเปรียบเทียบการพัฒนาอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวจังหวัดสุราษฎร์ธานีและจังหวัดนครศรีธรรมราชเพื่อพัฒนานวัตกรรมการสื่อสารส่งเสริมการท่องเที่ยว โดย นายอาชารินทร์ แป้นสุข
14.30 - 14.45 น.	PR_3	พฤติกรรมการเปิดรับสื่อและสารสนเทศเพื่อการดำเนินงานวิสาหกิจชุมชนในเขตจังหวัดนครปฐมตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง โดย ดร. สุชาดา แสงดวงดี
14.45 - 15.00 น.	PR_4	สภาพการสื่อสารเพื่อป้องกันยาเสพติด : กรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลหนองปากโลง อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม โดย ดร.มาริษา สุจิตวนิช
15.00 - 15.15 น.	PR_5	การพัฒนาระบบบริหารจัดการประปาหมู่บ้านแบบมีส่วนร่วม : กรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลลำพญา อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม โดย ผศ.ดร.เยาวภา บัวเวช

ห้องประชุม 6 AGR : ชีววิทยา เกษตร และอาหาร

Chairpersons : ดร.พิทักษ์พงศ์ ป้อมปราณี

เวลา	รหัส	เรื่อง
09.00 - 09.15 น.	AGR_1	การพัฒนาตำรับอาหารเพื่อส่งเสริมพฤติกรรมการรับประทานอาหารสำหรับเด็กปฐมวัย โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรวงพร กุศลส่ง
09.15 - 09.30 น.	AGR_2	ทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศ โดย ภัทราวดี ศรีปัญญา
09.30 - 09.45 น.	AGR_3	การตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ของมะเขือเทศราชินีของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลดอนตูม อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม โดย วันเพ็ญ แสงทองพินิจ
09.45 - 10.00 น.	AGR_4	ทัศนคติ พฤติกรรมและความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ โดย สุธรรมา พิสุทธิโสภณ
10.15 - 10.30 น.	AGR_5	การศึกษาปริมาณวิตามินซี ฟีนอลิก เบตา-แคโรทีน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ของผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไปในจังหวัดนครปฐม โดย อุมาพร อาลัย
10.30 - 10.45 น.	AGR_6	การศึกษาอาหารพื้นบ้านและตำรับอาหารพื้นบ้านชุมชนบางระกำ ตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม โดย กมลพร สวนทอง
10.45 - 11.00 น.	AGR_7	น้ำพริกผัดเสริมแคลเซียมจากก้างปลานิล โดย วันเพ็ญ แสงทองพินิจ
11.00 - 11.15 น.	AGR_8	โต๊ะจีนนครปฐม โดย อารีย์ อินทร์นวล
11.15 - 11.30 น.	AGR_9	การพัฒนาไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำ โดย วิรัติ จันทรทรัพย์

ห้องสัตตบงกช **BUD : พุทธชยันตี**

Chairpersons : ดร.มนตรี วิวาห์สุข

เวลา	รหัส	เรื่อง
09.00 - 10.00 น.	BUD_Invited	บรรยายเรื่อง พุทธชยันตีกับวิถีชุมชน โดย พระมหาพงศ์นรินทร์ ฐิตวํโส
09.45 - 10.00 น.	BUD_1	การประยุกต์จริยธรรมเพื่อการสื่อสารทางการเมืองเชิงสันติ โดย ณัฐมา ขันติธรรมกุล
10.15 - 10.30 น.	BUD_2	การดูแลผู้สูงอายุวิถีพุทธ โดย วรากรณ์ พูลสวัสดิ์
10.30 - 10.45 น.	BUD_3	การฝึกอบรมเพื่อส่งเสริมคุณธรรมผู้นำชุมชนตามแนวจิตตปัญญาศึกษาด้วยกระบวนการสุนทรียสนทนา โดย วันเพ็ญ เขมะกนก
10.45 - 11.00 น.	BUD_4	การวิเคราะห์สังคมสงฆ์อันเป็นสังคมตัวอย่างในทัศนะของพุทธทาสภิกขุและพระพรหมคุณาภรณ์ (ป.อ.ปยุตฺโต) โดย วรากรณ์ พูลสวัสดิ์
11.00 - 11.15 น.	BUD_5	พุทธิวิธียุติความรุนแรง: กรณีความรุนแรงต่อการฆ่าล้างเผ่าพันธุ์ศากยวงศ์ โดย พระระพิน ด้วงลอย
11.15 - 11.30 น.	BUD_6	Prabuddha Bharat: Re-Imagining India in the vision of Bodhisattva Dr B. R. Ambedkar โดย Asst Prof. antosh I. Raut

ส า ร บั ญ

ส า ร บั ญ (ต่อ)

ส า ร บั ญ (ต่อ)

ส า ร บั ญ (ต่อ)

ส า ร บั ญ (ต่อ)

ส า ร บั ญ (ต่อ)

ส า ร บั ญ (ต่อ)

ส า ร บั ญ (ต่อ)

ส า ร บั ญ (ต่อ)

ส า ร บั ญ (ต่อ)

ส า ร บั ญ (ต่อ)

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญ (ต่อ)

ส า ร บั ญ (ต่อ)

การนำเสนอผลงานแบบบรรยาย

กลุ่มชีววิทยา เกษตร และอาหาร (AGR)

ดร.พิทักษ์พงศ์ ป้อมปราณี

การพัฒนาตำรับอาหารเพื่อส่งเสริมพฤติกรรมการรับประทานอาหารสำหรับเด็กปฐมวัย

The Development of Food to Encourage Eating Behavior in Children

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรวงพร กุศลส่ง และ นางสาววิภา เพ็ชรเจริญรัตน์

สาขาวิชาการศึกษาปฐมวัย
คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
Hometoy@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาทดลอง (development in experimental process) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตำรับอาหารสำหรับเด็กปฐมวัยโดยเน้นการใช้วัตถุดิบภายในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับประทานอาหารของเด็กปฐมวัย และเพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของเด็กปฐมวัยทั้งก่อนการจัดกิจกรรมและหลังการจัดกิจกรรมโดยกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ 1.เด็กปฐมวัยชาย – หญิง อายุระหว่าง 4-6 ปี จำนวน 100 คน กำลังศึกษาอยู่ ณ.ศูนย์พัฒนาเด็กก่อนวัยเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ศูนย์พัฒนาเด็กก่อนวัยเรียนสังกัดองค์กรปกครองส่วนตำบลดงมูลเหล็ก โรงเรียนรัฐบาลสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเพชรบูรณ์ (โรงเรียนบ้านซับขลุง) และโรงเรียนเทศบาลสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเพชรบูรณ์ (เทศบาลตำบลดงขุย) จำนวนที่ละ 1 แห่ง 2. ครูปฐมวัยจำนวน 20 คนได้จากศูนย์พัฒนาเด็กก่อนวัยเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ศูนย์พัฒนาเด็กก่อนวัยเรียนสังกัดองค์กรปกครองส่วนตำบลดงมูลเหล็ก โรงเรียนรัฐบาลสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเพชรบูรณ์ (โรงเรียนบ้านซับขลุง) และโรงเรียนเทศบาลสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเพชรบูรณ์ (เทศบาลตำบลดงขลุย) แห่งละ 5 คน และ 3. ผู้ปกครองและบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับเด็กปฐมวัยจำนวน 80 คน ได้จากศูนย์พัฒนาเด็กก่อนวัยเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ศูนย์พัฒนาเด็กก่อนวัยเรียนสังกัดองค์กรปกครองส่วนตำบลดงมูลเหล็ก โรงเรียนรัฐบาลสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเพชรบูรณ์ (โรงเรียนบ้านซับขลุง) และโรงเรียนเทศบาลสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเพชรบูรณ์ (เทศบาลตำบลดงขุย) แห่งละจำนวน 20 คน เครื่องมือที่ใช้ในการประกอบการดำเนินการวิจัย คือตำรับอาหารสำหรับเด็กปฐมวัย แบบสอบถามผู้ปกครอง และแบบสังเกตพฤติกรรมการรับประทานอาหารสำหรับเด็กปฐมวัย สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ยร้อยละ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า

1. หลังจากการพัฒนาตำรับอาหารสำหรับเด็กปฐมวัยโดยเน้นการใช้วัตถุดิบภายในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์ ได้เมนูอาหารแยกเป็น 3 ประเภท คือ 1. อาหารคาว 10 อย่าง 2. อาหารหวาน 10 อย่าง และ 3. เครื่องดื่ม 10 อย่าง

2. เด็กปฐมวัยที่รับประทานอาหารตามตำรับอาหารที่พัฒนาขึ้นมีพฤติกรรมการรับประทานอาหารเพิ่มมากขึ้นกว่าก่อนการจัดกิจกรรม เช่น รับประทานอาหารที่ทางโรงเรียนจัดให้รับประทานอาหารหมดทุกครั้ง รับประทานผักหมดจานทุกครั้ง และมักขอเพิ่มอาหารบ่อย ๆ ทำให้เด็กปฐมวัยมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นกว่าก่อนได้รับประทานอาหารที่พัฒนาขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน

3. หลังจากที่เด็กปฐมวัยได้รับประทานอาหารตามเมนูตำรับอาหารที่พัฒนาขึ้นมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นกว่าก่อนการจัดกิจกรรมโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.87 กิโลกรัม

คำสำคัญ : 1. การพัฒนาตำรับอาหาร 2. ตำรับอาหาร 3. รายการอาหาร 4. พฤติกรรมการ*รับประทานอาหารของเด็กปฐมวัย*

Abstracts.

This research attemps to develop experimental process with the aims to develop recipes for children with an emphasis on using local raw materials found in the province of Phetchabun. To study eating habits of young children and to compare their weights before and after events and activeties. The target children in this study were: 1) 100 boys and girls who enrolled in Phetchabun Ratchabpat Univerity ‘s preschool a development center,Dongmulehlek Subdistrict Administrative organization ‘s preschool center, a public school under phethchabun Educational service area (Ban subklung), a municipal school under Phetchabun service area (Dong kui district) ; twenty preschool teachers from preschool and development center operated by previously mentioned university, five teachers from each center, 80 parents and staffs who involved with talking care of children from previously mentioned preschool and development centers, 20 people from each place. The research instruments were : recipes for preschool children, questionnairs for parents and children,observation from of preschool children‘s eating habits. Data analysis was done by using mean percentage. The result showed that

1. Developed recipes for children with emphasis on the use of raw materials locally of Phetchabun were divided into three categories: and 10 main dishes, 10 desserts, 10 beverages.

2. Children who eat developed recipes have improved in their eating habits (i.e.,eat more and eat the whole plate) comparing to before joining this research. activities such as eating and to eat all.

3. Children who ate the developed recipes had more weights than before eating the developed recipes in average range of 0.87 kg.

Keywords : 1. Development of food. 2. Recipes 3. Food items 4. Eating behaviors of preschool children.

1. บทนำ

ตามที่รัฐบาลได้กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2550 – 2554). ตามยุทธศาสตร์ที่ 1 การพัฒนาคุณภาพคนและสังคมไทยสู่สังคมแห่งภูมิปัญญาและการเรียนรู้ ในข้อ 1.2 ให้ความสำคัญกับการเสริมสุขภาวะคนไทยให้มีสุขภาพแข็งแรงทั้งกายและใจ มีความสัมพันธ์ทางสังคมและอยู่ในสภาพแวดล้อมที่น่าอยู่ เน้นการพัฒนาระบบสุขภาพอย่างครบวงจร มุ่งการดูแลสุขภาพเชิงป้องกัน การฟื้นฟูสภาพร่างกายและจิตใจ เสริมสร้างคนไทยให้มีความมั่นคงทางอาหารและการบริโภคอาหารที่ปลอดภัย ลด ละ เลิกพฤติกรรมเสี่ยงต่อสุขภาพ ซึ่งเด็กนับเป็นทรัพยากรที่มีคุณค่าและเป็นอนาคตของประเทศชาติ เด็กแต่ละคนมีลักษณะเฉพาะตัวที่จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาไปในทิศทางที่เหมาะสมและสอดคล้องกับศักยภาพในตัวเด็กจึงจะสามารถเติบโตเป็นผู้ใหญ่ที่พึงประสงค์ได้ การอบรมเลี้ยงดูและพัฒนาเด็กให้เป็นผู้ใหญ่ที่ดีมีคุณภาพต้องอาศัยความเอาใจใส่ดูแลอย่างถูกต้อง โดยเฉพาะในช่วงปฐมวัย ซึ่งถือว่าเป็นช่วงระยะสำคัญยิ่งของการเริ่มต้นชีวิตอันเป็นพื้นฐานของการเจริญเติบโต พัฒนาการและเรียนรู้ในช่วงวัยต่อ ๆ มา สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. (2546 : 1)

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันว่า พัฒนาการทางด้านร่างกายเป็นพัฒนาการที่สำคัญด้านหนึ่งของเด็กปฐมวัย เพราะพัฒนาการทางร่างกายเป็นพัฒนาการที่สร้างเสริมความมั่นใจให้กับเด็กที่มีวุฒิภาวะตามวัยที่สมบูรณ์ส่วนหนึ่งเกิดจากการที่เด็กมีรูปร่าง ร่างกายที่สมบูรณ์ และมีสมรรถนะทางกายที่ทัดเทียมกับผู้อื่น การที่เด็กได้รับกิจกรรมพัฒนาการ ทางร่างกายที่ถูกต้องแล้ว นอกจากการสร้างเสริมร่างกายให้แข็งแรงแล้ว ยังช่วยให้เด็กเคลื่อนไหวและใช้ลักษณะท่าทางที่ถูกต้องเมื่อเติบโตขึ้น กุลยา ตันติผลาชีวะ. (2547: 99). ซึ่งสอดคล้องกับ บันทึกลูกรัก. (2544 : 13). ได้กล่าวว่า ความแข็งแรงของเด็กเป็นพื้นฐานในการเจริญเติบโต ตลอดจนความพร้อมทางด้านอารมณ์ การเข้าสังคม และความคิด สติปัญญา ถ้าเด็กร่างกายไม่แข็งแรง ไม่ได้

รับสารอาหารในปริมาณที่เพียงพอจะทำให้เด็กเป็นโรคขาดสารอาหารได้ ร่างกายไม่มีภูมิต้านทานที่ดีพอเชื้อโรคจะแทรกซึมเข้าทำร้ายร่างกายได้ง่าย ดังนั้นหลักสูตรการศึกษาปฐมวัย พุทธศักราช 2546 จึงต้องมีการส่งเสริมจัดประสบการณ์การเรียนรู้เพื่อพัฒนาเด็กทุกด้านทั้งด้านร่างกาย อารมณ์ จิตใจ สังคม และสติปัญญาอย่างสมดุล โดยจัดกิจกรรมที่หลากหลายเหมาะสมกับวัย และความแตกต่างระหว่างบุคคล เพื่อให้เด็กแต่ละคนได้มีโอกาสพัฒนาตนเองตามลำดับขั้นตอนของพัฒนาการสูงสุดตามศักยภาพ และนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างมีความสุข เป็นคนดี และเก่งของสังคมซึ่งการดูแลพัฒนาการเด็กจะรวมทั้งการดูแลอาหารไปพร้อมกับการส่งเสริม พฤติกรรมการรับประทานอาหารที่เหมาะสม และถูกวิธีแก่เด็กปฐมวัยเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งครู ผู้ปกครอง ควรให้การส่งเสริมอย่างจริงจัง

จากการสำรวจด้านโภชนาการในสถานศึกษา และสนทนากับผู้ปกครองพบว่า การจัดอาหารสำหรับเด็กปฐมวัยยังขาดการส่งเสริม และให้ความสำคัญน้อย สถานศึกษาบางแห่งจัดโครงการอาหารกลางวัน แต่บางแห่งจัดซื้อให้เด็กจากร้านค้า จึงทำให้ได้อาหารที่ไม่ถูกสุขลักษณะ มีคุณค่าทางอาหารไม่ครบ 5 หมู่ เพราะส่วนใหญ่จะนำอาหารตามสั่งของผู้ใหญ่มาให้เด็กรับประทานซึ่งในปัจจุบันนี้อาหารเป็นอาหารไทยที่มี กลิ่นฉุน และรสชาติที่เผ็ดร้อน เป็นส่วนผสมในการปรุงอาหารจึงไม่เหมาะสมกับเด็กปฐมวัย ซึ่ง พระเจ้าวรวงศ์เธอ พระองค์เจ้าศรีรัศน์ พระวรชายาในสมเด็จพระบรมโอสาธิราชฯสยามมกุฎราชกุมาร. (2550 : 23). กล่าวว่าการใช้ตำรับอาหารมาตรฐานสำหรับเด็กปฐมวัยโดยเฉพาะเป็นตำรับอาหารที่ได้ผ่านการทดลองประกอบอาหารที่ให้ความมั่นใจว่าจะได้อาหารที่มีคุณภาพเหมือนกันหรือใกล้เคียงกันทุกครั้งโดยตำรับอาหารจะบอกชนิดและปริมาณของส่วนประกอบ วิธี ปริมาณอาหารที่ได้ และเทคนิคอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการประกอบอาหารให้ได้คุณภาพเหมือนเดิมหรือใกล้เคียงกันซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับเด็กปฐมวัย พงษ์ศักดิ์ ทรงพระนาม และมาริน สาลี. (2544 : 14). กล่าวว่าการใช้ตำรับอาหารในการประกอบอาหารจะมีการบอกเครื่องปรุง และ วิธีทำอย่างชัดเจน สามารถปฏิบัติได้ผลเหมือนกันทุกครั้ง ไม่ว่าใครจะเป็นผู้ทำอาหารที่ปรุงขึ้นมีคุณลักษณะถูกต้องทุกประการ ดังนั้นตำราอาหารจึงมีความเหมาะสมกับนักโภชนาการสำหรับเด็กปฐมวัยที่จะต้องมีตำรับอาหารไว้เพื่อเป็นตำราประจำตัว เมื่อจะประกอบอาหารสามารถหยิบมาแล้วปรุงได้ ซึ่งนักวิจัยได้ให้ความสำคัญแก่อาหารเด็กปฐมวัย เพราะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมพัฒนาการทางร่างกาย และสมองเพื่อเป็นการส่งเสริมศักยภาพทางสมองเด็กได้ ซึ่งการนำวัตถุดิบจากพืชในท้องถิ่นมาพัฒนากรรมวิธีในการปรุง ประยุกต์ ผสมผสานกับรูปแบบอาหารของดั้งเดิม เพื่อเกิดอาหารที่มีรสชาติ และรูปลักษณ์ใหม่ ๆ ที่แตกต่างไปจากอาหารรูปแบบเดิม การนำอาหารมาประยุกต์เข้ากับอาหารต่างนี้เองที่ทำให้เกิดอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมกับเด็กปฐมวัยได้ การส่งเสริมพัฒนาการด้านร่างกายของเด็กปฐมวัย ได้แก่ การให้อาหารครบทั้ง 5 หมู่ การออกกำลังกาย และการพักผ่อนอย่างเหมาะสมตามวัย การที่เด็กจะมีภาวะโภชนาการอย่างไรนั้น สาเหตุมาจากการรับประทานอาหาร ถ้ารับประทานอาหารที่มีประโยชน์เพียงพอต่อความต้องการทางด้านร่างกาย ก็จะทำให้เด็กมีภาวะโภชนาการดีมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการเป็นไปอย่างปกติ แต่ถ้ารับประทานอาหารที่ไม่มีประโยชน์หรือรับประทานอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายก็จะทำให้เด็กมีภาวะโภชนาการไม่ดี การเจริญเติบโตและพัฒนาการเป็นไปอย่างล่าช้าและไม่สมบูรณ์ ซึ่งการจัดกิจกรรมภาวะโภชนาการที่ดี คือ การจัดรายการอาหาร ให้เด็กได้รับประทานตามความต้องการพลังงานและสารอาหารของเด็กปฐมวัยในแต่ละวัน ซึ่งได้แก่ โปรตีน เหล็ก แคลเซียม ไอโอดีน วิตามินซี วิตามินดี และน้ำ สารอาหารที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะได้รับจากการรับประทานอาหารหลัก 5 หมู่ หากเด็กปฐมวัยได้รับประทานอาหารหลักครบ 5 หมู่ ทุกวัน ก็จะได้รับพลังงาน และสารอาหารอย่างเพียงพอที่ร่างกายต้องการ อันจะส่งผลให้เด็กปฐมวัยมีภาวะโภชนาการที่ดีต่อไปในอนาคต

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาและพัฒนาตำรับอาหารสำหรับเด็กปฐมวัย เพื่อส่งเสริมพฤติกรรมการรับประทานอาหารของเด็กปฐมวัย ทั้งนี้ผลการวิจัยที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานแนวทางให้แก่ครู และผู้ปกครอง สถานศึกษาในการร่วมพัฒนาตำรับอาหารสำหรับเด็กปฐมวัยให้มีคุณภาพและเกิดประโยชน์แก่เด็กปฐมวัยต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาตำรับอาหารสำหรับเด็กปฐมวัย
2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับประทานอาหารของเด็กปฐมวัย
3. เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของเด็กปฐมวัยทั้งก่อนการจัดกิจกรรมและหลังจัดกิจกรรม

3. ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. เด็กปฐมวัยชาย – หญิง จำนวน 100 คน ที่กำลังศึกษาอยู่ ณ ศูนย์พัฒนาเด็กก่อนวัยเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ศูนย์พัฒนาเด็กก่อนวัยเรียนสังกัดองค์กรปกครองส่วนตำบลดงมูลเหล็ก โรงเรียนรัฐบาลสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเพชรบูรณ์ (โรงเรียนบ้านซับขลุง) และโรงเรียนเทศบาลสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเพชรบูรณ์ (เทศบาลตำบลดงขุย) จำนวนที่ละ 1แห่ง

2. ครูปฐมวัยจำนวน 20 คนได้จากศูนย์พัฒนาเด็กก่อนวัยเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ศูนย์พัฒนาเด็กก่อนวัยเรียนสังกัดองค์กรปกครองส่วนตำบลดงมูลเหล็ก โรงเรียนรัฐบาลสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเพชรบูรณ์ (โรงเรียนบ้านซับขลุง) และโรงเรียนเทศบาลสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเพชรบูรณ์ (เทศบาลตำบลดงขุย) แห่งละจำนวน 5 คน

3. ผู้ปกครอง และบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับเด็กปฐมวัยจำนวน 80 คน ได้จากศูนย์พัฒนาเด็กก่อนวัยเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ศูนย์พัฒนาเด็กก่อนวัยเรียนสังกัดองค์กรปกครองส่วนตำบลดงมูลเหล็ก โรงเรียนรัฐบาลสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเพชรบูรณ์ (โรงเรียนบ้านซับขลุง) และโรงเรียนเทศบาลสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาเพชรบูรณ์ (เทศบาลตำบลดงขลุย) แห่งละจำนวน 20 คน

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

- สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ยร้อยละ

5. สรุปผลการวิจัย

1. หลังจากการพัฒนาตำรับอาหารสำหรับเด็กปฐมวัยโดยเน้นการใช้วัตถุดิบภายในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์ได้เมนูอาหารแยกเป็น 3 ประเภท คือ 1. อาหารคาว 10 อย่าง 2. อาหารหวาน 10 อย่าง และ 3. เครื่องดื่ม 10 อย่าง ดังนี้

อาหารคาว	*อาหารหวาน*	*เครื่องดื่ม*
1.หมูทอดแอปเปิลเกล็ดขนมปัง	1.ข้าวโจ้ฟักทอง	1.น้ำองุ่นจำแลง
2.ลูกชิ้นหรรษา	2.สาลีห่อกาบ	2.น้ำไชโย
3.ราดหน้ารังนก	3.วุ้นมะขาม	3.น้ำมะละกอ
4.ราดหน้าทาโร่	4.วุ้นกุหลาบ	4.น้ำมะยมปั่น
5. มะละกอชมทะเล	5. บ้าบิ่นฟักม้ง	5.น้ำมะขามเปียก
6.เต้าหู้บอลไส้แครอท	6.บัวลอยกล้วย	6.น้ำฟักข้าว
7.ดอกแคพุงโต	7.ตองซ่อนกล้วย	7.น้ำเปเปอร์มินต์
8.ไข่สีรุ้ง	8.ขนมสายบัว	8.น้ำถั่วแดง
9.ไข่ตุ๋นฟักม้ง	9.ขนมสะบัดงา	9.น้ำแตงกวา
10.ข้าวผัดมะขาม10.ขนมดอกดิน	10.น้ำตะลิงปลิง	

2. หลังการนำเมนูอาหารที่พัฒนาขึ้นไปให้นักโภชนาการโรงเรียนจัดให้กับเด็กปฐมวัยโดยครูได้มีการสังเกตพฤติกรรมขณะรับประทานอาหารพบว่าเด็กปฐมวัยมีพฤติกรรมลดน้อยลง เช่นการคุยในระหว่างการรับประทานอาหาร ไม่รับประทานอาหารหกเลอะเทอะ และสิ่งที่พบน้อยที่สุดคือ ขณะรับประทานอาหารจะถามถึงเครื่องปรุง เช่น น้ำปลา ซอส ฯ ส่งผลให้เด็กปฐมวัยมีพฤติกรรมด้านการรับประทานอาหารเพิ่มมากขึ้น เช่น รับประทานอาหารที่ทางโรงเรียนจัดให้รับประทานอาหารหมดทุกครั้ง รับประทานผักหมดจานทุกครั้ง และมักขอเพิ่มอาหารบ่อย ๆ ส่งผลให้เด็กปฐมวัยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้

3. หลังจากที่เด็กปฐมวัยรับประทานอาหารตามตำรับที่พัฒนาขึ้นเป็นเวลา 2 เดือน เด็กปฐมวัยมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นกว่าก่อนการจัดกิจกรรม โดยเฉลี่ยประมาณ 0.87 กิโลกรัม

5. การอภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายสำคัญเพื่อพัฒนาพฤติกรรมการรับประทานอาหารของเด็กปฐมวัย ซึ่งผลการวิจัยพบว่า

1. เด็กปฐมวัยที่รับประทานอาหารตามตำรับที่พัฒนาขึ้นมีพฤติกรรมการรับประทานอาหารเพิ่มมากขึ้นกว่าก่อนการนำอาหารที่ได้รับการพัฒนามาจัดให้อย่างเห็นได้ชัดเจน โดยครูได้มีการจัดกิจกรรมก่อนการรับประทานอาหารที่เน้นให้เด็กเห็นความสำคัญของการรับประทานอาหารและส่งเสริมพฤติกรรมโดยการให้แรงเสริม การชมเชยระหว่างการรับประทานอาหาร กระตุ้นโดยการเล่านิทาน การสร้างข้อตกลง ฯลฯ. อีกทั้งได้มีการจัดให้ความรู้กับครูผู้ปกครองของเด็กปฐมวัยเรื่องของการประกอบอาหารประกอบด้วยส่งผลให้เด็กปฐมวัยได้รับประทานอาหารตามตำรับที่พัฒนาขึ้นทั้งที่บ้านและโรงเรียน ซึ่งสอดคล้องกับ กุหลาบ ยนต์พงษ์. (วิจัยในชั้นเรียน :1). กล่าวว่าการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของเด็กในระดับปฐมวันควรให้เด็กลงมือปฏิบัติจริงหรือร่วมทำกิจกรรมที่เหมาะสมกับวัยและจัดสภาพแวดล้อมเพื่อกระตุ้นให้เด็กปฏิบัติเป็นกิจวัตรประจำวันเสริมสารอาหารที่ครบถ้วนนั้นจะต้องได้รับความร่วมมือระหว่างครูกับผู้ปกครองอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างสุขนิสัยในการรับประทานอาหารให้ถูกสุขลักษณะในชีวิตประจำวันตามเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขและสร้างภูมิต้านทานในวัยเจริญเติบโตต่อไปตลอดชีวิตอีกทั้ง การส่งเสริมพัฒนาการในด้านการรับประทานอาหารให้ครบ 5 หมู่ทั้งทางโรงเรียนและทางบ้านต้องร่วมมือกันพัฒนาเป็นอันดับแรก เพื่อสร้างเสริมให้เด็กมีภูมิต้านทานตั้งแต่เยาว์วัยจนถึงวัยเจริญเติบโตตลอดไป เพื่ออนาคตของเด็ก ครอบครัวและประเทศชาติที่มีพลเมืองที่มีคุณภาพในอนาคตและพัฒนาตนเองได้ดี ดังที่ นฤมล เนียมหอม. (2554 : 5) ได้กล่าวว่าครูเป็นผู้มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมให้เด็กเรียนรู้ที่จะพึ่งตนเอง (Leatzow และคณะ 2542: 25). แสดงความคิดเห็นไว้ว่า ผู้ใหญ่เปรียบเสมือน “ผู้ให้ใบอนุญาต” ให้เด็กพัฒนาการพึ่งตนเอง ถ้าปราศจากความช่วยเหลือจากผู้ใหญ่เด็กคงเรียนรู้ที่จะพึ่งตนเองไม่ได้ เด็กควรได้ฝึกช่วยเหลือตนเองในกิจวัตรประจำวัน เช่น การหยิบและเก็บของเล่นหรือของใช้ส่วนตัว การรับประทานอาหาร การใช้ห้องน้ำห้องส้วม การแต่งตัว การปูที่นอน อย่างไรก็ตามครูควรพิจารณาว่าสิ่งที่ฝึกให้เด็กช่วยเหลือตนเองนั้นต้องเหมาะสมกับพัฒนาการตามวัยของเด็ก ซึ่งอีกประการคุณพ่อคุณแม่ควรจะเป็นแบบอย่างที่ดีในการฝึกนิสัยการกินอาหารที่ถูกต้องและมีผลดีต่อสุขภาพของเด็ก ดังนั้นคุณพ่อคุณแม่ควรจะหลีกเลี่ยงการดูโทรทัศน์ในขณะกินอาหารและไม่กินอย่างรีบร้อน ควรให้ลูกนั่งที่โต๊ะอาหารและกินอาหารร่วมกับครอบครัวให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ เพื่อให้เด็กเห็นเป็นแบบอย่าง นอกจากนั้นการกินอาหารร่วมกันยังช่วยกระตุ้นความสนใจของเด็กด้วย (บทความ) ทั้งนี้สามารถกล่าวสรุปได้ว่า การที่จะส่งเสริมให้เด็กแสดงพฤติกรรมการรับประทานอาหารตามที่ผู้ใหญ่ต้องการนั้นเป็นเรื่องยาก ดังนั้นผู้ใหญ่ควรใช้วิธีการหลาย ๆ อย่างประกอบเข้าด้วยกันทั้งประเภทของอาหารจะต้องเป็นที่น่าสนใจของเด็ก การเปิดโอกาสให้เด็กได้แสดงความคิดเห็นว่าจะรับประทานอะไร และการที่เด็กได้ลงมือกระทำด้วยตนเองจะส่งผลให้เด็กมีความภาคภูมิใจกับอาหารที่ตนเองได้เลือกเป็นสิ่งที่ส่งผลให้เด็กมีความภาคภูมิใจในอาหารและรับประทานอาหารมากขึ้น

2. หลังจากที่เด็กปฐมวัยรับประทานอาหารตามตำรับที่พัฒนาขึ้นเป็นเวลา 2 เดือน พบว่าเด็กปฐมวัยมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นกว่าก่อนการจัดกิจกรรมโดยเฉลี่ยประมาณ 0.87 กิโลกรัม ซึ่งสอดคล้องกับ คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . (2554 : 20). ได้กล่าวไว้ว่า โภชนาการมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเด็ก ตั้งแต่ทารกเลยทีเดียว แต่ก็มีปัจจัยอื่นด้วย เช่น ด้านสังคม เศรษฐกิจ ด้านจิตใจ ก็เกี่ยวข้องด้วย มีหลายปัจจัยทีเดียวที่ส่งผลให้ภาวะโภชนาการไม่ดี ทั้งไม่มีจะกิน กินไม่พอ กินไม่ถูก ทำให้ขาดสารอาหารบางชนิด ขณะที่ร่างกายกำลังเจริญเติบโตต้องการสารอาหารมาก เมื่อขาดก็ทำให้ไม่เจริญเติบโตในทางตรงข้ามถ้าได้มากเกินไป ก็เป็นผลเสียเช่นเดียวกัน ทำให้มีน้ำหนักเกินเกิดภาวะอ้วน ซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพด้านร่างกายและจิตใจ บางทีเด็กที่อ้วนก็ขาดสารอาหาร ซึ่งพ่อแม่จะมองข้ามไป ที่เค้าอ้วนเพราะได้พลังงานเกิน ตรงนี้ทำให้บดบังภาวะขาดสารอาหารได้ ส่วนใหญ่ก็จะมีปัญหาเรื่องการขาดไวตามินและเกลือแร่ เนื่องจากเด็กกลุ่มอ้วนนี้มักจะไม่ค่อยกินพืชผัก-ผลไม้ อีกทั้งประไพศรี ศิริจักษ์วาล. (2553: 1). ได้กล่าวไว้ว่า อาหารมีความสำคัญสำหรับเด็กในวัยทารกและเด็กเล็ก ซึ่งเป็นวัยที่มีการเจริญเติบโตเป็นไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ดังนั้นการดูแลในช่วงวัยนี้ให้ได้รับอาหารที่ถูกต้องเหมาะสม จึงมีความสำคัญที่จะช่วยให้เด็กมีการเจริญเติบโตทั้งทางด้านร่างกายและสมองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเมื่อเด็กมีอายุย่างเข้าปีที่ 2 ความอยากอาหารมีการเปลี่ยนแปลงจากในปีแรกอย่างชัดเจน ในช่วงปีแรก เด็กจะมีการกินอาหารเพิ่มขึ้นตามอายุ

แต่เมื่อเข้าสู่ปีที่ 2 ความอยากอาหารไม่เพิ่มอย่างชัดเจนและมีความอยากกินอาหารไม่แน่นอน บางวันอาจกินอาหารชนิดหนึ่งแต่อีกวันหนึ่งอาจไม่ยอมรับอาหารชนิดนั้นเลยก็ได้ และเด็กในวัยนี้มีความสนใจสิ่งรอบตัว มีสิ่งใหม่ ๆ หลายอย่างที่เด็กต้องการเรียนรู้นอกเหนือจากการกินอาหาร จึงมักพบปรากฏการณ์ที่เด็กห่วงเล่นมากกว่าการกินอาหาร ดังนั้นการวางแผนรายการอาหารจึงมีความสำคัญที่จะต้องเน้นความหลากหลายและให้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะในเรื่องของไขมัน โปรตีน และเหล็ก (Liftshitz, 1995; Cataldo et al., 2003). ในบางครั้งจะพบปรากฏการณ์ที่เด็กกินแต่อาหารบางชนิดอย่างเดียวโดย ไม่สนใจอาหารชนิดอื่น โดยอาจกินได้หลาย ๆ วันติดต่อกัน แต่ในการจัดอาหารควรจัดอาหารชนิดอื่นให้เด็กได้เห็นและลองกินด้วยแม่เด็กจะไม่ได้สนใจเท่าที่ควรก็ตาม (Grosvenor and Smolin, 2002) (พระเจ้าวรวงศ์เธอ พระองค์เจ้าศรีรัศน์ พระวรชายาในสมเด็จพระบรมโอสาธิราชฯสยามมกุฎราชกุมาร.2550: 9-13 อ้างอิงจาก Grosvenor and Smolin, 2002)

6. ข้อเสนอแนะ

1. การนำตำรับอาหารที่พัฒนาขึ้นในครั้งนี้ไปประกอบอาหารให้กับเด็กปฐมวัยรับประทานควรมีการศึกษาสูตรอาหารให้ชัดเจนก่อนลงมือปฏิบัติทำเพื่อจะได้รสชาติของอาหารที่มีประสิทธิภาพ

2. ในการจัดกิจกรรมที่สอดคล้องกับการพัฒนาตำรับอาหารควรมีการโดยเน้นให้เด็กได้ลงมือปฏิบัติเพื่อให้เด็กได้มีความภาคภูมิใจกับอาหารที่ได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองซึ่งจะช่วยส่งผลให้เด็กปฐมวัยรับประทานอาหารมากขึ้นเพราะเป็นการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง

3. ในการปรุงอาหารให้กับเด็กปฐมวัยควรหั่นผักให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ พอคำหรือทำเป็นรูปต่าง ๆ ที่เด็กชอบเด็กจะรับประทานเองโดยไม่ต้องบังคับ ทั้งนี้ควรศึกษาระดับอายุและวัยของเด็กประกอบ

4. การจัดกิจกรรมเพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของเด็กปฐมวัยควรใช้เวลาการทดลองมากกว่า 2 เดือน ซึ่งจะทำให้ทราบเกณฑ์น้ำหนักของเด็กปฐมวัยชัดเจนมากยิ่งเจน

7. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนจากงบประมาณ และวิชาการจากสำนักงบประมาณและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) รวมทั้งได้รับความอนุเคราะห์จาก มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ สภาวิจัยแห่งชาติ ในด้านงบประมาณ และการประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทำให้การดำเนินการสัมฤทธิ์ผลตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณนายกองค์การบริหารส่วนตำบลดงมูลเหล็ก นายกเทศมนตรีดงขุย ผู้อำนวยการโรงเรียนซับขลุงและอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านอาคารสถานที่ ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณะวิจัยทุกท่าน รวมทั้งบุคลากรทางการศึกษาระดับปฐมวัย ครู ผู้ปกครองและนักศึกษาโปรแกรมวิชาการศึกษาปฐมวัยที่ให้ความร่วมมือในการทดลองทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งเป้าหมายไว้

คุณค่าและประโยชน์ของโครงการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดามารดา และบูรพาจารย์ ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อบรมสั่งสอน แนะแนวทางจนสามารถสำเร็จบรรลุผล และก่อประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

8. เอกสารอ้างอิง

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข .(2546). ***ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำสำหรับคนไทย พ.ศ. 2546.*** กระทรวงสาธารณสุข : นนทบุรี.

กนิษฐา ประเสริฐพงษ์. (2546). ***ผลการจัดกิจกรรมประกอบอาหารที่มีต่อพฤติกรรมการรับประทานผักสำหรับเด็กปฐมวัย.*** วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. ถ่ายเอกสาร.

กุหลาบ ยนต์พงษ์. (2547). ***การพัฒนาพฤติกรรมการรับประทานผักของเด็กชั้นอนุบาล ¼ :***ระยอง. ถ่ายเอกสาร.

ขนิษฐา ตามสัตย์. (2552). ***การส่งเสริมโภชนาการเด็กอายุ 0-6 ปีที่มีน้ำหนักน้อยกว่าเกณฑ์ของเจ้าหน้าที่สาธารณะสุขตามการรับรู้ของผู้ปกครอง.*** วิทยานิพนธ์ พยาบาลศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการพยาบาลชุมชน : บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ถ่ายเอกสาร

จันทนา สิทธิกัน. (2542). ***ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมโภชนาการและการดูแลเด็กกับความเสี่ยงต่อการขาดวิตามินเอในเด็ก 0-5 ปี.*** วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการส่งเสริมสุขภาพ : บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.ถ่ายเอกสาร.

ทัศนีย์ จิรถาวรอนันต์. (2541). ***ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อภาวะโภชนาการของเด็กก่อนวัยเรียนจังหวัดสมุทรสงคราม.*** ปริญญานิพนธ์ กศ.น. (สุขศึกษา) : กรุงเทพฯ. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

นฤชล นิยาภรณ์. (2549). ***การศึกษาความสามารถในการนับจำนวน 1-10 ของเด็กที่มีความบกพร่องทางสติปัญญาระดับเรียนได้ จากการจัดประสบการณ์การประกอบอาหาร.*** ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาพิเศษ : ถ่ายเอกสาร.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2547. ***สารเคลือบผิวที่บริโภคได้.*** ในหนังสือ เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร.

ประภาพรรณ กันธรักษา. (2547). ***การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการในตำรับอาหารล้านนาโดยวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีและการคำนวณจากตารางคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย.*** บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : เชียงใหม่.ถ่ายเอกสาร.

ประไพศรี ศิริจักรวาล. (2553). ***อาหารเพื่อลูกน้อย.*** บริษัท เรือนปัญญา จำกัด : กรุงเทพมหานคร.

พงษ์ศักดิ์ ทรงพระนาม และมาริน สาลี. (2544). ***การพัฒนาตำรับอาหารไทยในพิธีการต่าง ๆ.*** ภาควิชาอาหารและโภชนาการ คณะคหกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล : ถ่ายเอกสาร.

ภัชรี อามาตย์มนตรี. (2548). ***การวิจัยและพัฒนาโปรแกรมการส่งเสริมโภชนาการเด็กที่มีภาวะทุพโภชนาการในเด็ก อายุ 1 -5 ปี ตำบลกุสุมาลย์ อำเภอกุสุมาลย์ จังหวัดสกลนคร :*** ศศ.ม. ยุทธศาสตร์การพัฒนา.มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร. ถ่ายเอกสาร.

มณฑล พวงศิลป์. (2548). ***การสำรวจทัศนคติของผู้ปกครองและนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ เกี่ยวกับโภชนาการเด็กไทย.*** หลักสูตรบริหารธุรกิจบัณฑิต : มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยลงกรณ์. ถ่ายเอกสาร.

ยุวดี กาญจนิษฐิติ. (2542). ***เอกสารการสอนชุดวิชา การจัดการศูนย์และโรงเรียนปฐมวัยศึกษา.*** หน่วยที่ 11 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช : นนทบุรี. ถ่ายเอกสาร.

วรรณวิมล เณรทรัพย์. (2545). ***การศึกษาความสามารถทางภาษาของเด็กที่มีความบกพร่องทางการได้ยินในระดับปฐมวัยจากการสอนโดยวิธีการจัดประสบการณ์แบบปฏิบัติการทดลองประกอบอาหาร.***ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. การศึกษาพิเศษ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร

วรินนภร อินพาลำ. (2552). ***การจัดกิจกรรมการทำอาหาร (cooking) เพื่อส่งเสริมพัฒนาการทางภาษาของเด็กอนุบาล 1/1.*** โรงเรียนบ้านนายสี สำนักงานเขตบางบอน : กรุงเทพมหานคร

ศิริลักษณ์ สินธวาลัย. (2544). ***หลักโภชนาการ.*** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ : กรุงเทพมหานคร

ศรีรัศมิ์ พระวรชายา พระเจ้าวรวงศ์เธอ พระองค์เจ้า. (2550). ***การประยุกต์ตำรับอาหารมาตรฐานเพื่อส่งเสริมโภชนาการของเด็กก่อนวัยเรียนกรณีศึกษาศูนย์พัฒนาเด็กทีปังกรรัศมีโชติ.*** ถ่ายเอกสาร.

เสาวนีย์ จักรพิทักษ์. (2545). ***หลักโภชนาการในปัจจุบัน.*** บริษัท โรงพิมพ์ไทยวัฒนา จำกัด: กรุงเทพมหานคร.

สุทธิลักษณ์ สมิตตะสิริ. (2553). ***พฤติกรรมการบริโภคอาหาร.*** บทความ. ถ่ายเอกสาร.

สุขุม พันธุ์ณรงค์. (2554). ***การส่งเสริมการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภคของเด็กวัยเรียน.*** วารสารศรีนครินทรวิโรฒวิจัยและพัฒนา (สาขามนุษย์ศาสตร์และสังคมศาสตร์ปีที่ 3 ฉบับที่ 5 มกราคม – มิถุนายน.ถ่ายเอกสาร.

สำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติกระทรวงศึกษาธิการ. (2541). ***การอบรมเลี้ยงดูเด็กระดับก่อนประถมศึกษา.*** โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว: กรุงเทพมหานคร. ถ่ายเอกสาร.

สำนักงานงานส่งเสริมสุขภาพ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2549). ***คู่มือพ่อ - แม่ สำหรับการอบรมเลี้ยงดูเด็กแรกเกิด - 5 ปี.*** องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึกในพระบรมราชูปถัมภ์.

อาภรณ์ เลิศสุโภชวนิชย์. (2545).***โภชนาการสำหรับเด็กปฐมวัย.*** เอกสารประกอบการสอนภาควิชาโรงเรียนสาธิต : คณะครุศาสตร์ วิทยาลัยครูสวนดุสิต.

อำพร แจ่มผล และคณะ. (2546). ***โครงการจัดทำตำรับมาตรฐานอาหารกลางวัน สำหรับเด็กวัยก่อนเรียน.*** ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

อมราภรณ์ วงษ์ฟัก. (ม.ป.ป.). ***เมนูอาหารเด็ก.*** ม.ป.ท. : ม.ป.พ.). ถ่ายเอกสาร.

http://ahan-food5.ueuo.com/Index.htm .

http://nutrition.anamai.moph.go.th/webbook/food1.

http://www.northeducation.ac.th/elearning/ed_child/chap.

http://www.iammomsociety.com/library-care/tag.

http://www.mommybear.net/asktheexpert/asktheexpertinsightviewanswer.

http : //th.answers.yahoo.com.

http://iam.hunsa.com/whovr44/article.

http://schoollunch.obec.go.th.

http://www.thaigoodview.com.

http://www.horapa.com.

ทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศ
Consumer Attitude Towards and Acceptance of Fermented Sour Fish Sausage Packed in Vacuum Bags

ภัทราวดี ศรีปัญญา[1] กาญจนา สุรินต์[1] ธีระธนธร นนทะภา[1] และอรอนงค์ ฐาปนพันธ์นิติกุล[2]

[1] สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยนครพนม จ. นครพนม 48000
p_sripanyamsu@hotmail.com
[2] สาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนคร จ. สกลนคร 47000
onanong_t@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศ จากการทดสอบผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่าคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะ ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส แบบฉลาก บรรจุภัณฑ์ และความพอใจโดยรวม อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ปัจจัยสำคัญต่อการซื้อผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโด ได้แก่ ความสะอาด รองลงมาคือ ความอร่อย สีของเนื้อส้มปลาชะโด ตามลำดับ ผู้บริโภคร้อยละ 95 มีความต้องการซื้อผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศ และผู้บริโภคร้อยละ 92 เห็นว่าราคา 10 บาท ต่อ 20 กรัม เป็นราคาที่เหมาะสม

คำสำคัญ: ส้มปลาชะโด ถุงสุญญากาศ ผู้บริโภค

Abstract

The purpose of this research was to study consumer attitude towards and acceptance of fermented sour fish sausage packed in vacuum bags. The consumer acceptance test was conducted with a total of 100 panelists and showed that most consumers generally accepted the developed product at medium to much liked level for color, odour, taste, texture, label, packaging and overall liking. The major determinants for purchasing decision were cleanliness, deliciousness and color of the samples respectively. Consumers (95%) were willing to buy the products and most consumers (92%) were willing to pay 10 baht for 20 g of the fermented sour fish sausage in a vacuum bags.

Keywords : fermented sour fish sausage, vacuum bags, consumer

1. คำนำ

ส้มปลาชะโดหรือส้มฟักเป็นอาหารหมักพื้นบ้านชนิดหนึ่งและเป็นอาหารหมักประเภทสัตว์น้ำที่มีความคล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์ปลาส้มของคนไทยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่นิยมรับประทานเป็นกับข้าว หรืออาจใช้เป็นกับแกล้มได้ด้วย [1] ขั้นตอนการทำเริ่มจากนำเนื้อปลาบดละเอียดหมักด้วยส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ ข้าวเหนียวนึ่ง เกลือ น้ำตาลทราย กระเทียมและอื่นๆ ผสมให้เข้ากันห่อแล้วด้วยใบตองหรือบรรจุในถุงพลาสติกอัดให้แน่นไว้ในสภาวะไร้อากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1-2 วัน จนกว่าจะเกิดรสเปรี้ยว ปลาที่นิยมใช้ผลิตส้มฟักได้แก่ ปลาชะโด ปลาสลาด ปลาตะเพียนขาว และปลากรายเนื่องจากเนื้อค่อนข้างแน่นและเหนียว [2] ตำบลไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม เป็นพื้นที่ที่แม่น้ำสงครามไหลมาบรรจบกับแม่น้ำโขง จึงมีปลาชุกชุม โดยเฉพาะปลาชะโด ประชาชนทำอาชีพประมง นอกจากจำหน่ายปลาสดแล้วยังมีการถนอมอาหารประเภทปลาไว้รับประทานภายในบ้านอีกด้วย เช่น ทำปลาร้า ปลาแห้ง ปลาส้มฟัก และยังมีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากปลาเพื่อการจำหน่ายเป็นของฝาก โดยเฉพาะส้มปลาชะโดซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นชื่อของชุมชนดังกล่าว และเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์หรือ OTOP ของตำบลไชยบุรี กลุ่มแปรรูปเชิงธุรกิจส้มปลาชะโดเจ๊ดา เป็นกลุ่มวิสาหกิจที่มีการประกอบธุรกิจการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากปลา อาทิ ส้มปลาชะโด, ปลาส้มตัว และปลาร้าตัว ส้มปลาชะโดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นชื่อของกลุ่มและเป็นที่รู้จักของคนทั่วไป แต่อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์สั้น บรรจุภัณฑ์ไม่สวยงาม ไม่เป็นที่ดึงดูดของผู้บริโภค ทางกลุ่มจึงต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น มีบรรจุภัณฑ์ที่สวยงาม เป็นที่ดึงดูดของผู้บริโภค แต่ยังคงสูตรการผลิตแบบดั้งเดิมไว้ เพื่อที่จะสามารถขยายตลาดได้มากและรองรับการเปิดสะพานมิตรภาพไทย-ลาว แห่งที่ 3 นครพนม – คำม่วน นำไปสู่การขยายตัวการค้าเศรษฐกิจด้านอาหารสู่อนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขง

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยนครพนม ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 5 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ภายใต้โครงการส่งเสริมนวัตกรรมอุตสาหกรรมและอุตสาหกรรมเชิงสร้างสรรค์ กิจกรรมประยุกต์ใช้งานวิจัยนวัตกรรมอุตสาหกรรมสู่เชิงพาณิชย์ปีงบประมาณ 2554 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโด สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยนครพนม ร่วมกับสาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร จึงได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศขึ้นมาทดสอบการผลิตระดับห้องปฏิบัติการและได้ศึกษาทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศ

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโด

ใช้ส้มปลาชะโดจากกลุ่มแปรรูปเชิงธุรกิจส้มปลาชะโดเจ๊ดาซึ่งมีขั้นตอนการทำดังนี้ เริ่มจากนำปลา (ปลาชะโด, ปลากรายและปลายี่สก) มาตัดหัว คลักไส้ แล่เอาแต่เนื้อปลา และแล่เอาหนังปลาทิ้ง ล้างทำความสะอาดซ้ำแหละบีบน้ำออกนำไปบดด้วยเครื่องบดจากนั้นผสมกับข้าวเหนียวนึ่งสุก เกลือ ผงปรุงรส น้ำตาลทราย และกระเทียมโขลกคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วนำไปบดผสมจนเหนียวเป็นเนื้อเดียวกัน ชั่งให้ได้น้ำหนัก 20 กรัม ปั้นเป็นก้อนบรรจุในถุงสุญญากาศ ขนาด 3x5 นิ้ว แล้วทำให้เป็นสภาวะสุญญากาศด้วยเครื่อง vacuum pack ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2-3 วัน

2.2 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไปต่อผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศ

ประเมินการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้แบบสอบถาม โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือน ส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลเกี่ยวกับการยอมรับผลิตภัณฑ์ ส่วนที่ 3 การทดสอบเรื่องพฤติกรรม ทำการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้และความคิดเห็นหลังการทดสอบผลิตภัณฑ์ผู้บริโภคทำการประเมินด้านการยอมรับผลิตภัณฑ์ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส แบบฉลาก บรรจุภัณฑ์ และความพอใจโดยรวมด้วยวิธี Hedonic scale (9-point) โดยแจกแบบสอบถามร่วมกับการทดสอบชิมผลิตภัณฑ์กับผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 100 คน ตามสถานที่ภายในมหาวิทยาลัยนครพนม อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม และสถานที่ชุมชนในเขตตำบลไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม ด้านความชอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส

รสชาติ และความชอบรวมการทดสอบผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยการประเมินด้านการยอมรับผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี Hedonic scale (9-point) โดย 1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือ ชอบมากที่สุด [3]

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ประเมินการยอมรับผลิตภัณฑ์

การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศจากคุณลักษณะต่างๆ พบว่าคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะ ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส แบบฉลาก บรรจุภัณฑ์ และความพอใจโดยรวม อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก (ช่วงคะแนน 7-8) (Table 1)

ตารางที่ 1 คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศ

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ ($\overline{X}$ ± SD)
สี	7.58±1.07
กลิ่น	7.34±1.19
รสชาติ	8.00±0.97
เนื้อสัมผัส	7.54±1.12
แบบฉลาก	7.56±1.09
บรรจุภัณฑ์	7.24±1.53
ความพอใจโดยรวม	7.80±1.12

3.2 ทัศนคติของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโด

กลุ่มผู้บริโภคที่ตอบแบบสอบถามในการศึกษาครั้งนี้ส่วนใหญ่ เป็นเพศหญิงมากกว่าเพศชาย โดยคิดเป็นร้อยละ 84 และ ร้อยละ 16 ตามลำดับ และมีอายุระหว่าง 31-40 ปี มากที่สุด คือ ร้อยละ 47 การศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่าซึ่ง คิดเป็นร้อยละ 59 ส่วนใหญ่ผู้ทดสอบมีอาชีพค้าขาย มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 10,001-13,000 บาท โดยเมื่อสอบถามถึงความชอบในการรับประทานส้มปลาชะโด พบว่าส่วนใหญ่ตอบว่าชอบ คิดเป็นร้อยละ 86 รองลงมาคือ ไม่ชอบ คิดเป็นร้อยละ 3 และเฉยๆ ร้อยละ 11 สำหรับเหตุผลในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโด ส่วนใหญ่ซื้อเพื่อการรับประทาน คิดเป็นร้อยละ 73 รองลงมา ซื้อเพื่อนำไปเป็นของฝาก คิดเป็นร้อยละ 27 ปริมาณส้มปลาชะโดที่ซื้อในแต่ละครั้ง อยู่ที่ 10-30 ห่อ คิดเป็นร้อยละ 44 และต่ำกว่า 40 ห่อ คิดเป็นร้อยละ 40 ความถี่ในซื้อผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโด พบว่าผู้บริโภคร้อยละ 63 จะซื้อแล้วแต่ความสะดวก/ไม่แน่นอน ส่วนปัจจัยสำคัญต่อการซื้อผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโด จะเห็นว่าผู้บริโภคให้ความสำคัญในด้านความสะอาดเป็นอันดับแรก รองลงมาคือ ด้านความอร่อย สีของเนื้อส้มปลาชะโด ตามลำดับ ความเหมาะสมของราคาผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศหากมีการจำหน่ายในราคา 10 บาท ต่อ 20 กรัม ส่วนใหญ่เห็นว่าเหมาะสมแล้ว (ร้อยละ 92) ส่วนผู้บริโภคร้อยละ 8 มีความเห็นว่าราคาดังกล่าวไม่เหมาะสม ควรมีราคาตั้งแต่ 5 บาท ถึง 7 บาท ต่อ 20 กรัม ในด้านสถานที่ที่เหมาะสมในการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศเรียงลำดับตามความคิดเห็นจากมากไปน้อย ดังนี้ร้านสะดวกซื้อ ห้างสรรพสินค้า/ ซุปเปอร์มาร์เกต ร้านค้าผู้ประกอบการ ตลาดสด และร้านขายของเบ็ดเตล็ด เมื่อมีผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศออกวางจำหน่าย ส่วนใหญ่คิดว่าจะซื้อ ร้อยละ 95

4. สรุป

การศึกษาทัศนคติและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศ พบว่าการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศจากคุณลักษณะต่างๆ คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะ ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส แบบฉลาก บรรจุภัณฑ์ และความพอใจโดยรวม อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก เหตุผลในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโด ส่วนใหญ่ซื้อเพื่อการรับประทาน รองลงมา ซื้อเพื่อนำไปเป็นของฝาก ส่วนปัจจัยสำคัญต่อการซื้อ

ผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดของผู้บริโภคคือ ด้านความสะอาดเป็นอันดับแรก รองลงมาคือ ด้านความอร่อย สีของเนื้อส้มปลาชะโด ตามลำดับ ความเหมาะสมของราคาผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศหากมีการจำหน่ายคือ ราคา 10 บาท ต่อ 20 กรัม และหากมีผลิตภัณฑ์ส้มปลาชะโดบรรจุถุงสุญญากาศออกวางจำหน่าย ส่วนใหญ่คิดว่าจะซื้อ

5. เอกสารอ้างอิง

[1] วัทธิกร นาถประนิล, "**การใช้แบคทีเรียแลคติคที่แยกและจำแนกจากส้มฟักเพื่อเป็นเชื้อเริ่มต้นในการหมัก**", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2551.

[2] อรวรรณ เลาหสินนุรักษ์, "**การยืดอายุการเก็บรักษาส้มฟักโดยการฉายรังสี**", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาผลิตภัณฑ์ประมง, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2544.

[3] Yamprayoon, J., S. Vichannikornkich A. Sukho S. Warotaipan and A. Ostergaard., "Quality changes during processing, fermentation and storage of low-salt carbohydrate fermented thai fish products (Som-fak)", Fish Technology Research & Inspection, 2, 1998, pp. 73-90.

การตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ของมะเขือเทศราชินีของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลดอนตูม อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

Microbial Contamination Analysis on Fresh Cherry Tomato of Don Toom Agriculturist Cooperative Group Banglen District Nakhon Pathom Province

วันเพ็ญ แสงทองพินิจ[1*], อัจฉรา ภู่แดง[1], เบญจวรรณ โมราศี[1]

[1]*โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม*

**Email:wpetchson@yahoo.com*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ของมะเขือเทศราชินีของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลดอนตูม อ.บางเลน จ.นครปฐม โดยการสังเกตการณ์และเก็บตัวอย่างในแปลงปลูกจำนวน 4 แปลง และจุดรวบรวมผลผลิตคือกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลดอนตูม ทำการสุ่มตัวอย่างมะเขือเทศและปัจจัยในการผลิต ได้แก่ ตะกร้า ผ้าปู และกระด้งสำหรับคัดคุณภาพ มือผู้เก็บและมือผู้คัดคุณภาพ น้ำที่ใช้ในการเพาะปลูก และรถขนส่ง นำมาวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count ; TPC), Coliform, E. coli และ Salmonella จัยผลการวิในแปลงปลูก พบว่ามะเขือเทศที่เก็บจากต้น 3 ใน 4 แปลง มี TPC ที่สูงกว่ามะเขือเทศที่ผ่านการคัดคุณภาพ ส่วนปัจจัยในการผลิตของทั้ง 4 แปลง พบปริมาณเชื้อ TPC ในตะกร้า > มือผู้เก็บ > ผ้าปู > น้ำ เชื้อ Coliform พบว่า 3 ใน 4 แปลงมีเชื้อในผ้าปู > มือผู้เก็บ > ตะกร้า > น้ำ สำหรับจุดรวบรวมผลผลิต พบว่ามะเขือเทศที่คัดคุณภาพแล้ว มีเชื้อ TPC 1.07x10^{3} cfu/g ส่วนปัจจัยการผลิตพบปริมาณเชื้อ TPC ในมือผู้คัดขนาด > ตะกร้า > รถขนส่ง > กระด้ง ส่วนเชื้อ Coliform มีการตรวจพบที่รถขนส่ง > มือผู้คัดขนาด > กระด้ง > ตะกร้า งานวิจัยนี้พบการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคถึง 2 ชนิด คือ เชื้อ E. coli และ Salmonella ในมะเขือเทศจากแปลง มือผู้เก็บและผ้าปูสำหรับคัดขนาดในบางแปลง แต่ไม่พบในจุดรวบรวมผลผลิต จากการสังเกตและผลการวิเคราะห์ พบว่าแนวทางการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์สามารถทำได้โดยการทำความสะอาดปัจจัยการผลิตและให้ความรู้ด้านสุขลักษณะของสถานที่ผลิตและสุขลักษณะส่วนบุคล

คำสำคัญ: มะเขือเทศราชินี, GAP, มะเขือเทศ

Abstract

The objective of this study was to monitor microbial contamination of cherry tomato of Don toom Agriculturist Cooperative, Group Banglean District, Nakhon Pathom Province. The study was performed by observing and sampling tomato from 4 plots (planting areas) and 1 packing house (Don Toom Agriculturist Cooperative Group) and also production facilities such as tomato containers, cloth sheets and threshing baskets for sorting, hands of collectors and sorters, water ,and delivering trucks. Tomato samples and samples from production facilities were evaluated microbial quality such as total plate count (TPC), Coliform, E. coli and Salmonella. The results showed that tomato samples collected from plants (3 in 4 plots) had higher microbial load than sorted tomatoes. For production facilities from planting areas, all 4 plots appeared TPC in containers > collector's hands > cloth sheets > water; Coliform (3 in 4 plots) cloth sheets > collector's hands > containers > water. In packing house, sorted tomatoes showed TPC 1.07x10^{3} cfu/g, production facilities from packing house; TPC sorter's hands > containers > trucks > threshing baskets; Coliforms trucks > sorter's hands > threshing baskets > containers. In this study, two kinds of pathogenic microorganism were found (E. coli and Salmonella) in tomatoes, collector's hands and cloth sheets for sorting in some plots but didn't found in samples from packing house. Based on actual results and practice evaluation, it can be conclude that cleaning production facilities and training staff about personal hygiene and good manufacturing practice (GMP) can help to reduced microbial hazard.

Keyword: cherry tomato, GAP tomato.

1. บทนำ

มะเขือเทศราชินีหรือมะเขือเทศเชอรี่ (Cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*)) เป็นมะเขือเทศผลเล็ก รสชาติดี นิยมบริโภคสดเป็นผลไม้หรือเป็นผักสลัด มีสารต้านอนุมูลอิสระที่สูง ได้แก่ เบต้าแคโรทีน ไลโคปีน วิตามินซี และวิตามินอี ซึ่งช่วยเสริมสร้างภูมิคุ้มกันในร่างกาย ยับยั้งการกลายพันธุ์ของเซลล์ ป้องกันเนื้องอก ลดความเสี่ยงการเป็นโรคต้อกระจก โรคมะเร็งและโรคหัวใจได้ กองโภชนาการได้รณรงค์ให้ประชาชนบริโภคมะเขือเทศมากขึ้น [1] การบริโภคผักสดโดยไม่ผ่านการแปรรูปอาจมีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ได้ สาเหตุของการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในผักและผลไม้ เกิดขึ้นได้ตั้งแต่เพาะปลูก การควบคุมกระบวนการเพาะปลูก การคัดเลือก การเปลี่ยนถ่ายภาชนะบรรจุวัตถุดิบเพื่อการขนส่ง ลงสู่ภาชนะบรรจุที่สะอาด นอกจากนี้ยังต้องควบคุมในเรื่องของความสะอาดและการปฏิบัติในระหว่างกระบวนการผลิต การขนส่ง รวมไปถึงร้านค้าที่จำหน่าย จะทำให้ผักและผลไม้ยังคงคุณภาพและมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค [2] ในปี ค .ศ.1990 สหรัฐอเมริกามีผู้ป่วยจำนวน 176 คน จากโรคอาหารเป็นพิษจากเชื้อ *Salmonella enterica*, serotype Javiana เนื่องจากการบริโภคมะเขือเทศสด และเกิดซ้ำขึ้นอีกในปี 1993 และ 2004 โดยเชื้อสายพันธุ์เดิม เนื่องจากการปนเปื้อนมาจากพนักงานบรรจุมะเขือเทศ ในปี 1998 เกิดจากเชื้อ S. *enterica*, serotype Baildon ซึ่งพบว่าเกิดการปนเปื้อนจากโรงเรือนที่ใช้ในการบรรจุมะเขือเทศ ในปี 2002, 2005 และ 2006 เกิดการปนเปื้อนเชื้อ S. *enterica*, serotype Newport จากโรงเรือนที่ใช้ในการบรรจุเช่นกัน จากปัญหาการเกิดโรคอาหารเป็นพิษจากเชื้อ *Salmonella* ที่ปนเปื้อนในมะเขือเทศ จึงมีคำแนะนำให้ใช้หลักการปฏิบัติเพื่อสุขลักษณะที่ดี (GMP) และหลักการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) มาใช้ การล้างทำความสะอาดมะเขือเทศควรใช้สารฆ่าเชื้อ เช่น คลอรีน และควรทำให้ผิวของมะเขือเทศแห้ง [3] Kokkinakis และคณะ [4] นำวิธีการ GAP protocol AGRO 2-1 และ 2-2, มาใช้ในผลิตมะเขือเทศพบว่าสามารถลดการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้หลายชนิด ได้แก่ *Listeria monocytogenes* และ *Escherichia coli* ในปี 2551 องค์การอาหารและยาสหรัฐอเมริกา (USFDA) พบการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียซัลโมเนลลา ซึ่งเป็นต้นเหตุของโรคอาหารเป็นพิษในมะเขือเทศสดที่วางจำหน่ายถึง 43 รัฐ ทำให้มีผู้ป่วยมากกว่า 1,300 ราย ซึ่งสันนิษฐานว่ามาจากปุ๋ยมูลสัตว์ ทำให้ร้านแมคโดนัลด์ ห้างวอลมาร์ท ได้สั่งถอดมะเขือเทศสดนานาชนิดออกจากรายการอาหาร แต่ทั้งนี้ทางร้านจะยังคงให้บริการมะเขือเทศเชอร์รี่สดในสลัด เนื่องจากไม่พบว่ามีการปนเปื้อนของเชื้อ [5] ทำให้ทางกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ของประเทศไทยทำการสำรวจการปนเปื้อนของเชื้อซัลโมเนลลาในมะเขือเทศสดโดยสุ่มเก็บตัวอย่างมะเขือเทศสดจากตลาดสด 36 แห่งทุกภาคของประเทศ จำนวน 172 ตัวอย่าง พบการปนเปื้อนของเชื้อซัลโมเนลลา 1 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 0.58 การปนเปื้อนของเชื้อนี้น่าจะมาจากอาหารอื่น เช่นเนื้อสัตว์ดิบที่จำหน่ายบริเวณใกล้เคียงซึ่งอาจถ่ายทอดผ่านการหยิบจับ น้ำใช้ และอาจปนเปื้อนจากดินหรือน้ำในบริเวณที่เพาะปลูกหรือระหว่างการขนส่ง [6] ปี 2552 ประเทศออสเตรเลีย พบผู้เป็นโรคไวรัสตับอักเสบเอเพิ่มขึ้นโดย มีสาเหตุจากการบริโภคมะเขือเทศดิบกึ่งแห้ง [7] เดือนเมษายน 2554 บริษัทแห่งหนึ่งในรัฐฟลอริดาเรียกคืนมะเขือเทศราชินี เนื่องจากกระทรวงเกษตรของสหรัฐฯ (USDA) ตรวจพบการปนเปื้อนเชื้อซัลโมเนลลา [8] และเมื่อมิถุนายน 2554 องค์การอนามัยโลก (WHO) รายงานจำนวนผู้ติดเชื้อ *E.coli* ทั่วโลก โดยมีจำนวนผู้ติดเชื้อประเภท *Enterohaemorrhagic E.coli* (EHEC) เป็นสายพันธุ์ที่ไม่รุนแรง จำนวน 1,283 ราย และผู้ที่ติดเชื้อประเภท *Haemolytic Uraemic Syndrome* (HUS) เป็นสายพันธุ์ที่อาจทำให้ผู้ติดเชื้อเสียชีวิต จำนวน 553 ราย มีประเทศที่พบผู้ติดเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวแล้ว จำนวน 13 ประเทศ เยอรมนีเป็นประเทศแรกที่พบการแพร่ระบาดของเชื้อซึ่งพบว่าร้านอาหาร คือหนึ่งในแหล่งที่มาของการแพร่กระจายเชื้อ [9]

เนื่องจากมะเขือเทศราชินีเป็นผลไม้ที่บริโภคสดและเป็นผลผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลดอนตูม ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยต่อผู้บริโภค และเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์ของชุมชน จึงมีการสำรวจคุณภาพด้านการปนเปื้อนจุลินทรีย์เพื่อเป็นแนวทางส่งเสริมการผลิตที่ถูกสุขลักษณะและเป็นต้นแบบสำหรับกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกมะเขือเทศราชินีกลุ่มอื่น

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 สังเกตการณ์วิธีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวมะเขือเทศราชินีของผู้ผลิต

การสังเกตการณ์วิธีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวมะเขือเทศราชินีของผู้ผลิตโดยคัดเลือกจากผู้ปลูกมะเขือเทศ จำนวน 3 ราย (4 แปลง) และผู้รวบรวมผลผลิต (กลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลดอนตูม) จำนวน 1 ราย เกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือก คือเป็นแปลงที่ให้ผลผลิตในระหว่างการทำวิจัย เป็นสมาชิกของกลุ่มฯ มีพื้นที่ปลูก และปริมาณผลผลิตจำนวนมาก อีกทั้งตามคำแนะนำของประธานกลุ่ม และมีความสมัครใจ มีพื้นที่ปลูก 4-6 ไร่ ผลผลิต 2.5-3 ตัน/ไร่

ลงพื้นที่สังเกตการปฏิบัติงานของผู้ผลิตและเก็บตัวอย่างในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เดือนสิงหาคม 2554 ตั้งแต่ขั้นตอนการปลูก การดูแลรักษาต้นมะเขือเทศ การเก็บเกี่ยว การรวบรวมผลผลิต การคัดคุณภาพ การบรรจุ และการขนส่ง รวมถึงสภาพแวดล้อมของแปลงปลูก สถานที่คัดคุณภาพ แหล่งน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูก และอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของปัจจัยการผลิต และประเมินหาแหล่งที่มาของการปนเปื้อน

2.2 ตรวจปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของมะเขือเทศราชินี และปัจจัยการผลิต

การตรวจปริมาณเชื้อจุลินทรีย์โดยดำเนินการ 2 ส่วน คือจากแปลงปลูกซึ่งดำเนินการโดยเกษตรกร และสถานที่รวบรวมผลผลิตจากเกษตรกรซึ่งดำเนินการโดยประธานกลุ่มฯ

2.2.1 จากแปลงปลูก ทำการสุ่มตัวอย่าง ได้แก่ 1) มะเขือเทศจากต้น เลือกเก็บบริเวณโคนต้น 2) มะเขือเทศที่ผ่านการคัดคุณภาพโดยเกษตรกร 3) ตะกร้าใส่มะเขือเทศ 4) ผ้าปูพื้นสำหรับคัดคุณภาพ 5) มือผู้เก็บมะเขือเทศ 6) น้ำที่ใช้ในการเพาะปลูก

การเก็บตัวอย่างในแต่ละแปลงจะเก็บ 2-4 ครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวย เช่น ฝนตกหนัก ผลผลิตเสียหาย โรคระบาด ขั้วผลเน่า ต้นตาย หรือมะเขือเทศมีผลผลิตน้อย จึงทำให้ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้เท่ากันทุกแปลง

2.2.2 จากผู้รวบรวมผลผลิต ทำการสุ่มตัวอย่าง ได้แก่ 1) มะเขือเทศที่ผ่านการคัดคุณภาพที่พร้อมส่งจำหน่าย 2) ตะกร้าที่ใช้บรรจุมะเขือเทศสำหรับส่งจำหน่าย 3) มือผู้คัดคุณภาพ 4) กระด้งสำหรับคัดคุณภาพ 5) รถขนส่ง

การสุ่มตัวอย่างจะเก็บตัวอย่างครั้งละ 3 ซ้ำ โดยมะเขือเทศเก็บตัวอย่างครั้งละ 100 กรัม การเก็บตัวอย่างจากตะกร้า ผ้าปู กระด้ง และรถขนส่ง โดยใช้ Swab technique การเก็บตัวอย่างมือโดยจุ่มมือลงใน Maximum Recovery Diluent (MRD) นำตัวอย่างมาตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count; TPC), *Salmonella* spp., Coliform และ *E. coli*

2.3 การวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์

2.3.1 การตรวจปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด Total plate count ตามวิธี AOAC International (2002) [10]

ตัวอย่างมะเขือเทศ 10 กรัม ใส่ถุงและบดให้ละเอียด เติม MRD 90 มิลลิลิตร ส่วนตัวอย่างจากตะกร้า ผ้าปู มือ และน้ำ ทำการเจือจาง 3 ระดับ ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Standard Plate Count agar (PCA) โดยใช้วิธี pour plate บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนี รายงานผลเป็น cfu/g หรือ cfu/ml

2.3.2 การตรวจเชื้อ *Salmonella* spp. ตามวิธี ISO 6579 (1993) [11]

ตัวอย่างมะเขือเทศนำมาเพิ่มปริมาณเชื้อ (Pre-enrichment) โดยใช้มะเขือเทศ 25 กรัม ใส่ถุงและบดให้ละเอียด เติมแลคโตส 225 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ส่วนตัวอย่างจากตะกร้า ผ้าปู และมือ นำตัวอย่างมาถ่ายเชื้อลง Tetrathionate broth (TTB) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และ Rappaporty-Vassiliadis broth (RV) บ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตัวอย่างน้ำนำมากรองผ่านเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอนและนำแผ่นกรองใส่ใน RV บ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำมา streak ลงบน Brilliant green Phenol Red Lactose Sucrose agar (BPLS) และ Xylose lysine deoxycholate agar (XLD) แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

เชื้อ *Salmonella* spp. บน BPLS จะมีลักษณะใสบริเวณตรงกลางสีชมพูอ่อนล้อมรอบด้วยสีแดง ส่วน XLD จะมีสีเดียวกับอาหารเลี้ยงเชื้อ สีใสตรงกลางของโคโลนีจะมีสีดำ

2.3.3 การตรวจเชื้อ Coliform และ *E.coli* โดยดัดแปลงมาจากวิธี ISO/DIS 11866-2.2(1994) [12]

มะเขือเทศจำนวน 10 กรัม ใส่ถุงและบดให้ละเอียดเติม MRD 90 มิลลิลิตร ส่วนตัวอย่างตะกร้า ผ้าปู มือ และน้ำ ทำการเจือจาง 3 ระดับ ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ลงบน Coliform agar โดยใช้วิธี Spread plate นำมาบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนี *E. coli* โคโลนีเป็นสีม่วง Coliform โคโลนีเป็นสีแดง รายงานผลเป็น cfu/g หรือ cfu/ml

3. ผลการวิจัย

จากการตรวจวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยของมะเขือเทศจากแหล่งปลูกจำนวน 4 แปลง และแหล่งรวบรวมจำนวน 1 แหล่ง ควบคู่กับการพิจารณาตามเกณฑ์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ ดังนี้ 1) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่มีค่ามาตรฐานกำหนดไว้ 2) ต้องไม่พบเชื้อ *Salmonella* ในตัวอย่างอาหารกรัม 25 กรัม และ *E. coli* ต้องไม่เกิน 100 cfu/g [13]

3.1 คุณภาพความปลอดภัยด้านเชื้อจุลินทรีย์ของมะเขือเทศและปัจจัยการผลิตจากแปลงปลูก

มะเขือเทศที่เก็บมาจากแปลงของเกษตรกรจะนำมาคัดคุณภาพโดยแยกผลที่เน่าเสีย และมีตำหนิออก ทำการคัดบนพื้นดินหรือพื้นปูนโดยใช้ผ้าปูรองรับมะเขือเทศเพื่อเช็ดน้ำที่ติดผลมะเขือเทศให้แห้ง และบรรจุใส่ตะกร้าพลาสติกเพื่อรอขนส่งไปยังกลุ่มฯ

การเก็บตัวอย่างจากแปลงปลูก A ทำการเก็บจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งก่อนวันเก็บผลผลิตทั้งสองครั้งมีฝนตกทำให้พื้นดินบริเวณแปลงเปียก โดยเฉพาะครั้งที่ 2 พบว่ามะเขือเทศผลแตกจำนวนมากมีแมลงวันมาตอมในขณะคัดคุณภาพ มะเขือเทศมีตำหนิมากเนื่องจากมีขั้วผลสีดำ จากการที่มะเขือเทศเป็นโรคขั้วผลดำทำให้เกษตรกรไม่เก็บผลผลิตครั้งต่อไป จากผลการวิเคราะห์แปลงปลูก A (ตารางที่ 1) จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง ตรวจพบเชื้อ TPC ทั้ง 2 ครั้ง ยกเว้นในมะเขือเทศที่คัดคุณภาพในครั้งแรกมีปริมาณเชื้อน้อย ปริมาณ TPC ของมะเขือเทศจากต้นมีเชื้อ 8.69×10^{2}-7.72×10^{4}cfu/g (เฉลี่ย 3.90×10^{4}cfu/g) มะเขือเทศที่ผ่านการคัดพบเชื้อ TPC 1 ครั้ง ในครั้งที่ 2 โดยมีเชื้อ 3.35×10^{4}cfu/g ตะกร้ามีเชื้อ 9.7×10^{2}–1.21×10^{5} cfu/ml (เฉลี่ย 6.10×10^{4}cfu/ml) ผ้าปูมีเชื้อ 1.98×10^{3}-6.58×10^{3} cfu/ml (เฉลี่ย 4.28×10^{3}cfu/ml) มือผู้เก็บมีเชื้อ 5.0×10^{2}- 1.87×10^{3} cfu/ml (เฉลี่ย 2.60×10^{2}cfu/ml) และน้ำมีเชื้อ 1.87×10^{2}-5.00×10^{2} cfu/ml (เฉลี่ย 3.43×10^{2}cfu/ml)

เชื้อ Coliform ในมะเขือเทศจากต้น มะเขือเทศที่คัดคุณภาพ ตะกร้า และมือผู้เก็บ ตรวจพบ coliform ในครั้งที่ 2 ในมะเขือเทศจากต้นมีเชื้อมากจนนับไม่ได้ มะเขือเทศที่ผ่านการคัดมีเชื้อ 8.0×10^{2}cfu/g ตะกร้ามีเชื้อ 4.35×10^{2} cfu/ml มือผู้เก็บมีเชื้อ 6.20×10^{2}cfu/ml ส่วนในผ้าปู และน้ำพบทุกครั้ง โดยครั้งที่ 2 มีปริมาณเชื้อสูงกว่าครั้งที่ 1 ผ้าปู มีปริมาณเชื้ออยู่ระหว่าง 7.35×10^{3} cfu/ml ถึงมากจนนับไม่ได้ และน้ำมีเชื้ออยู่ระหว่าง 3.60×10^{3} cfu/ml ถึงมากจนนับไม่ได้ จากการสังเกตุในระหว่างการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 พบแมลงวันตอมมะเขือเทศเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณ Coliform สูง อีกทั้งมีห้องน้ำและเล้าหมูติดอยู่กับแปลงปลูก บริเวณจุดคัดคุณภาพอยู่บนพื้นถนน ซึ่งมีฝนตก ดินค่อนข้างแฉะ ไม่พบเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella* spp. ในทุกตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง พบว่ามะเขือเทศจากต้นมีปริมาณเชื้อ TPC และ Coliform มากกว่ามะเขือเทศที่ผ่านการคัดคุณภาพ อาจเป็นเพราะวิธีการรดน้ำแบบพ่น และฝนตกทำให้ดินกระเด็นไปโดนผลมะเขือเทศ ทำให้เกิดการปนเปื้อนเชื้อได้ ปัจจัยการผลิต TPC พบที่ตะกร้า > ผ้าปู > มือผู้เก็บ > น้ำ Coliform พบเชื้อที่ผ้าปู > น้ำ > มือผู้เก็บ > ตะกร้า

การเก็บตัวอย่างจากแปลงปลูก B ทำการเก็บจำนวน 3 ครั้ง โดยในครั้งที่ 1 และ 2 วันที่เข้าไปเก็บตัวอย่างมีฝนตกเล็กน้อยต้นมะเขือเทศที่เป็นโรคเหี่ยวเขียวตายบางร่อง ในครั้งที่ 3 เป็นช่วงที่มะเขือเทศหมดรุ่น ผลการวิเคราะห์แปลงปลูก B (ตารางที่ 2) จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง ตรวจพบเชื้อ TPC ทั้ง 3 ครั้ง พบว่า TPC ของมะเขือเทศจากต้นมีเชื้ออยู่ระหว่าง 6.62×10^{3}-3.00×10^{4} cfu/g (เฉลี่ย 1.51×10^{4} cfu/g) มะเขือเทศที่ผ่านการคัดมีเชื้ออยู่ระหว่าง 8.15×10^{3}-1.52×10^{4}cfu/g (เฉลี่ย 1.08×10^{4} cfu/g) ตะกร้ามีเชื้อ 1.08×10^{4}–7.06×10^{4} cfu/ml (เฉลี่ย 3.75×10^{4} cfu/ml) ผ้าปูมีเชื้อ 1.40×10^{3}-1.63×10^{3} cfu/ml (เฉลี่ย 1.54×10^{3} cfu/ml) มือผู้เก็บมีเชื้อ 1.22×10^{3}-1.95×10^{3} cfu/ml (เฉลี่ย 1.54×10^{3} cfu/ml) และน้ำมีเชื้อ 7.13-8.05 cfu/ml (เฉลี่ย 7.72 cfu/ml)

เชื้อ Coliform ตรวจพบทั้ง 3 ครั้ง โดยมะเขือเทศจากต้น และผ้าปูโดยมีเชื้อมากจนนับไม่ได้ มะเขือเทศที่ผ่านการคัดมีเชื้อ 5.0×10^{2}–2.85×10^{3}cfu/g (เฉลี่ย 1.92×10^{3} cfu/g) ตะกร้ามีเชื้อ 1.65×10^{3}-4.00×10^{3} cfu/ml (เฉลี่ย 3.75×10^{3} cfu/ml) มือผู้เก็บมีเชื้อ 3.86×10^{3}–5.50×10^{3} cfu/ml (เฉลี่ย 4.69×10^{3} cfu/ml) และน้ำมีเชื้อ 1.10×10^{3}-1.86×10^{3} cfu/ml (เฉลี่ย 1.36×10^{3} cfu/ml) ไม่พบเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella* จากผลการวิเคราะห์ พบว่ามะเขือเทศจากต้นมีปริมาณเชื้อ TPC และ Coliform มากกว่ามะเขือเทศที่ผ่านการคัดอาจเป็นเพราะวิธีการรดน้ำแบบพ่น ทำให้ดินกระเด็นไปโดนผลมะเขือเทศและปัจจัยการผลิต TPC พบที่ตะกร้า > มือผู้เก็บ) และผ้าปู > น้ำ Coliform พบเชื้อที่ผ้าปู > มือผู้เก็บ > ตะกร้า > น้ำ การพบเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูงโดยเฉพาะ TPC ในตะกร้า อาจเนื่องจากในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างช่วงนั้นมีฝนตก ดินค่อนข้างแฉะและตะกร้าวางบนพื้นโดยตรง ทำให้เลอะดินโคลนและสกปรกมาก

ตารางที่ 1 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC), Coliform, *E. coli* และ *Salmonella* แปลงปลูก A

Samples	Microbe	Rep.	ปริมาณเชื้อ cfu/g หรือ cfu/ml			No. of	Incidence
			1	2	Means	positive	(%)
มะเขือแทศ	TPC	2	8.69×10^{2}	7.72×10^{4}	3.90×10^{4}	2/2	100
(จากต้น)	*E.coli*	2	ND	ND	-	2/0	0
	Coliform	2	ND	>300	-	1/2	50
	Salmonella	2	ไม่พบ	ไม่พบ	-	2/0	0
มะเขือเทศ	TPC	2	ND	3.35×10^{4}	-	1/2	50
(คัดคุณภาพ)	*E.coli*	2	ND	ND	-	2/0	0
	Coliform	2	ND	8.0×10^{2}	-	2/1	50
	Salmonella	2	ไม่พบ	ไม่พบ	-	2/0	0
ตะกร้า	TPC	2	9.7×10^{2}	1.21×10^{5}	6.10×10^{4}	2/2	100
	E.coli	2	ND	ND	-	2/0	0
	Coliform	2	ND	4.35×10^{2}	-	2/1	50
	Salmonella	2	ไม่พบ	ไม่พบ	-	2/0	0
ผ้าปู	TPC	2	1.98×10^{3}	6.58×10^{3}	4.28×10^{3}	2/2	100
	E.coli	2	ND	ND	-	2/0	0
	Coliform	2	7.35×10^{3}	>300	-	2/2	100
	Salmonella	2	ไม่พบ	ไม่พบ	-	2/0	0
มือ	TPC	2	1.87×10^{3}	5.0×10^{2}	2.60×10^{2}	2/2	100
(ผู้เก็บ)	*E.coli*	2	ND	ND	-	2/0	0
	Coliform	2	ND	6.2×10^{2}	-	2/1	50
	Salmonella	2	ไม่พบ	ไม่พบ	-	2/0	0
น้ำ	TPC	2	1.87×10^{2}	5.0×10^{2}	3.43×10^{2}	2/2	100
	E.coli	2	ND	ND	-	2/0	0
	Coliform	2	3.6×10^{3}	>300	-	2/2	100
	Salmonella	2	ไม่พบ	ไม่พบ	-	2/0	0

ND หมายถึง ไม่พบโคโลนีของเชื้อหรือมีเชื้อน้อยกว่า 10 โคโลนี, >300 หมายถึงมีโคโลนีมากจนนับไม่ได้

การเก็บตัวอย่างมะเขือเทศจากแปลงปลูก C ทำการเก็บจำนวน 4 ครั้ง โดยในครั้งที่ วันที่เข้าไปเก็บตัวอย่างมีฝนตกเล็กน้อย 1 ผลมะเขือเทศมีขั้วสีดำจำนวนมาก จากผลการแปลงปลูก C ในตารางที่ 3 จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 4 ครั้ง ตรวจพบเชื้อ TPC ทั้ง 4 ครั้ง TPC มะเขือเทศจากต้นมีเชื้อ 1.61×10^{4}-1.45×10^{5} cfu/g (เฉลี่ย 6.07×10^{4} cfu/g) มะเขือเทศที่ผ่านการคัดมีเชื้อ 3.20×10^{2}-9.97×10^{3}cfu/g (เฉลี่ย 9.98×10^{3}cfu/g) ตะกร้ามีเชื้อ 3.43×10^{3}-1.29×10^{4}cfu/ml (เฉลี่ย 5.91×10^{3} cfu/ml) ผ้าปูมีปริมาณเชื้อ

1.37×10^{3}-1.51×10^{4} cfu/ml (ฉลี่ย 5.86×10^{3} cfu/ml) มือผู้เก็บมีเชื้อ 1.00×10^{3}-9.03×10^{3} cfu/ml (เฉลี่ย 3.41×10^{3} cfu/ml) และน้ำมีเชื้อ 8.20×10^{1}-1.74×10^{2} cfu/ml (เฉลี่ย 1.18×10^{2}cfu/ml) เชื้อ Coliform ตรวจพบเชื้อทั้ง 4 ครั้ง ในมะเขือเทศจากต้นมีเชื้อ 4.00×10^{2} cfu/g ถึง มากจนนับไม่ได้ มะเขือเทศที่ผ่านการคัดมีเชื้อ 5.50×10^{2}-4.50×10^{3}cfu/g (เฉลี่ย 2.19×10^{3}cfu/g) ตะกร้ามีเชื้อ 1.26×10^{3}-2.40×10^{3} cfu/ml (เฉลี่ย 1.89×10^{3}cfu/ml) ผ้าปูมีเชื้อ 2.66×10^{3} cfu/ml ถึงมากจนนับไม่ได้ มือผู้เก็บมีเชื้อ 7.30×10^{2}–5.50×10^{3} cfu/ml (เฉลี่ย 2.77×10^{3}cfu/ml) และน้ำมีเชื้อ 1.00×10^{3}-1.86×10^{3} cfu/ml (เฉลี่ย 1.3×10^{3}cfu/ml)

ตารางที่ 2 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC),Coliform, *E. coli* และ *Salmonella* แปลงปลูก B

Samples	Microbe	Rep.	ปริมาณเชื้อ cfu/g หรือ cfu/ml				No. of	Incidence
			1	2	3	Means	positive	(%)
มะเขือเทศ	TPC	3	3.00×10^{4}	8.87×10^{3}	6.62×10^{3}	1.51×10^{4}	3/3	100
(จากต้น)	*E.coli*	3	ND	ND	ND	-	3/0	0
	Coliform	3	>300	>300	>300	-	3/3	100
	Salmonella	3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	3/0	0
มะเขือเทศ	TPC	3	9.17×10^{3}	1.52×10^{4}	8.15×10^{3}	1.08×10^{4}	3/3	100
(คัดคุณภาพ)	*E.coli*	3	ND	ND	ND	-	3/0	0
	Coliform	3	5.00×10^{2}	2.85×10^{3}	2.40×10^{3}	1.92×10^{3}	3/3	100
	Salmonella	3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	3/0	0
ตะกร้า	TPC	3	3.11×10^{4}	1.08×10^{4}	7.06×10^{4}	3.75×10^{4}	3/3	100
	E.coli	3	ND	ND	ND	-	3/0	0
	Coliform	3	4.0×10^{3}	1.75×10^{3}	1.65×10^{3}	3.75×10^{3}	3/3	100
	Salmonella	3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	3/0	0
ผ้าปู	TPC	3	1.40×10^{3}	1.60×10^{3}	1.63×10^{3}	1.54×10^{3}	3/3	100
	E.coli	3	ND	ND	ND	-	3/0	0
	Coliform	3	>300	>300	>300	-	3/3	100
	Salmonella	3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	3/0	0
มือ	TPC	3	1.95×10^{3}	1.44×10^{3}	1.22×10^{3}	1.54×10^{3}	3/3	100
(ผู้เก็บ)	*E.coli*	3	ND	ND	ND	-	3/0	0
	Coliform	3	5.50×10^{3}	4.70×10^{3}	3.86×10^{3}	4.69×10^{3}	3/3	100
	Salmonella	3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	3/0	0
น้ำ	TPC	3	8.05	7.13	7.98	7.72	3/3	100
	E.coli	3	ND	ND	ND	-	3/0	0
	Coliform	3	1.13×10^{3}	1.86×10^{3}	1.10×10^{3}	1.36×10^{3}	3/3	100
	Salmonella	3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	3/0	0

ND หมายถึง ไม่พบโคโลนีของเชื้อหรือมีเชื้อน้อยกว่า 10 โคโลนี, >300 หมายถึงมีโคโลนีมากจนนับไม่ได้

ไม่พบ เชื้อ *E .coli* ในมะเขือเทศจากต้น มะเขือเทศที่ผ่านการคัด ผ้าปู ตะกร้าและน้ำ แต่พบเชื้อ *E .coli* ในมือผู้เก็บ 1 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 25 โดยมีปริมาณเชื้อ 4.80×10^{3}cfu/g ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐาน พบเชื้อ *Salmonella* ในมะเขือจากต้น มะเขือเทศที่ผ่านการคัด มือของผู้เก็บ โดยตรวจพบ 2 ครั้ง (คิดเป็นร้อยละ 50) จากผลการวิเคราะห์ตารางที่ 3 พบว่า มะเขือเทศจากต้นมีปริมาณเชื้อ TPC และ Coliform มากกว่ามะเขือเทศที่ผ่านการคัด และพบเชื้อ *Salmonella* ปัจจัยการผลิต TPC พบที่ตะกร้า > ผ้าปู >มือผู้เก็บ > น้ำ Coliform พบที่ผ้าปู > มือผู้เก็บ > ตะกร้า > น้ำ และพบเชื้อ *E.coli* และ *Salmonella* ที่มือผู้เก็บ แสดงว่ามีสุขลักษณะส่วนบุคคลที่ไม่ดี และสภาพแวดล้อมใกล้เคียงมีเล้าเป็ดอยู่ติดแปลงปลูก เป็ดที่เลี้ยงได้ใช้น้ำแหล่งเดียวกับน้ำที่ใช้ปลูกมะเขือเทศและเป็ดสามารถเดินเข้าไปในแปลงมะเขือเทศได้ อีกทั้งบริเวณจุดคัดคุณภาพเป็นลานหน้าบ้านซึ่งเป็นพื้นปูน มีสุนัข ไก่อยู่บริเวณนั้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่พบเชื้อ *E. coli* และ *Salmonella* spp. ได้ เนื่องจากเชื้อ *Salmonella* spp.มักพบในสัตว์ปีก

การเก็บตัวอย่างมะเขือเทศจากแปลงปลูก D ทำการเก็บจำนวน 2 ครั้ง ในการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 2 มีผลแตกและขั้วผลดำจำนวนมาก เกษตรกรจึงไม่เก็บผลผลิตในครั้งต่อไป จากผลการวิเคราะห์แปลงปลูก D ในตารางที่ 4 พบว่าการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง ตรวจพบเชื้อ TPC ทั้ง 2 ครั้ง TPC ของมะเขือเทศจากต้นจากมีเชื้อ $1.12x10^3$-$7.38x10^3$ cfu/g (เฉลี่ย $4.48x10^3$ cfu/g) มะเขือเทศที่ผ่านการคัดมีเชื้อ $6.07x10^3$-$6.75x10^3$cfu/g (เฉลี่ย $6.41x10^3$ cfu/g) ตะกร้ามีเชื้อ $9.99x10^2$-$4.41\ x10^3$cfu/ml (เฉลี่ย $2.7x10^3$cfu/ml) ผ้าปูมีเชื้อ $9.63x10^2$ -$6.91x10^3$ cfu/ml (เฉลี่ย $3.94x10^3$ cfu/ml) มือผู้เก็บมีเชื้อ $1.97x10^3$-$8.29x10^3$ cfu/ml (เฉลี่ย $5.13x10^3$ cfu/ml) และน้ำมีเชื้อ $1.05x10^2$-$1.31x10^2$ cfu/ml (เฉลี่ย $1.18x10^2$ cfu/ml)

ตารางที่ 3 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC),Coliform, *E. coli* และ *Salmonella* แปลงปลูก C

Samples	Microbe	Rep.	ปริมาณเชื้อ cfu/g หรือ cfu/ml					No. of	Incidence
			1	2	3	4	Mean	positive	(%)
มะเขือเทศ	TPC	4	$1.61x10^4$	$1.45x10^5$	$3.53x10^4$	$4.62x10^4$	$6.07\ x10^4$	4/4	100
(จากต้น)	*E.coli*	4	ND	ND	ND	ND	-	4/0	0
	Coliform	4	>300	>300	$1.00x10^3$	$0.40x10^3$	-	4/4	100
	Salmonella	4	ไม่พบ	พบ	พบ	ไม่พบ	-	4/2	50
มะเขือเทศ	TPC	4	$9.97x10^3$	$3.20x10^2$	$1.99x10^2$	$9.73x10^3$	$9.98\ x10^3$	4/4	100
(คัดคุณภาพ)	*E.coli*	4	ND	ND	ND	ND	-	4/0	0
	Coliform	4	$4.50x10^3$	$2.85x10^3$	$5.50x10^2$	$8.50x10^2$	2.19	4/4	100
	Salmonella	4	ไม่พบ	พบ	พบ	ไม่พบ	-	2/4	50
ตะกร้า	TPC	4	$1.29x10^4$	$3.58x10^3$	$3.43x10^3$	$3.71x10^3$	$5.91\ x10^3$	4/4	100
	E.coli	4	ND	ND	ND	ND	-	4/0	0
	Coliform	4	$2.16x10^3$	$1.75x10^3$	$2.40x10^3$	$1.26x10^3$	$1.89\ x10^3$	4/4	100
	Salmonella	4	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	4/0	0
ผ้าปู	TPC	4	$1.51x10^4$	$5.11x10^3$	$1.84x10^3$	$1.37x10^3$	$5.86x10^3$	4/4	100
	E.coli	4	ND	ND	ND	ND	ND	4/0	0
	Coliform	4	>300	$8.85\ x10^3$	$3.50x10^3$	$2.66x10^3$	$3.08\ x10^3$	4/4	100
	Salmonella	4	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	4/0	0
มือ	TPC	4	$9.03x10^3$	$1.45x10^3$	$1.00x10^3$	$2.14x10^3$	$3.41\ x10^3$	4/4	100
(ผู้เก็บ)	*E.coli*	4	ND	$4.8x10^3$	ND	ND	-	4/1	25
	Coliform	4	$5.50x10^3$	$3.95x10^3$	$7.30x10^2$	$0.90x10^3$	$2.77\ x10^3$	4/4	100
	Salmonella	4	ไม่พบ	พบ	พบ	ไม่พบ	-	4/2	50
น้ำ	TPC	4	$8.20x10^1$	$1.20x10^2$	$1.74x10^2$	$1.69x10^2$	$1.18\ x10^2$	4/4	100
	E.coli	4	ND	ND	ND	ND	-	4/0	0
	Coliform	4	$1.13x10^3$	$1.86x10^3$	$1.0x10^3$	$1.23x10^3$	$1.30\ x10^3$	4/4	100
	Salmonella	4	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	4/0	0

ND หมายถึง ไม่พบโคโลนีของเชื้อหรือมีเชื้อน้อยกว่า 10 โคโลนี, >300 หมายถึงมีโคโลนีมากจนนับไม่ได้

เชื้อ Coliform ตรวจพบเชื้อทั้ง 2 ครั้ง ในมะเขือเทศจากต้นมีเชื้อ $1.93x10^3$ cfu/g ถึง มากจนนับไม่ได้ มะเขือเทศที่ผ่านการคัด ตะกร้า ผ้าปู และมือ มีเชื้อมากจนนับไม่ได้ น้ำมีเชื้อ $1.05x10^4$-$1.18x10^4$ cfu/ml (เฉลี่ย $1.12x10^4$ cfu/ml) พบว่ามีปริมาณเชื้อค่อนข้างมาก ไม่พบเชื้อ *E.coli* ในมะเขือเทศจากต้น มะเขือเทศที่ผ่านการคัด ตะกร้า มือผู้เก็บ และน้ำ แต่พบเชื้อ *E.coli* ในผ้าปูสำหรับคัดคุณภาพ 1 ครั้ง โดยมีปริมาณเชื้อ $6.00x10^2$cfu/g ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐาน ไม่พบการเชื้อ *Salmonella* spp. ในทุกตัวอย่าง จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4 พบว่ามะเขือเทศที่ผ่านการคัดมีเชื้อ TPC และ Coliform มากกว่ามะเขือเทศจากต้น ปัจจัยการผลิต TPC พบที่มือผู้เก็บ > ผ้าปู > ตะกร้า > น้ำ Coliform พบที่มือผู้เก็บ ผ้าปู และตะกร้า (มากจนนับไม่ได้) > น้ำ และ พบเชื้อ *E.coli* ที่ผ้าปู แม้ว่าเกษตรกรรายนี้จะทำการคัดคุณภาพบนโต๊ะสูงประมาณ 60 เซนติเมตรก็ตาม จากการสังเกตพบว่าบริเวณคัดคุณภาพมีไก่ สุนัข แมวเดินและนอนอยู่ อีกทั้งวางผ้าปูก่อนใช้งานไว้ที่พื้น

ตารางที่ 4 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC),Coliform, *E. coli* และ *Salmonella* แปลงปลูก D

Samples	Microbe	Rep.	ปริมาณเชื้อ cfu/g หรือ cfu/ml			No. of	Incidence
			1	2	Means	positive	(%)
มะเขือเทศ	TPC	2	$7.83x10^3$	$1.12x10^3$	$4.48\ x10^3$	2/2	100
(จากต้น)	*E.coli*	2	ND	ND	-	2/0	0
	Coliform	2	$1.93x10^3$	>300	-	2/2	100
	Salmonella	2	ไม่พบ	ไม่พบ	-	2/0	0
มะเขือเทศ	TPC	2	$6.07x10^3$	$6.75x10^3$	$6.41\ x10^3$	2/2	100
(คัดคุณภาพ)	*E.coli*	2	ND	ND	-	2/0	0
	Coliform	2	>300	>300	-	2/2	100
	Salmonella	2	ไม่พบ	ไม่พบ	-	2/0	0
ตะกร้า	TPC	2	$4.41x10^3$	$9.99x10^2$	$2.70\ x10^3$	2/2	100
	E.coli	2	ND	ND	-	2/0	0
	Coliform	2	>300	>300	-	2/2	100
	Salmonella	2	ไม่พบ	ไม่พบ	-	2/0	0
ผ้าปู	TPC	2	$6.91x10^3$	$9.63x10^2$	$3.94x10^3$	2/2	100
	E.coli	2	$6.00x10^2$	ND	-	2/1	50
	Coliform	2	>300	>300	-	2/2	100
	Salmonella	2	ไม่พบ	ไม่พบ	-	2/0	0
มือ	TPC	2	$1.97x10^3$	$8.29x10^3$	$5.13\ x10^3$	2/2	100
(ผู้เก็บ)	*E.coli*	2	ND	ND	-	2/0	0
	Coliform	2	>300	>300	-	2/2	100
	Salmonella	2	ไม่พบ	ไม่พบ	-	2/0	0
น้ำ	TPC	2	$1.31x10^2$	$1.05x10^2$	$1.18\ x10^2$	2/2	100
	E.coli	2	ND	ND	-	2/0	0
	Coliform	2	$1.18x10^4$	$1.05x10^4$	$1.12\ x10^4$	2/2	100
	Salmonella	2	ไม่พบ	ไม่พบ	-	2/0	0

ND หมายถึง ไม่พบโคโลนีของเชื้อหรือมีเชื้อน้อยกว่า 10 โคโลนี, >300 หมายถึงมีโคโลนีมากจนนับไม่ได้

จากการสุ่มตัวอย่างแปลงปลูกทั้ง 4 แปลงจำนวน 11 ครั้ง ตรวจพบ TPC ในมะเขือเทศและปัจจัยการผลิตทุกครั้ง ตัวอย่างมะเขือเทศตรวจพบ Coliform 10 ครั้ง *Salmonalla* spp. 2 ครั้ง ไม่พบ *E.coli* ปัจจัยการผลิต มือผู้เก็บพบ Coliform 10 ครั้ง *Salmonalla* spp. 2 ครั้ง *E.coli* 1 ครั้ง ตะกร้าพบ Coliform 10 ครั้ง ไม่พบ *Salmonalla* spp. และ *E.coli* ผ้าปูพบ Coliform ทุกครั้ง *E.coli* 1 ครั้ง ไม่พบ *Salmonalla* spp. น้ำพบ Coliform ทุกครั้ง ไม่พบ *Salmonalla* spp. และ *E.coli*

3.2 คุณภาพความปลอดภัยด้านเชื้อจุลินทรีย์ของมะเขือเทศและปัจจัยการผลิตจากแหล่งรวบรวมผลผลิต

การเก็บตัวอย่างมะเขือเทศและปัจจัยการผลิตจากแหล่งรวบรวม ทำการเก็บจำนวน 3 ครั้ง ในช่วงการเก็บตัวอย่างนั้น มีการปรับปรุงและต่อเติมสถานที่ สำหรับรับซื้อผลผลิต และคัดคุณภาพ จากผลการวิเคราะห์แหล่งรวบรวม คือ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลดอนตูม ในตารางที่ 5 จากการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง ตรวจพบเชื้อ TPC ทุกครั้ง TPC ของมะเขือเทศที่ผ่านการคัดคุณภาพมีเชื้อ $1.06x10^3$-$1.09x10^3$ cfu/g (เฉลี่ย $1.07x10^3$ cfu/g) ตะกร้ามีเชื้อ $9.40x10^2 4.42$-$x10^3$ cfu/ml (เฉลี่ย $2.18x10^3$ cfu/ml) กระด้งมีเชื้อ $6.10x10^2$-$1.10x10^3$ cfu/ml (เฉลี่ย $8.40x10^2$ cfu/g) พื้นกระบะของรถขนส่งมีเชื้อ $9.30x10^2$-$1.14x10^3$ cfu/ml (เฉลี่ย $1.07x10^3$ cfu/ml) และมือผู้คัดมีเชื้อ $1.05x10^3 1$-$.59x10^4$ cfu/ml (เฉลี่ย $6.04x10^3$ cfu/ml)

เชื้อ Coliform ในมะเขือเทศที่ผ่านการคัด ตรวจพบเชื้อ Coliform 2 ครั้ง โดยมีเชื้อ $7.60x10^2$-$1.35\ x10^3$ cfu/g ตะกร้า กระด้ง พื้นกระบะของรถขนส่ง และมือผู้คัดขนาดตรวจพบเชื้อทั้ง 3 ครั้ง มีเชื้อ $6.00x10^2$–$1.00x10^3$ cfu/ml (เฉลี่ย $8.0x10^2$ cfu/ml), $1.02x10^3$-$1.35x10^3$ cfu/ml (เฉลี่ย $1.26x10^3$ cfu/ml), $1.86x10^3$-$2.40x10^3$ cfu/ml (เฉลี่ย $2.06x10^3$) และ $1.35x10^3 1$-$.70x10^3$

cfu/ml (เฉลี่ย 1.55×10^3 cfu/ml) ตามลำดับ จากการสังเกตพบว่าบริเวณจุดคัดคุณภาพ เป็นพื้นที่เปิดโล่ง วางสิ่งไม่เป็นระเบียบ เช่น ไม้กวาด รองเท้าและไม่มีการป้องกันสัตว์เลี้ยง เช่น ไก่ เข้ามาในพื้นที่ ตะกร้าที่ใช้บรรจุมะเขือเทศเป็นตะกร้าเดียวกับที่ใช้ใส่มะเขือเทศมาจากแปลงปลูก กระด้งที่ใช้สำหรับคัด มีลักษณะเป็นไม้ไผ่สาน ที่ทำความสะอาดยาก การทำความสะอาดอุปกรณ์ ควรต้องปฏิบัติเป็นประจำและสุขอนามัยของผู้คัด โดยเฉพาะมือ ซึ่งเป็นส่วนที่สัมผัสกับมะเขือเทศและหยิบจับสิ่งต่างๆ เช่น การสัมผัสกับอาหาร จากผลในตารางที่ 5 ของปัจจัยการผลิต พบว่า การตรวจสอบ TPC พบที่มือผู้คัดขนาด >ตะกร้า > รถขนส่ง > กระด้ง Coliform พบที่ รถขนส่ง > มือผู้คัดขนาด > กระด้ง > ตะกร้า พื้นรถขนส่งมีปริมาณ Coliform สูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในการจัดเรียงตะกร้ามะเขือเทศ จะต้องขึ้นยืนบนรถ ทำให้พื้นรถเปื้อนเศษดินที่ติดกับรองเท้า เมื่อวางตะกร้ามะเขือเทศบนพื้นรถจะทำให้มะเขือเทศปนเปื้อนเชื้อที่อยู่ในดินได้ ดังนั้นจึงต้องทำความสะอาดพื้นรถเป็นประจำ ทั้งนี้ไม่พบเชื้อ *E.coli* และ *Salmonella* ในตัวอย่างจากแหล่งรวบรวมผลผลิต

ตารางที่ 5 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC), Coliform, *E.coli* และ *Salmonella* ของแหล่งรวบรวมผลผลิต

Samples	Microbe	Rep.	ปริมาณเชื้อ cfu/g หรือ cfu/ml				No. of positive	Incidence (%)
			1	2	3	Means		
มะเขือเทศ	TPC	3	1.07×10^3	1.09×10^3	1.06×10^3	1.07×10^3	3/3	100
	E.coli	3	ND	ND	ND	-	3/0	0
	Coliform	3	ND	1.35×10^3	7.60×10^2	-	3/2	66.66
	Salmonella	3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	3/0	0
ตะกร้า	TPC	3	4.42×10^3	9.40×10^2	1.17×10^3	2.18×10^3	3/3	100
	E.coli	3	ND	ND	ND	-	3/0	0
	Coliform	3	6.00×10^2	1.00×10^3	8.0×10^2	8.0×10^2	3/3	100
	Salmonella	3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	3/0	0
กระด้ง	TPC	3	6.10×10^2	1.10×10^3	8.10×10^2	8.40×10^2	3/3	100
	E.coli	3	ND	ND	ND	-	3/0	0
	Coliform	3	1.35×10^3	1.02×10^3	1.16×10^3	1.26×10^3	3/3	100
	Salmonella	3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	3/0	0
รถขนส่ง	TPC	3	1.13×10^3	9.30×10^2	1.14×10^3	1.07×10^3	3/3	100
	E.coli	3	ND	ND	ND	-	3/0	0
	Coliform	3	1.86×10^3	2.40×10^3	1.93×10^3	2.06×10^3	3/3	100
	Salmonella	3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	3/0	0
มือ	TPC	3	1.59×10^4	1.17×10^3	1.05×10^3	6.04×10^3	3/3	100
(ผู้คัด)	*E.coli*	3	ND	ND	ND	-	3/0	0
	Coliform	3	1.35×10^3	1.60×10^3	1.70×10^3	1.55×10^3	3/3	100
	Salmonella	3	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	-	3/0	0

ND หมายถึง ไม่พบโคโลนีของเชื้อหรือมีเชื้อน้อยกว่า 10 โคโลนี, >300 หมายถึงมีโคโลนีมากจนนับไม่ได้

4. สรุปผล

โดยทั่วไปผักผลไม้และวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องมักตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ในรูปของ TPC เนื่องจากเป็นเชื้อที่พบอยู่ทั่วไปในดิน แต่ไม่ควรพบเชื้อ Coliform และ *E.coli* ถ้าตรวจพบแสดงว่าสุขลักษณะในการปฏิบัติงานไม่ดี อาจมีการปนเปื้อนสิ่งขับถ่ายของคนหรือสัตว์ โดยเฉพาะ *E.coli* และ *Salmonella* spp. เป็นเชื้อที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษได้ จึงไม่ควรพบเช่นกัน จากผลการวิจัยพบว่ามีการพบเชื้อ *E.coli* และ *Salmonella* spp. บ้างเล็กน้อยจากบางแปลง แต่ไม่พบที่แหล่งรวบรวมซึ่งเป็นจุดกระจายผลผลิตไปสู่ตลาดและผู้บริโภค เพื่อให้ผลผลิตมีความปลอดภัย และเพิ่มความมั่นใจให้ผู้บริโภคมากขึ้นผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

1) อาจใช้การรดน้ำมะเขือเทศด้วยการใช้ระบบน้ำหยดแทนการพ่นน้ำด้วยเรือ หรือมีวัสดุคลุมดิน เพื่อป้องกันดินกระเด็นติดผลมะเขือเทศ 2) แปลงควรมีแนวป้องกันสัตว์เลี้ยงเข้าในแปลง เช่น เป็ด ทำให้พบเชื้อ *Salmonella* spp. ในมะเขือเทศจากต้น 3) ผลมะเขือเทศที่แตกหรือเน่าเสียควรทิ้งให้ห่างจากแปลงและจุดคัดคุณภาพเพื่อป้องกันแมลงวัน 4) ควรมีการล้างมือผู้เก็บมะเขือเทศและผู้คัดคุณภาพ ด้วยน้ำเปล่าหรือสบู่บ่อยครั้ง เพราะพบเชื้อ Coliform, *E.Coli* และ *Salmonella* spp. 5) ควรล้างทำความสะอาดตะกร้า ให้บ่อยๆ แยกตะกร้ามะเขือเทศที่ใช้ในแปลงและที่คัดคุณภาพ 6) ควรทำความสะอาดผ้าปู ด้วยการเปลี่ยนผ้าปูบ่อยๆ และควรเก็บผ้าปูไว้ให้สูงจากพื้นหรือห่างจากสัตว์ 7) ควรต้องป้องกันสัตว์เลี้ยง เช่น สุนัข ไก่ เป็ด เข้าในพื้นที่คัดคุณภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณเกษตรกร และประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลดอนตูมที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัย และให้ข้อมูล

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กองโภชนาการ กรมอนามัย, สารต้านอนุมูลอิสระ (เบต้าแคโรทีน วิตามินอี วิตามินซี) ในผลไม้, แหล่งที่มา: http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/files/antioxidan.pdf, 28 ต.ค.2552.

[2] นภาพร เชี่ยวชาญ, "การควบคุมการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในผักและผลไม้", วารสารจาร์พา, 10(73), 2546, หน้า 38-41. แหล่งที่มา: http://www.tistr-foodprocess.net/download/article/control_microorganism_th.htm, 27 ก.ค.2554.

[3] Bartz ,J.A., "Raw Tomatoes and Salmonella", In:The Produce Contamination Problem: Cause and Solution, 2009, pp. 223-247.

[4] Kokkinakis, E., G. Boskou, G.A. Fragkiadakis. A. Kokkinaki and Lapidakis N., "Microbiological quality of tomatoes and peppers produced under the good agricultural practices protocol AGRO 2-1 & 2-2 in Cretr, Greece", Food Control, 18, 2007, pp.1538-1546.

[5] หนังสือพิมพ์โพสทูเดย์, "แมคฯงดใช้มะเขือเทศ พบปนเปื้อนแบคทีเรีย", ฉบับวันที่ 11 มิถุนายน 2551, แหล่งที่มา: http://www.food-resources.org/news/11/06/08/6458, 22 ก .ค.2554.

[6] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, "ข่าวการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียซัลโมเนลลาในมะเขือเทศสด", 2551, แหล่งที่มา: http://www.moph.go.th/ops/iprg/iprg_new/include/admin_hotnew/\show_hotnew.php?idHot_new=1779, 28 ต.ค.2552.

[7] มกอช, "ออสเตรเลียเตือนทานมะเขือเทศดิบกึ่งแห้งเสี่ยงติดเชื้อไวรัสตับอักเสบ เอ", 2552, แหล่งที่มา: http://www.acfs.go.th/sps_situation/news.php?page=52&ntype=07, 25 มิ.ย. 2554

[8] วสุพงศ์ มณีขัติ, "มะกันเรียกคืนมะเขือเทศหลังพบเชื้อซัลโมเนลา", 2554, แหล่งที่มา: http://siamcargo.blogspot.com//05/2011blog-post_09html, 25 มิ.ย. 2554.

[9] กรมยุโรป, "องค์การอนามัยโลก (WHO) วนรายงานจำนผู้ติดเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ทั่วโลก", 2554, แหล่งที่มา: http://europetouch.in.th/detail.news.php?nId=55n65n94n84n94n94n84nn5n87n, 10 มิ.ย. 2554.

[10] AOAC, "Official Method of Analysis" The Association Official Analysis Chemist 17th ed. Verginia, 2002.

[11] International Organization for Standardization, "ISO 6579. Microbiology-General guidance on methods for the detection of *Salmonella* spp." 3rd ed., 1993.

[12] International Organization for Standardization, "ISO 11866-2.2. Milk and milk products-Enumeration of presumptive *Escherichia coli* - Part 2: MPN technique using MUG", 1994.

[13] มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, "ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยสินค้าเกษตรและอาหาร. มกอช. 9007-2548", 2548.

การศึกษาปริมาณวิตามินซี ฟีนอลิก เบตา-แคโรทีน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไปในจังหวัดนครปฐม

The Study on Vitamin c, Phenolic, Beta-carotene Content and DPPH of Organic, Pesticide - Free and Conventional Vegetables in Nakhon Pathom Province

อุมาพร อาลัย[1] และชลิดา ตระกูลสุนทร[2]

[1]โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
aeh351@hotmail.com
[2]โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
ctrakulsoonton@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณวิตามินซี ฟีนอลิก เบตา-แคโรทีน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไปที่จำหน่ายในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม เพื่อนำไปใช้ในการส่งเสริมการบริโภคผลิตภัณฑ์อินทรีย์ของผู้บริโภคในเขตพื้นที่ดังกล่าว สุ่มตัวอย่างผักในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือน กันยายน พ.ศ. 2554 ได้ทั้งสิ้น 6 ชนิด ได้แก่ ฟักทอง ผักบุ้งจีน ถั่วฝักยาว คะน้า กะหล่ำปลี และมะเขือเทศ ผลการศึกษาพบว่า ผักอินทรีย์ทั้ง 6 ชนิดมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไป ในขณะที่ผักอินทรีย์ 4 ใน 6 ชนิด ได้แก่ ฟักทอง ผักบุ้ง กะหล่ำปลี และมะเขือเทศ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าผักอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณเบตา-แคโรทีนในผักปลอดภัยจากสารเคมีมีแนวโน้มมากกว่าผักอินทรีย์ และผักทั่วไป ในขณะที่ไม่พบแนวโน้มของปริมาณฟีนอลิกในผักที่สุ่มตรวจ

คำสำคัญ: วิตามินซี ฟีนอลิก เบตา-แคโรทีน ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ผักอินทรีย์

Abstract

The main purpose of this study was to investigate vitamin c, phenolic, beta-carotene content and DPPH of local organic, pesticide- free and conventional vegetables in Muang district, Nakhon Pathom province. The entire results could be able to promote and induce the organic consumption demand in Nakhon Pathom province. The total 6 vegetables , i.e. pumpkin, morning glory, yard long bean, chinese kale, cabbage and tomato were sampled from the local shopkeepers during October 2010 till September 2011. The results unveiled that 6 organic vegetables gave the highest vitamin c content meanwhile 4 in 6 organic vegetables, i.e. pumpkin, morning glory, cabbage and tomato, contained higher DPPH than those in pesticide-free and conventional vegetables. The beta-carotene content provided the highest value in pesticide-free vegetables. On the other hand there was no inclination about phenolic content among the treatments in this study.

Keyword: vitamin c, phenolic, beta-carotene, DPPH, organic vegetable.

1. บทนำ

ปัจจุบันการทำเกษตรสมัยใหม่มุ่งเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรด้วยการใช้สารเคมี และปัจจัยภายนอกระบบการเกษตรเป็นสำคัญ ส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตร สิ่งแวดล้อม และก่อให้เกิดปัญหาสาธารณสุขของประเทศ จากสถิติสาธารณสุข ปี พ.ศ. 2553 พบว่า สาเหตุการเสียชีวิตของคนไทยอันดับที่ 1 เกิดจากโรคมะเร็ง คิดเป็นร้อยละ 91.2 ต่อประชากร 100,000 คน แยกเป็น เพศชาย 33,659 และเพศหญิง 24,417 คน [1] จากสถานการณ์ดังกล่าวทำให้ผู้บริโภคให้ความสนใจบริโภคอาหารที่มีความปลอดภัยมากขึ้น โดยเฉพาะอาหารอินทรีย์ เนื่องจากมั่นใจในความปลอดภัยและมีปริมาณสารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพมากกว่าผลิตภัณฑ์ใช้สารเคมี สารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพที่ผู้บริโภคให้ความสนใจ ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระได้แก่ วิตามินซี เบตา-แคโรทีน ฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่มีในอาหาร [2-4] รายงานว่าอาหารอินทรีย์ โดยเฉพาะผัก ผลไม้มีปริมาณวิตามินซี และสารประกอบทุติยภูมิสูง แต่ปริมาณไนเตรทต่ำกว่าอาหารทั่วไป สอดคล้องกับ [5] ที่ศึกษาคุณภาพทางโภชนาการของมะเขือเทศที่ปลูกแบบอินทรีย์และแบบทั่วไปในโปแลนด์ พบว่ามะเขือเทศอินทรีย์มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เบต้า-แคโรทีน ฟลาโวนอยด์ วิตามินซี สูงกว่ามะเขือเทศทั่วไป [6] ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักอินทรีย์และผักทั่วไป ได้แก่ ผักกาดขาว คะน้า ผักบุ้งจีน ผักกวางตุ้ง และถั่วฝักยาว พบว่า ผักบุ้งจีนอินทรีย์มีปริมาณพอลิฟีนอลมากที่สุดเท่ากับ 6.65 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/น้ำหนักแห้ง 1 กรัม และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าผักบุ้งจีนทั่วไป อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งของการขยายตัวทางการตลาดของอาหารอินทรีย์ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม คือ ผู้บริโภคสับสน และขาดความรู้ที่ถูกต้องในการเลือกบริโภคอาหารดังกล่าว โดยเฉพาะความแตกต่างของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในผลิตภัณฑ์อินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ปลอดภัยจากสารเคมี และผลิตภัณฑ์ทั่วไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางเคมี โดยเฉพาะปริมาณวิตามินซี ฟีนอลิก เบตา-แคโรทีน และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไปที่จำหน่ายในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม เพื่อนำไปใช้ในการส่งเสริมการบริโภคอาหารอินทรีย์ และอาหารที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 วัตถุดิบ

ตัวอย่างผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไปที่เป็นชนิดเดียวกัน ถูกสุ่มจากแหล่งจำหน่ายโดยตรงสู่ผู้บริโภคในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม (ตลาดสดซอย2 โมเดิร์นเทรด ร้านโครงการหลวงดอยคำ และตลาดปฐมมงคล) ทุกๆ เดือน เดือนละ 1 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 12 เดือน (เดือนตุลาคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2554) เมื่อนำมาถึงห้องปฏิบัติการ เก็บรักษาในถุงโพลีเอทิลีน (PE) โดยควบคุมอุณหภูมิระหว่างการขนส่ง และเก็บรักษาที่ 10 $^{\circ}$C

2.2 ศึกษาคุณภาพทางเคมีของผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไป

ตัวอย่างผักข้อ 2.1 เมื่อนำมาถึงห้องทดลอง วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณวิตามินซี [7] ปริมาณเบตา – แคโรทีน [8] สารประกอบฟีนอลิก [9] และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ตามวิธีของ [10]

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) เปรียบเทียบคุณภาพทางเคมีของผักแต่ละชนิด ซึ่งประกอบด้วย 3 ทรีทเมนต์ คือ ผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไป โดยใช้ผักจำนวน 10 กิโลกรัมต่อชนิดผัก ฟักทอง ผักบุ้งจีน และ คะน้า ทดลอง 3 ซ้ำ ถั่วฝักยาว ทดลอง 4 ซ้ำ กะหล่ำปลี และมะเขือเทศ ทดลอง 2 ซ้ำตามความถี่ของผักที่ถูกสุ่มได้ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan' s New Multiple Range Test [11]

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 ตัวอย่างผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไป

จากการสุ่มตัวอย่างผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไป ระหว่างเดือน ตุลาคม พ.ศ.2553 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2554 ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม ได้ผักรวมทั้งสิ้น 6 ชนิด ได้แก่ ฟักทอง ผักบุ้งจีน ถั่วฝักยาว คะน้า กะหล่ำปลี และมะเขือเทศ โดยฟักทองถูกสุ่มได้ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2553 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 และเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 ผักบุ้งจีนถูกสุ่มได้ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 มกราคม พ.ศ. 2554 และพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถั่วฝักยาวถูกสุ่มได้ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 และเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 คะน้าถูกสุ่มได้ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 เดือนมกราคม พ.ศ. 2554 และเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554 กะหล่ำปลีถูกสุ่มได้ในเดือนกุมภาพันธุ์ พ.ศ. 2554 และเดือนมีนาคม พ.ศ. 2554 มะเขือเทศถูกสุ่มได้ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2554 และเดือนกันยายน พ.ศ. 2554

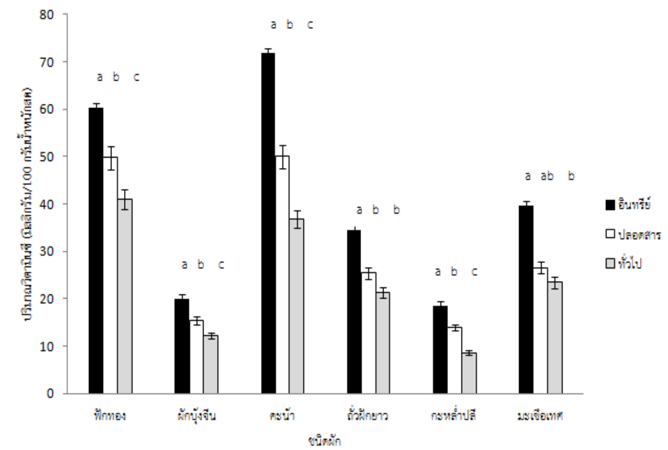
ตารางที่ 1: ชนิดของผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไปที่สุ่มได้จากแหล่งจำหน่ายโดยตรงสู่ผู้บริโภคในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2554

ชนิดผัก	เดือน											
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
ฟักทอง	✓								✓		✓	
ผักบุ้งจีน		✓		✓				✓				
ถั่วฝักยาว			✓					✓			✓	✓
คะน้า		✓		✓						✓		
กะหล่ำปลี					✓	✓						
มะเขือเทศ							✓					✓

3.2 คุณภาพทางเคมี

3.2.1 วิตามินซี

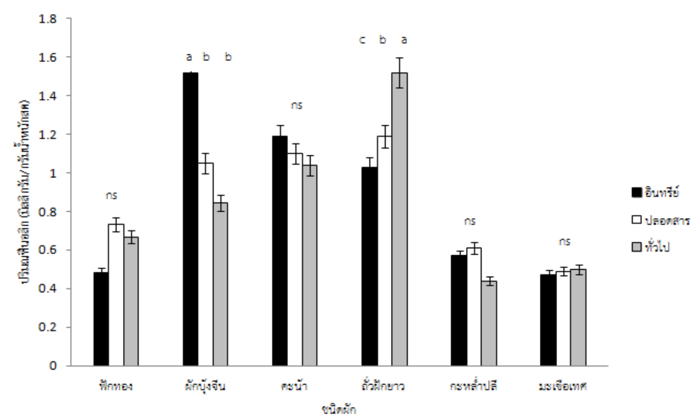
จากการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (ภาพที่ 1) พบว่า ผักอินทรีย์ทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ ฟักทอง ผักบุ้งจีน ถั่วฝักยาว คะน้า กะหล่ำปลี และมะเขือเทศมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไป ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ระบบเกษตรอินทรีย์เป็นการทำเกษตรกรรมแบบองค์รวม โดยเน้นความสำคัญของความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทำให้พืชสามารถดูดแร่ธาตุที่มีในดินมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบกับการรบกวนของศัตรูพืช ทำให้พืชเกิดความเครียดและผลิตสารต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น [12] ซึ่งสอดคล้องกับ [13] ที่รายงานว่า ปริมาณวิตามินซีของผักอินทรีย์มากกว่าผักทั่วไป อย่างไรก็ตามวิตามินซีเป็นวิตามินที่สลายตัวได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิสูง และออกซิเจน ดังนั้นความแก่อ่อนของผัก และการดูแลหลังการเก็บเกี่ยวอาจส่งผลต่อปริมาณวิตามินซีที่วิเคราะห์ได้ [14]



ภาพที่ 1: ปริมาณวิตามินซีของผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไป: ฟักทอง ผักบุ้งจีน คะน้า ถั่วฝักยาว กะหล่ำปลี และมะเขือเทศ อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน (a,b,c...) ของผักชนิดเดียวกัน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2.2 ฟีนอลิก

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกของผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไป (ภาพที่ 2) พบว่าไม่มีแนวโน้มของปริมาณดังกล่าว โดยไม่พบความแตกต่างของปริมาณฟีนอลิกในผัก 4 ชนิด ได้แก่ ฟักทอง คะน้า กะหล่ำปลี และมะเขือเทศ ในขณะที่ผักบุ้งจีนอินทรีย์มีปริมาณฟีนอลิกมากกว่าผักบุ้งจีนปลอดภัยจากสารเคมี และผักบุ้งจีนทั่วไป ในขณะที่ปริมาณฟีนอลิกของถั่วฝักยาวทั่วไปมากกว่าถั่วฝักยาวปลอดภัยจากสารเคมี และถั่วฝักยาวอินทรีย์ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากดินที่ใช้ปลูกพืชมีปริมาณธาตุโบรอนและสภาวะการปลูกแตกต่างกัน เมื่อพืชขาดโบรอน ทำให้เกิดการสะสมของสารฟีนอลิกมาก [15] ดินที่ใช้ปลูกผักบุ้งจีนอินทรีย์ อาจมีธาตุโบรอนน้อย ประกอบกับเป็นการทำเกษตรเน้นธรรมชาติ ทำให้พืชเกิดความเครียดจากการรบกวนของแมลงและศัตรูพืช ผักบุ้งจีนอินทรีย์จึงผลิตสารต้านอนุมูลอิสระมาก ซึ่งตรงข้ามกับผลของถั่วฝักยาวอินทรีย์ อย่างไรก็ตาม การดูแลหลังการเก็บเกี่ยว อายุ และภาวะการปลูกอาจส่งผลต่อปริมาณดังกล่าว

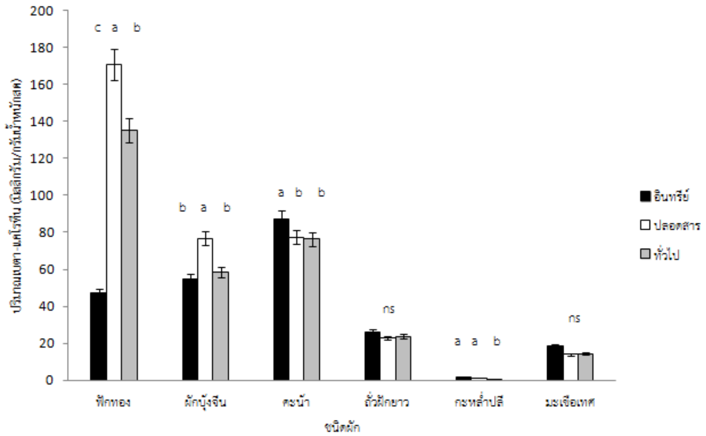


ภาพที่ 2: ปริมาณฟีนอลิกของผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไป: ฟักทอง ผักบุ้งจีน คะน้า ถั่วฝักยาว กะหล่ำปลี และมะเขือเทศ อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน (a,b,c...) ของผักชนิดเดียวกัน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยทางสถิติ ($p > 0.05$)

3.2.3 เบตา-แคโรทีน

ธาตุแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ และทำหน้าที่สังเคราะห์แคโรทีนอยด์ เมื่อดินที่ใช้ปลูกพืชมีความอุดมสมบูรณ์ และมีธาตุแมกนีเซียมปริมาณมาก ทำให้พืชสร้างปริมาณแคโรทีนอยด์มาก [15] จากผลการวิเคราะห์

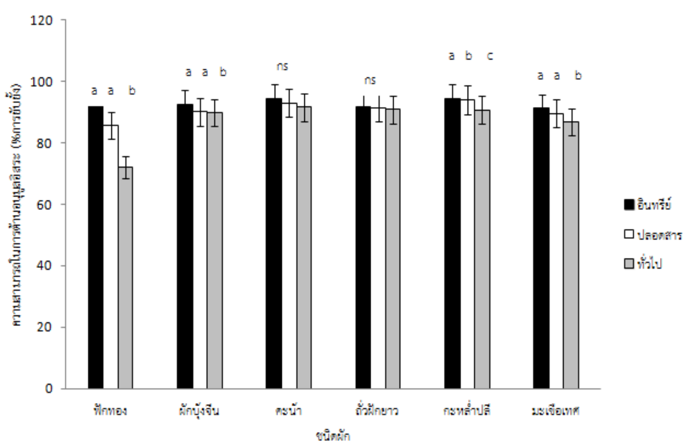
พบว่า แนวโน้มปริมาณเบตา-แคโรทีน ของผักปลอดภัยจากสารเคมีมีปริมาณมากกว่าผักอินทรีย์ และผักทั่วไป ($p \leq 0.05$) แสดงดังภาพที่ 3 อย่างไรก็ตามการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ฟาร์มถึงผู้บริโภค เช่น อุณหภูมิ แสง การเก็บรักษา การวางจำหน่าย และการดูแลหลังการเก็บเกี่ยว มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวด้วย [14]



ภาพที่ 3: ปริมาณเบตา-แคโรทีนของผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไป: ฟักทอง ผักบุ้งจีน คะน้า ถั่วฝักยาว กะหล่ำปลี และมะเขือเทศ
อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน (a,b,c...) ของผักชนิดเดียวกัน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยทางสถิติ ($p > 0.05$)

3.2.4 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเป็นการวัดประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระของอาหารในการรวมตัวกับ DPPH ซึ่งอยู่ในรูปอนุมูลอิสระในระยะเวลาที่กำหนด [10] ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 4 พบว่า ผักอินทรีย์ และผักปลอดภัยจากสารเคมี 4 ใน 6 ชนิด ได้แก่ ฟักทอง ผักบุ้งจีน กะหล่ำปลี และมะเขือเทศ มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าผักทั่วไป ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณดังกล่าวในคะน้า และถั่วฝักยาว ทั้งนี้สามารถอธิบายเหตุผลได้เช่นเดียวกับปริมาณวิตามินซี อย่างไรก็ตามสารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่สลายตัวได้ง่ายเมื่ออยู่ในภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ แสง และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่ดี [14] ซึ่งอาจส่งผลต่อปริมาณดังกล่าวได้



ภาพที่ 4: ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไป: ฟักทอง ผักบุ้งจีน คะน้า ถั่วฝักยาว กะหล่ำปลี และมะเขือเทศ
อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน (a,b,c...) ของผักชนิดเดียวกัน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยทางสถิติ ($p > 0.05$)

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

4. บทสรุป

จากการสุ่มตัวอย่างผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไปที่จำหน่ายในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม ระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2553 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณวิตามินซีของผักอินทรีย์ทั้ง 6 ชนิด มากกว่าผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไป ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผักอินทรีย์และผักปลอดภัยจากสารเคมี จำนวน 4 ใน 6 ชนิดมีค่ามากกว่าผักทั่วไป ปริมาณเบตา-แคโรทีนของผักปลอดภัยจากสารเคมีมากกว่าหรือเท่ากับผักอินทรีย์ แต่มากกว่าผักทั่วไป ในขณะที่ไม่พบแนวโน้มของปริมาณฟีนอลิกในผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยจากสารเคมี และผักทั่วไป นอกจากนี้ยังสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ 2 ประเด็น ประเด็นที่หนึ่ง แบ่งกลุ่มผักได้ 2 กลุ่มตามคุณภาพทางเคมีโดยรวม กลุ่มแรก คือ ผักอินทรีย์และผักปลอดภัยจากสารเคมี กลุ่มที่สอง คือ ผักทั่วไป ประเด็นที่สอง ผักบุ้งจีนอินทรีย์เป็นผักชนิดเดียวที่มีแนวโน้มขององค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณวิตามินซี ฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าผักบุ้งจีนปลอดภัยจากสารเคมี และผักบุ้งจีนทั่วไป อย่างไรก็ตามผล และบทสรุปใช้ได้กับตัวอย่างที่ถูกสุ่มเท่านั้น นอกจากนี้ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ขณะสุ่มตัวอย่าง เช่น ฤดูกาล ภูมิอากาศ การเก็บรักษา ความแก่อ่อน การวางจำหน่าย และการดูแลหลังการเก็บเกี่ยวผักอาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ของผักด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สถิติสาธารณสุข กระทรวงสาธารณสุข, “สถิติสาเหตุอัตราการเสียชีวิต”, กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ, 2553.
[2] Divis, J., Barta, J. and Hermanova, V., “Nitrogenous substances in potato 1(Solanum tuberosum L.) Tubers produced under organic and conventional crop management” , In Niggli, U., Leifert, C., Alfoldi, T., Luck, L. and Willer, H., eds. Improving Sustainability in organic and lowinput food production system, Proceedings of the 3rd International Congress of the European Integrated Project Quality low input food (QLIF), Stuttgart, Germany, 276-279,2007.
[3] อุมาพร อาลัย, “อาหารอินทรีย์”. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม, 2554.
[4] Meier-Ploeger, A., “Organic farming food quality and human health”, NJF Seminar 15th, Reykjavik, Iceland, 2005.
[5] Hallmann, E. and Rembialkowska, E., “Comparison of the nutritive quality of tomato fruits from organic and conventional production in Poland”, In Niggli U., Leifert, C., Alfoeldi, T., Lueck, L. and Willer, H., Improving Sustainability in Organic and Low Input Food Production Systems. Proceedings of the 3rd international congress of the European integrated project quality low input food (QLIF), Stuttgart, Germany, 131-134, 2007.
[6] อภิชญา ประสพรัตนชัย, “ความสามารถในการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ของสารสกัดจากผักอินทรีย์”. วิทยานิพนธ์บัณฑิตศึกษาภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.2552.
[7] AOAC., “Official Methods of Analysis of AOAC international”, 17th ed., Arlington, Association of OfficialAnalytical Chemists, 2000.
[8] Nagata, M. and I. Yamashita. 1992. “Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenes in tomato fruit”. J. Japan Soc. Food Sci. Tech. 39: 925-928.
[9] Singleton, V.L. and Rossi, J.A. 1965. “ Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagent”, the American Society for Enology and Viticulture. 16(3): 144-158.
[10] Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C., “Use of a free radical method to evaluate antioxidant Activity”, Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie/Food Science and Technology, 28, 1995, pp. 25-30.
[11] Cochran, W.C. and Cox, G.M. “Experimental Designs”, John Wiley & Sons, New York, 1985.
[12] Worthington, V. “Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains”, Journal Alternative and complementary medicine, 7, 2001, pp.161-173.
[13] Hoefkens, C.,Vandekinderen, I., Demeulenaer, B., Devloeghere, F., Baert, K., Sioen, J., Dehenauw, S., Verbeke, W. and Camp, J.V. “A literature – based comparison of nutrient and contaminant contents between organic and conventional vegetables and potatoes”, British Food Journal, 111 (10), 2009, pp. 1078 – 1098.
[14] นิธิยา รัตนาปนนท์. “เคมีอาหาร”, โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ, 2551.
[15] ยงยุทธ โอสถสภา. “ธาตุอาหารพืช”, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2546.

การศึกษาอาหารพื้นบ้านและตำรับอาหารพื้นบ้านชุมชนบางระกำ ตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

A Study of Local Food and Local Recipes at Bangrakam Community, Bangrakam Subdistrict, Banglen District, Nakhon Pathom Province

กมลพร สวนทอง[1] และเพ็ญพักตร์ แกล้วเดชศรี[2]

โปรแกรมวิชาการจัดการอาหาร[1,2]
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
kamolpron@npru.ac.th และ kamolpron25@yahoo.co.th[1]

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประเภทอาหารพื้นบ้าน ศักยภาพของอาหารพื้นบ้านในด้านแหล่งวัตถุดิบ กรรมวิธีการทำ การเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ และการถ่ายทอดภูมิปัญญา รวมทั้งรวบรวมตำรับอาหารพื้นบ้านที่ได้รับการยอมรับในชุมชนบางระกำ จากกลุ่มตัวอย่างคือปราชญ์ท้องถิ่นด้านอาหารและสมาชิกกลุ่มสตรีอาสาพัฒนาบางระกำ รวม 65 คน โดยการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง เก็บรวบรวมข้อมูลโดยแบบสัมภาษณ์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยการแจกแจงความถี่ และร้อยละ จากผลการศึกษาพบว่า ชุมชนบางระกำมีอาหารพื้นบ้านทั้งหมด 298 ชนิด แบ่งเป็น 4 ประเภท คือ ประเภทอาหารคาว 204 ชนิด (ร้อยละ 68.5) ได้แก่ แกง ต้ม ผัด ยำ พล่า ลาบ เครื่องจิ้ม เบ็ดเตล็ด และอาหารจานเดียว ประเภทอาหารหวาน 57 ชนิด (ร้อยละ 19.1) ได้แก่ ต้ม นึ่ง เชื่อม กวน ทอด อบ ปิ้ง ย่าง ประเภทอาหารว่าง 4 ชนิด (ร้อยละ 1.4) ได้แก่ นึ่งและเบ็ดเตล็ด และประเภทอาหารถนอมและแปรรูป 33 ชนิด (ร้อยละ 11.0) ได้แก่ อาหารถนอมและแปรรูปโดยการใช้เกลือ น้ำตาล การทำแห้ง การทอด และการใช้หลายกรรมวิธีรวมกัน โดยอาหารพื้นบ้านทั้ง 4 ประเภทดังกล่าว มีศักยภาพด้านแหล่งวัตถุดิบอยู่ในระดับสูง (ร้อยละ 100) ส่วนศักยภาพด้านกรรมวิธีการทำพบว่า อาหารคาว อาหารถนอมและแปรรูปมีศักยภาพในระดับสูง (ร้อยละ 98.5 และ 90.9 ตามลำดับ) ศักยภาพด้านการเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ พบว่า อาหารคาวมีศักยภาพในระดับปานกลาง (ร้อยละ 51.5) อาหารว่างมีศักยภาพในระดับสูงและต่ำเท่ากัน (ร้อยละ 50) ศักยภาพด้านการถ่ายทอดภูมิปัญญา พบว่า อาหารคาวมีศักยภาพในระดับปานกลาง (ร้อยละ 72.5) ตำรับอาหารพื้นบ้านที่ได้รับการยอมรับในชุมชนบางระกำ มีจำนวน 30 ตำรับ เป็นอาหารคาว 28 ตำรับ และอาหารหวาน 2 ตำรับ

คำสำคัญ: *อาหารพื้นบ้าน ตำรับอาหารพื้นบ้าน ศักยภาพอาหารพื้นบ้าน ชุมชนบางระกำ*

Abstract

The research aims were to study the types of local food and potential of local wisdom in source of raw materials, production process, healthy food and transferring of the local wisdom including collection of the accepted local recipes by Bangrakam local community. Samples were elderly people who challenge in local food and some volunteers from a housewife group in the community, in total of 65 people by purposive sampling technique. The data was collected using the questionnaires and to interview, and it was then analyzed by the frequency and percentage. The study found that there was 298 local food which were categorized to be 4 types. The first type was 204 kinds of main meal (68.5 %), such as curries, boiled food, fried food, soup, salad, chopped food, sauces, miscellaneous and one-plate dishes. The second type was 57 kinds of dessert (19.1 %), such as boiled, steamed, simmered, fried, grilled and roasted. The third type was 4 kinds of snack (1.4 %), steam and miscellaneous. The last type was 33 kinds of preserved and processed food (11.0 %), such as the preserved food in salt or sugar and the processed products by dried, deep-fried and

mixed methods. The study on potential of the local food could be explained by 4 issues. Firstly, the potential on raw material of all type food was found high level potential (100 %). Secondly, the potential of the local food in processing found that the main meal and preserved and processed food, were found high level potential (98.5 and 90.9 %, respectively). Thirdly, the healthy food was found that the main meal was in medium level potential (51.5 %), while the snack was equally to be high and lower level potential (50.0 %). Lastly, the potential of the local wisdom transferring found that the main meal was in moderate level (72.5 %). The acceptance of local people in the community on their local recipes found that there were 30 recipes, 28 recipes of main meal and 2 recipes of dessert.

Keyword*: local food, local recipes, local food potential, Bangrakam community*

1. บทนำ

อาหารพื้นบ้านเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่บรรพบุรุษได้ใช้ภูมิปัญญาในการเลือกสรร และผสมผสานได้อย่างเหมาะสม เป็นสิ่งที่แสดงถึงเอกลักษณ์และวัฒนธรรมการกินที่เป็นพวกเดียวกัน โดยสะท้อนออกมาในรูปของชนิดอาหาร ซึ่งผู้พบเห็นสามารถแยกแยะได้ว่าอาหารเหล่านั้นเป็นของคนภาคใด กลุ่มใด ส่วนมากอาหารพื้นบ้านเป็นอาหารที่มีคุณค่าอาหารสูง โดยเฉพาะมีสารต้านอนุมูลอิสระ เบต้าแคโรทีน และวิตามินซี ซึ่งช่วยป้องกันโรคความเสื่อมของร่างกาย มีใยอาหารสูง ซึ่งช่วยในการลดระดับไขมันในเลือดสูง ตลอดจนทำให้ระบบขับถ่ายเป็นปกติ ลดอุบัติการณ์ของโรคท้องผูก ริดสีดวง ถุงลมโป่งพองในลำไส้ มะเร็งในลำไส้ใหญ่และช่วยบรรเทาอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ การนอนไม่หลับ เป็นต้น เนื่องจากพืชผักที่ใช้ประกอบอาหารมีสรรพคุณทางสมุนไพร นอกจากนั้นการบริโภคอาหารพื้นบ้านเป็นประจำยังช่วยลดความเสี่ยงในการได้รับสารพิษจากสารเคมีเกษตร เพราะพืชผักที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพืชที่ขึ้นเองตามธรรมชาติ มีฤดูกาลในการเจริญเติบโต มีกลิ่นรสเฉพาะที่แมลงไม่ชอบจึงไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี แต่สภาพการณ์ในปัจจุบันมีแนวโน้มการบริโภคอาหารพื้นบ้านของคนในท้องถิ่นลดลง ซึ่งมีสาเหตุมาจากปัจจัยหลายประการ ได้แก่ วิถีการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นระบบสังคมเมืองมากขึ้น มีความเอาใจใส่การประกอบอาหารด้วยตนเองลดลง จึงนิยมบริโภคอาหารสำเร็จรูปและกึ่งสำเร็จรูปมากขึ้น ประกอบกับวัฒนธรรมการบริโภคอาหารแบบตะวันตกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น ซึ่งอาหารแบบตะวันตกส่วนใหญ่เป็นอาหารที่มีไขมันสูง พลังงานและโซเดียมสูง แต่มีใยอาหารต่ำ นอกจากนี้อาหารในท้องถิ่นนั้น ๆ ยังขาดข้อมูลทางวิชาการ และขาดผู้สืบสานในการประกอบอาหารพื้นบ้าน ทั้งนี้เพราะผู้ประกอบอาหารพื้นบ้านส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ เมื่อคนรุ่นใหม่ไม่นิยมบริโภคก็จะทำอาหารพื้นบ้านในครอบครัวน้อยลง [1]

จากการศึกษาบริบทพื้นที่ชุมชนบางระกำ ตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม พบว่า ชุมชนแห่งนี้เป็นพื้นที่ราบลุ่มมีแม่น้ำท่าจีนไหลผ่าน พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นสีเขียวมีความอุดมสมบูรณ์ ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพหลักด้านการเกษตร ส่งผลให้มีผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งประกอบด้วยพืชพรรณที่หลากหลาย และมีมูลค่าเชิงเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว สัตว์น้ำจืด พืชผัก สมุนไพร รวมทั้งผลไม้ต่าง ๆ เช่น ฝรั่ง มะพร้าว มะม่วง และมะละกอ [2] ส่งผลให้อาหารพื้นบ้านมีความหลากหลาย เช่น แกงส้มก้านเผือก ต้มกะทิสายบัว แกงขี้เหล็ก แกงบอน แกงคั่วหัวตาล แกงป่าปลาสับนก ทอดมันปลาสับนก น้ำพริกชนิดต่าง ๆ และขนมจีนน้ำยา [3] ปัจจุบันอาหารเหล่านี้มีการบริโภคในครัวเรือนน้อยลง มักพบในงานเทศกาลและประเพณีต่าง ๆ เนื่องจากขาดการสืบทอดภูมิปัญญาท้องถิ่นอาหารพื้นบ้าน ซึ่งอาจจะส่งผลให้อาหารดังกล่าวถูกลบเลือนและเริ่มสูญหายไปจากท้องถิ่น จากการศึกษาข้อมูลชุมชนแห่งนี้พบว่า เป็นชุมชนที่มีความเข้มแข็ง มีการวางแผนชุมชนอย่างเป็นระบบ และให้ความสำคัญกับกระบวนการวิจัยด้วยตัวชาวบ้านเอง (การวิจัยชุมชน / ท้องถิ่น) มียุทธศาสตร์การพัฒนาซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดนครปฐม (อยู่ดี มีสุข) ปี พ.ศ. 2551 ภายใต้ปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง โดยให้ความสำคัญในเรื่องของการดูแลสุขภาพของคนในชุมชน รวมทั้งการอนุรักษ์วัฒนธรรมภูมิปัญญาท้องถิ่น ส่งเสริมสนับสนุนสินค้าผลิตภัณฑ์ชุมชนและท้องถิ่น (OTOP) [2] โดยชุมชนบางระกำเป็นชุมชนนำร่องในการเป็นแหล่งการเรียนรู้ศึกษาดูงานในเรื่องต่าง ๆ เช่น เกษตรอินทรีย์ กองทุนหมู่บ้าน เป็นต้น ให้กับชุมชนอื่น ๆ ทั่วประเทศ และการจัดทำแผนชุมชนตำบลบางระกำในปี พ.ศ. 2555 มีโครงการจัดทำแหล่งการเรียนรู้อาหารพื้นบ้านชุมชนบางระกำให้กับกลุ่มเยาวชนและวัยรุ่นรวมทั้งผู้สนใจทั่วไป แต่ยังไม่มีการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอาหารพื้นบ้านรวมทั้งตำรับอาหารพื้นบ้านชนิดต่าง ๆ ที่เป็นเอกลักษณ์ของชุมชนแห่งนี้ [4], [5]

ด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ศึกษาอาหารพื้นบ้านชุมชนบางระกำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประเภทของอาหารพื้นบ้าน ศักยภาพของอาหารพื้นบ้านในด้านแหล่งวัตถุดิบ กรรมวิธีการทำ การเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ และการถ่ายทอดภูมิปัญญา รวมทั้งรวบรวมตำรับอาหารพื้นบ้านที่ได้รับการยอมรับ เพื่อให้คนในชุมชนนี้เกิดความภาคภูมิใจในอาหารพื้นบ้านของตนเอง เพื่อจะได้สืบทอดคุณค่าวัฒนธรรมอาหารพื้นบ้านให้แก่คนรุ่นหลัง และนำไปสู่การมีสุขภาพที่ดีตลอดจนพัฒนาท้องถิ่นให้เข้มแข็งต่อไป

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

อาหารพื้นบ้านเป็นอาหารที่ประกอบหรือปรุงโดยวัตถุดิบที่มีตามธรรมชาติหรือหาได้ในท้องถิ่นนั้น ๆ และคนในท้องถิ่นนั้นนิยมรับประทาน [6] อาหารพื้นบ้านไม่เพียงแต่มีรสชาติที่กลมกล่อมหลากหลายรสในอาหารชนิดเดียวกันเท่านั้น แต่ยังเป็นเอกลักษณ์ที่บ่งบอกถึงวัฒนธรรมและภูมิปัญญาของคนไทยในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งบรรพบุรุษไทยได้คิด ได้จัดรูปแบบอาหารการกินได้อย่างเหมาะสม เป็นอาหารที่ได้สมดุลทางโภชนาการครบ 5 หมู่ ผสมผสานลงตัวกันระหว่างชนิดและปริมาณของอาหาร เป็นอาหารเพื่อสุขภาพโดยแท้จริง เพราะอาหารพื้นบ้านไทยครั้งอดีตนั้น ส่วนใหญ่จะมีข้าวเป็นอาหารหลัก การประกอบอาหารมักจะเน้น “ปลาเป็นหลัก ผักเป็นพื้น” มีวิธีการประกอบอาหารที่เรียบง่าย เช่น ต้ม แกง ยำ ตำ ไม่พิถีพิถัน ใช้เวลาไม่มาก ใช้น้ำมันในการปรุงอาหารน้อย มีการใช้เนื้อสัตว์ไม่มาก และที่สำคัญคือเครื่องปรุงอาหารพื้นบ้านไทยล้วนเป็นสมุนไพร และได้มาจากความสดจากธรรมชาติ โดยไม่ได้ผ่านกระบวนการในลักษณะของอาหารสำเร็จรูป นอกจากนี้ผักพื้นบ้านที่นำมาประกอบอาหารยังเป็นภูมิปัญญาไทยอย่างหนึ่งที่ได้จากการเสาะแสวงหาพืชผักที่มีอยู่ตามธรรมชาติในแต่ละท้องถิ่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และสรรพคุณทางสมุนไพร รวมทั้งมีสิ่งปนเปื้อนจากสารเคมีน้อยมาก หรือแทบไม่มีเลย จึงกล่าวได้ว่าอาหารพื้นบ้านไทยเป็นอาหารที่มีไขมันต่ำ แต่มีใยอาหารสูง มีคุณค่าทางโภชนาการทั้งวิตามิน และเกลือแร่ มีความปลอดภัยจากสารพิษและยังให้สรรพคุณทางสมุนไพรอีกด้วย [7] ปัจจุบันแนวโน้มการบริโภคอาหารพื้นบ้านของคนในท้องถิ่นลดลง ซึ่งเป็นการนำไปสู่การเลือนหายของอาหารพื้นบ้าน ทั้งนี้เกิดจากความอ่อนแอของสังคมไทยที่ขาดการรู้รักษ์พิทักษ์ความเป็นไทยทางด้านอาหารพื้นบ้าน ขาดการส่งเสริมที่เป็นระบบและมีประสิทธิภาพจากระดับนโยบายหรือผู้บริหาร ดังนั้นกลยุทธ์หลักในการส่งเสริมและรณรงค์การบริโภคอาหารพื้นบ้านและผักพื้นบ้าน คือ การรวบรวมข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับอาหารพื้นบ้านแต่ละท้องถิ่น การกำหนดให้เป็นนโยบายของชาติ และกลยุทธ์การส่งเสริมหรือรณรงค์ให้คนไทยตระหนักและหันมาบริโภคอาหารพื้นบ้านกันอย่างแพร่หลาย เช่น การส่งเสริมการบริโภคในกลุ่มเยาวชนและวัยรุ่น การรณรงค์ในสถานศึกษา การจัดทำตำรับอาหารพื้นบ้าน เป็นต้น [8]

จากการศึกษาภูมิปัญญาพื้นบ้าน กรณีศึกษาอาหารพื้นบ้านไทยภาคกลาง บ้านคลองน้ำใส หมู่ 1 และหมู่ 10 ตำบลท่าช้าง อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี และบ้านท่าควาย หมู่ 3 ตำบลสายทอง อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง พบว่า ชาวบ้านตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารพื้นบ้านตามระบบนิเวศ วัฒนธรรม หรือตามแหล่งอาหารที่อยู่ในธรรมชาติ มีตำรับอาหารพื้นบ้านบางชนิดที่ชาวบ้านชอบในรสชาติของอาหาร จึงได้นำผักพื้นบ้านมาขยายพันธุ์ หรืออนุรักษ์ตำรับอาหารไว้ เช่น หมูชะมวง ซึ่งเป็นตำรับอาหารพื้นบ้านของชาวชุมชนคลองน้ำใส และพบว่าชาวบ้านที่เป็นคนรุ่นเก่าสามารถทำอาหารและรู้จักอาหารพื้นบ้านต่าง ๆ ของหมู่บ้านมากกว่าคนรุ่นใหม่ อาหารพื้นบ้านขาดการสืบทอดสู่เยาวชน เพราะบิดามารดาสนใจสนับสนุนเรื่องการศึกษาให้กับบุตรมากกว่าเรื่องอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามเยาวชนของหมู่บ้านยังมีความรู้สึกตระหนัก และอยากสืบทอดภูมิปัญญาพื้นบ้านในเรื่องของอาหารพื้นบ้าน [9] จากการศึกษาศักยภาพภูมิปัญญาไทยอาหารพื้นบ้านภาคกลางตอนล่าง พบว่า อาหารพื้นบ้านภาคกลางตอนล่างมีทั้งหมด 478 ชนิด แบ่งเป็นประเภทอาหารคาว 277 ชนิด ได้แก่ แกง ต้ม เครื่องจิ้ม ยำ ลาบ พล่า เบ็ดเตล็ด ผัด และอาหารจานเดียว ประเภทอาหารหวาน 102 ชนิด ได้แก่ นึ่ง ต้ม กวน ทอด และ อบ ปิ้ง ย่าง จี่ ประเภทอาหารถนอมและแปรรูป 87 ชนิด ได้แก่ อาหารถนอมและแปรรูปโดยการใช้เกลือ การทำแห้ง การทอด การใช้น้ำตาล ใช้หลายกรรมวิธีรวมกัน และประเภทอาหารว่าง 12 ชนิด ได้แก่ นึ่ง และเบ็ดเตล็ด ศักยภาพของอาหารพื้นบ้านภาคกลางตอนล่าง พบว่า ด้านแหล่งวัตถุดิบของอาหารคาว อาหารหวาน อาหารว่าง และอาหารถนอมและแปรรูป มีศักยภาพในระดับสูง (ร้อยละ 100) ด้านกระบวนการผลิต พบว่า อาหารคาวมีศักยภาพด้านกระบวนการผลิตในระดับสูง (ร้อยละ 81.9) อาหารถนอมและแปรรูป (ร้อยละ 74.6) ด้านการผลิตในเชิงพาณิชย์มีศักยภาพระดับปานกลาง (ร้อยละ 64.0) ด้านการเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ พบว่า อาหารคาวมีศักยภาพในระดับปานกลาง (ร้อยละ 26.1) ด้านการถ่ายทอดภูมิปัญญา พบว่า อาหารถนอมและแปรรูปมีศักยภาพในระดับปานกลาง (ร้อยละ 40.7) [6] จากการศึกษาอาหารพื้นบ้านจังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า อาหารพื้นบ้านที่ชาวสุพรรณบุรีบริโภคในชีวิตประจำวันทั้งอาหารคาว อาหารหวาน และอาหารที่ใช้ในพิธีกรรมที่สืบทอดกันมาจากบรรพบุรุษ ส่วนประกอบของอาหารแต่ละชนิดมีบทบาทที่สำคัญคือ ให้ประโยชน์แก่ร่างกาย บำรุงร่างกาย มีผลต่อจิตใจในด้านคุณค่าของวัฒนธรรมที่สืบสานจากคนรุ่นก่อน อาหารบางชนิดใช้กรรมวิธีในการประกอบ

แตกต่างจากกลุ่มพื้นบ้านในท้องถิ่นอื่น ๆ จึงกลายเป็นอาหารที่มีเอกลักษณ์ และรสชาติเฉพาะตัว สามารถผลิตเพื่อบริโภคในครัวเรือนหรือจำหน่ายเป็นอาชีพให้กับชุมชนได้ [10]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (participatory action research) ได้กำหนดกลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การดำเนินงานวิจัย และการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

กลุ่มประชากร ปราชญ์ท้องถิ่นด้านอาหารและกลุ่มสตรีอาสาพัฒนาตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม จำนวน 177 คน

กลุ่มตัวอย่าง ปราชญ์ท้องถิ่นด้านอาหารและกลุ่มสตรีอาสาพัฒนาตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม จำนวน 65 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบบสัมภาษณ์เกี่ยวกับประเภทของอาหารพื้นบ้าน ศักยภาพของอาหารพื้นบ้านด้านแหล่งวัตถุดิบ กรรมวิธีการทำ การเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ และการถ่ายทอดภูมิปัญญา

การดำเนินการวิจัย ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของชุมชนบางระกำจากเอกสารแผนชุมชน ตำบลบางระกำ พ.ศ. 2551 จัดเวทีชาวบ้านเพื่อศึกษาบริบทชุมชน และพัฒนาโจทย์เชิงพื้นที่ ศึกษารวบรวมข้อมูลจากเอกสารตำราต่าง ๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอาหารพื้นบ้าน และการสังเกตในพื้นที่ สัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง แล้ววิเคราะห์ข้อมูลประเภทของอาหารพื้นบ้าน ศักยภาพของอาหารพื้นบ้านด้านแหล่งวัตถุดิบ กรรมวิธีการทำ การเป็นอาหารเพื่อสุขภาพและการถ่ายทอดภูมิปัญญา จัดเวทีชาวบ้านคัดเลือกชนิดของอาหารพื้นบ้านและปราชญ์ท้องถิ่นที่ได้รับการยอมรับของคนในชุมชน เพื่อจัดทำตำรับอาหารพื้นบ้านโดยปราชญ์ท้องถิ่นด้านอาหาร

การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลประเภทอาหารพื้นบ้านโดยการใช้ค่าความถี่ และค่าร้อยละ และวิเคราะห์ศักยภาพของอาหารพื้นบ้าน โดยใช้ค่าร้อยละ โดยกำหนดเกณฑ์ศักยภาพของอาหารพื้นบ้านในด้านต่างๆดังนี้ [6]

• *ด้านแหล่งของวัตถุดิบ* ศักยภาพสูง หมายถึง แหล่งของวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่น ได้แก่ แหล่งของวัตถุดิบที่มีในหมู่บ้าน ตำบล หรืออำเภอที่ทำการศึกษา ศักยภาพปานกลาง หมายถึงแหล่งวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นใกล้เคียง ได้แก่ แหล่งของวัตถุดิบจากอำเภอใกล้เคียงหรือภายในจังหวัดนครปฐม ศักยภาพต่ำ หมายถึง แหล่งของวัตถุดิบจากแหล่งอื่น ได้แก่ แหล่งของวัตถุดิบจากจังหวัดใกล้เคียงหรือภาคอื่นๆ

• *ด้านกรรมวิธีการทำ* ศักยภาพสูง หมายถึง อาหารพื้นบ้านที่มีขั้นตอนการประกอบอาหารง่ายๆ มี 1-2 ขั้นตอน ตั้งแต่ขั้นการเตรียม ขั้นการปรุง จนสิ้นสุดการประกอบอาหาร ศักยภาพปานกลาง หมายถึง อาหารพื้นบ้านที่มีขั้นตอนการประกอบอาหารค่อนข้างง่ายมี 3-4 ขั้นตอน ตั้งแต่ขั้นการเตรียม ขั้นการปรุง จนสิ้นสุดการประกอบอาหาร ศักยภาพต่ำ หมายถึงอาหารพื้นบ้านที่มีขั้นตอนการประกอบอาหารหลายขั้นตอนตั้งแต่ 5 ขั้นตอนขึ้นไป ตั้งแต่ขั้นการเตรียม ขั้นการปรุง จนสิ้นสุดการประกอบอาหาร

• *ด้านการเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ* ศักยภาพสูง หมายถึง อาหารที่ปรุงด้วยพืชผักสมุนไพรไม่น้อยกว่า 4 ชนิด ในส่วนประกอบหลัก และมีปลาเป็นส่วนประกอบ ไม่มีน้ำมันหรือกะทิเป็นส่วนประกอบ ศักยภาพปานกลาง หมายถึง อาหารที่ปรุงด้วยพืชผักสมุนไพร 2-3 ชนิด มีปลาหรือเนื้อสัตว์อื่น ๆ เป็นส่วนประกอบ มีน้ำมันหรือกะทิที่ไม่เป็นส่วนประกอบหลัก ศักยภาพต่ำ หมายถึงอาหารที่ปรุงด้วยพืชผักสมุนไพรน้อยกว่า 2 ชนิด มีข้าว แป้ง น้ำตาล มะพร้าว กะทิ เป็นส่วนประกอบหลัก หรืออาหารถนอมและแปรรูป

• *ด้านการถ่ายทอดภูมิปัญญา* ศักยภาพสูง หมายถึง มีการสอนด้านอาหารพื้นบ้านเป็นประจำ ศักยภาพปานกลาง หมายถึงมีการสอนด้านอาหารพื้นบ้านในบางครั้ง และตามเทศกาล ศักยภาพต่ำ หมายถึง มีการสอนด้านอาหารพื้นบ้านน้อย

4. ผลการดำเนินงาน

อาหารพื้นบ้านชุมชนบางระกำ มีทั้งหมด 298 ชนิด แบ่งเป็นประเภทอาหารคาว 204 ชนิด (ร้อยละ 68.5) อาหารหวาน 57 ชนิด (ร้อยละ 19.1) อาหารว่าง 4 ชนิด (ร้อยละ 1.4) และอาหารถนอมและการแปรรูป 33 ชนิด (ร้อยละ 11.0) ดังตารางที่ 1 กล่าวคืออาหารคาวประเภทแกงใส่กะทิที่นิยมบริโภคได้แก่ แกงคั่วส้มผักบุ้งปลาเค็ม แกงคั่วขี้เหล็กปลาย่าง ส่วนแกงไม่ใส่กะทิ ได้แก่ แกงส้มผักรวมปลาช่อน แกงเลียงผักรวม ประเภทต้มที่พบมากได้แก่ ต้มจืดฟักไก่ ต้มหน่อไม้กระดูกหมู อาหารประเภทผัดทั้งผัดจืด

และผัดเผ็ด ได้แก่ ผัดฟักทองกับไข่ ผัดเผ็ดผักบุ้งปลาช่อน ประเภทยำ พล่า ลาบ ได้แก่ ยำมะม่วง ยำถั่วพู ประเภทเครื่องจิ้ม ได้แก่ น้ำพริกกะปิ น้ำปลาหวานสะเดา / ผักชี ประเภทเบ็ดเตล็ด ได้แก่ ปลาเค็มทอด ทอดมันปลาสับนก ประเภทอาหารจานเดียว ได้แก่ ขนมจีนน้ำยาปลาช่อน ผัดหมี่ สำหรับอาหารหวานที่นิยมบริโภค ได้แก่ ฟักทองแกงบวด ข้าวเหนียวมูนหน้าต่างๆ อาหารว่าง ได้แก่ ส้มตำ เมี่ยงคำ อาหารถนอมและแปรรูปอาหารได้แก่ ปลาเค็ม ผักดองชนิดต่าง ๆ เช่นผักเสี้ยน หอมแดง เป็นต้น จากผลการวิจัยในภาพรวม พบว่า คนในชุมชนบางระกำนิยมบริโภคอาหารพื้นบ้านเป็นสำรับ ประกอบด้วยอาหารประเภทแกงหรือต้ม ผัด เครื่องจิ้ม โดยเฉพาะน้ำพริกชนิดต่าง ๆ รับประทานร่วมกับผักสดและผักต้มแนมด้วยปลาทอด ในมื้อเย็นส่วนใหญ่นิยมทำแกงหรือต้มในปริมาณมาก เพื่อเก็บไว้บริโภคในวันถัดไป ส่วนอาหารพื้นบ้านที่ใช้ในงานประเพณีและเทศกาลต่าง ๆ นั้นจัดตามความเหมาะสมไม่เฉพาะเจาะจงชนิดอาหาร โดยอาหารที่นิยมได้แก่ แกงเขียวหวานปลาสลาด แกงคั่วขี้เหล็กปลาย่าง แกงป่าปลาสับนก แกงส้มผักรวมปลาช่อน ต้มจืดฟักไก่ น้ำพริกกะปิ ปลาทอด ทอดมันปลาสับนก ขนมจีนน้ำยา ผัดหมี่ ข้าวเหนียวมูนหน้าต่าง ๆ โดยเฉพาะกล้วยหอมและมะม่วง

ตารางที่ 1: จำนวนและร้อยละของอาหารพื้นบ้านชุมชนบางระกำ

ประเภทอาหาร	จำนวน (ชนิด)	ร้อยละ	ประเภทอาหาร	จำนวน (ชนิด)	ร้อยละ
อาหารคาว	**204**	**68.5**	**อาหารหวาน**	**57**	**19.1**
แกง			ต้ม	18	6.0
แกงกะทิ	38	12.8	นึ่ง	18	6.0
แกงไม่ใส่กะทิ	23	7.7	เชื่อม	8	2.7
ต้ม	44	14.9	กวน	8	2.7
ผัด	32	10.7	ทอด	4	1.4
ยำ พล่า ลาบ	19	6.4	อบ ปิ้ง ย่าง	1	0.3
เครื่องจิ้ม	20	6.7	**อาหารถนอมและแปรรูป**	**33**	**11.0**
เบ็ดเตล็ด	22	7.4	การใช้เกลือ	14	4.7
อาหารจานเดียว	6	2.0	การใช้น้ำตาล	1	0.3
อาหารว่าง	**4**	**1.4**	การทำแห้ง	10	3.3
นึ่ง	2	0.7	การทอด	3	1.0
เบ็ดเตล็ด	2	0.7	การใช้หลายกรรมวิธีรวมกัน	5	1.7

เมื่อศึกษาศักยภาพด้านต่าง ๆ ของอาหารพื้นบ้านชุมชนบางระกำทั้ง 4 ประเภทข้างต้น (ตารางที่ 2) พบว่ามีศักยภาพด้านแหล่งวัตถุดิบในระดับสูง (ร้อยละ 100) เนื่องจากชุมชนแห่งนี้เป็นพื้นที่ราบลุ่ม มีแม่น้ำท่าจีนไหลผ่าน มีลำห้วยและคลองมาก พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นสีเขียว มีความอุดมสมบูรณ์ ชาวบ้านส่วนใหญ่ทำอาชีพเกษตรกรรม คือ ทำนา ทำสวนผัก การดำรงชีวิตส่วนใหญ่ยังพึ่งพาอาศัยแหล่งน้ำในการหาอาหาร ทำให้มีแหล่งวัตถุดิบมาก ส่งผลให้วิถีชีวิตชาวบ้านมีการพึ่งพาอาศัยกัน และการแลกเปลี่ยนวัตถุดิบซึ่งกันและกัน ดังนั้นอาหารพื้นบ้านส่วนใหญ่จึงใช้วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นและหาได้ตามธรรมชาติ โดยอาหารพื้นบ้านส่วนใหญ่จะใช้ปลาเป็นอาหารหลัก และผักพื้นบ้านซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติ เช่น ดอกโสน ผักบุ้ง และกระถิน รวมทั้งผักที่ปลูกไว้บริโภคภายในครัวเรือน เช่น ฟัก ฟักทอง น้ำเต้า บวบ และมะเขือเปราะ นอกจากนี้ยังมีการใช้พืชผักสมุนไพรที่ปลูกไว้แทบทุกครัวเรือน ได้แก่ ขิง ข่า ตะไคร้ มะกรูด พริก กะเพรา โหระพา และใบแมงลักอีกด้วย ส่วนวัตถุดิบอาหารที่ซื้อจากที่อื่นพบน้อยมาก ได้แก่ หมู ไก่ เป็ด เป็นต้น และผักบางชนิดที่ไม่สามารถปลูกได้เอง

ผลการศึกษาศักยภาพด้านกรรมวิธีการทำ พบว่า อาหารคาว อาหารถนอมและแปรรูปมีศักยภาพในระดับสูงร้อยละ 98.5 และ 90.9 ตามลำดับ เนื่องจากเป็นอาหารพื้นบ้านที่มีกรรมวิธีการทำไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีเพียง 1-2 ขั้นตอน อาหารคาว ได้แก่ แกง ต้ม ผัด ยำ พล่า ลาบ เครื่องจิ้ม และเบ็ดเตล็ด เช่น แกงส้มผักบุ้งปลาช่อน ต้มฟักไก่ ผัดผักบุ้ง ปลาทอด ยำมะม่วง น้ำพริกกะปิ เป็นต้น ชาวบ้านส่วนใหญ่นิยมทำอาหารคาวบริโภคเองภายในครอบครัวมากกว่าซื้อจากตลาดนัด รวมทั้งอาหารถนอมและแปรรูปโดยเฉพาะปลาเค็ม ผักดองต่าง ๆ มีการทำเก็บไว้บริโภคแทบทุกครัวเรือนซึ่งมีกรรมวิธีการทำที่ง่ายและมีการถ่ายทอดสืบต่อกันมาจากบรรพบุรุษ ประกอบกับแหล่งวัตถุดิบมีมากสามารถหาได้ในท้องถิ่น

ผลการศึกษาศักยภาพด้านการเป็นอาหารเพื่อสุขภาพของอาหารพื้นบ้านชุมชนบางระกำ พบว่า อาหารคาวมีศักยภาพในระดับสูง (ร้อยละ 25.0) ได้แก่ แกงไม่ใส่กะทิ เช่น แกงส้มผักรวมปลาช่อน แกงป่าปลาช่อน เป็นต้น เนื่องจากมีพืชผักสมุนไพรและปลาเป็นส่วนประกอบหลักไม่มีกะทิหรือน้ำมันเป็นส่วนประกอบ ให้พลังงานและไขมันต่ำ รวมทั้งใยอาหารอีกด้วย ส่วนอาหาร

ประเภทต้ม ผัด ยำ พล่า ลาบ เครื่องจิ้ม เบ็ดเตล็ด และอาหารจานเดียว เช่น ต้มฟักไก่ ผัดเผ็ดผักบุ้งหมู ยำถั่วพูปลาย่าง ทอดมันปลาสับนก ผัดหมี่ เป็นต้น มีศักยภาพในระดับปานกลาง (ร้อยละ 51.5) เนื่องจากอาหารเหล่านี้ประกอบด้วยพืชผักสมุนไพร 2-3 ชนิด ใช้ปลาหรือเนื้อสัตว์ชนิดอื่น มีกะทิหรือน้ำมันเป็นส่วนประกอบ สำหรับอาหารหวานส่วนใหญ่มีศักยภาพในระดับต่ำ ทั้งนี้เพราะอาหารหวานมีข้าว แป้ง น้ำตาล กะทิ เป็นส่วนประกอบหลัก ให้พลังงานสูง เช่น รวมมิตร บัวลอย ขนมถ้วย ทองหยิบ ทองหยอด เป็นต้น ถ้าบริโภคปริมาณมากหรือเป็นประจำ มีโอกาสที่จะได้รับพลังงานเกินความต้องการของร่างกาย ซึ่งอาจจะนำไปสู่โรคอ้วนและโรคเรื้อรังที่ไม่ติดต่อได้

ตารางที่ 2: จำนวนและร้อยละของประเภทอาหารพื้นบ้านแยกตามศักยภาพด้านต่าง ๆ

ศักยภาพอาหารพื้นบ้าน	ประเภทอาหาร / จำนวน (ร้อยละ)			
	อาหารคาว	อาหารหวาน	อาหารว่าง	อาหารถนอมและแปรรูป
	204 (100)	57 (100)	4 (100)	33 (100)
ด้านแหล่งวัตถุดิบ				
ระดับสูง	100 (100)	100 (100)	100 (100)	100 (100)
ระดับปานกลาง	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
ระดับต่ำ	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
ด้านกรรมวิธีการทำ				
ระดับสูง	201 (98.5)	29 (50.9)	2 (50.0)	30 (90.9)
ระดับปานกลาง	3 (1.5)	27 (47.4)	2 (50.0)	3 (9.1)
ระดับต่ำ	0 (0.0)	1 (1.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
ด้านการเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ				
ระดับสูง	51 (25.0)	0 (0.0)	2 (50.0)	5 (15.2)
ระดับปานกลาง	105 (51.5)	1 (1.8)	0 (0.0)	0 (0.0)
ระดับต่ำ	48 (23.5)	56 (98.2)	2 (50.0)	28 (84.8)
ด้านการถ่ายทอดภูมิปัญญา				
ระดับสูง	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
ระดับปานกลาง	148 (72.5)	21 (36.8)	1 (25.0)	15 (45.5)
ระดับต่ำ	56 (27.5)	36 (63.2)	3 (75.0)	18 (54.5)

ผลการศึกษาศักยภาพด้านการถ่ายทอดภูมิปัญญาของอาหารพื้นบ้านชุมชนบางระกำ พบว่า อาหารพื้นบ้านส่วนใหญ่มีศักยภาพในระดับต่ำ คือ อาหารว่าง (ร้อยละ 75.0) อาหารหวาน (ร้อยละ 63.2) อาหารถนอมและแปรรูป (ร้อยละ 63.2) สำหรับอาหารคาวมีศักยภาพในระดับปานกลาง (ร้อยละ 72.5) ดังตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอาหารพื้นบ้านส่วนใหญ่ไม่ค่อยมีการถ่ายทอดภูมิปัญญาสู่ลูกหลาน โดยเฉพาะอาหารว่าง อาหารหวาน เนื่องกรรมวิธีการทำค่อนข้างยุ่งยากมีหลายขั้นตอน ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงของวิถีการดำเนินชีวิต วัฒนธรรม การบริโภคอาหารที่เปลี่ยนไปของสังคมในปัจจุบัน คนรุ่นใหม่จึงนิยมบริโภคอาหารสำเร็จรูปและกึ่งสำเร็จรูปมากขึ้น ส่วนอาหารคาวยังมีการถ่ายทอดภูมิปัญญาให้กับคนในครอบครัวหรือลูกหลาน ดังนั้นในปัจจุบันการถ่ายทอดหรือการเรียนรู้อาหารพื้นบ้านจึงมีน้อยลง มีแต่คนรุ่นเก่าที่ได้รับการถ่ายทอดอาหารพื้นบ้านเท่านั้น

จากการคัดเลือกชนิดของอาหารพื้นบ้านของชุมชนบางระกำโดยการจัดเวทีชาวบ้านประกอบด้วยผู้นำชุมชน ปราชญ์ท้องถิ่นด้านอาหาร ชมรมผู้สูงอายุ และกลุ่มสตรีอาสาพัฒนา แล้วจึงทำการคัดเลือกอาหารพื้นบ้านที่นิยมบริโภคกันมากที่สุด รวมทั้งจัดทำตำรับอาหารพื้นบ้านซึ่งมีทั้งหมด 30 ตำรับ เป็นอาหารคาว 28 ตำรับ และอาหารหวาน 2 ตำรับ ดังตารางที่ 3 ซึ่งการจัดทำตำรับอาหารพื้นบ้านในครั้งนี้เพื่อเป็นต้นแบบแหล่งการเรียนรู้ด้านอาหารของชุมชนบางระกำโดยมีปราชญ์ท้องถิ่นด้านอาหารเป็นแกนนำร่วมกับกลุ่มสตรีอาสาพัฒนา ชมรมผู้สูงอายุเพื่อถ่ายทอดภูมิปัญญาอาหารพื้นบ้านสู่รุ่นลูกหลานซึ่งนับวันจะสูญหายไป

ตารางที่ 3: รายการตำรับอาหารพื้นบ้านชุมชนบางระกำที่ได้รับการยอมรับของคนในชุมชน

ประเภทอาหาร	จำนวนตำรับอาหาร	รายการตำรับอาหาร
อาหารคาว	**28**	
ประเภทแกง		
แกงกะทิ	5	แกงเขียวหวานปลาสลาด แกงขี้เหล็กปลาย่าง แกงอ่อมใบยอปลาดุก ฉู่ฉี่ปลาหมอ แกงคั่วส้มผักบุ้งปลาเค็ม
แกงไม่ใส่กะทิ	4	แกงป่าปลาสับนก แกงส้มก้านเผือกปลาช่อน แกงส้มผักรวมปลาช่อน แกงเลียงผักรวม
ประเภทต้ม	7	ต้มกะทิปลาสลิดใบมะขามอ่อน ต้มกะทิสายบัวปลาทู ต้มเค็มปลาหมอ ต้มโคล้งปลาย่าง ต้มยำหัวปลีปลาช่อน ต้มมะระผักกาดดองปลาช่อนทอด ต้มเค็มหวานกุ้งฝอย
ประเภทผัด	1	ผัดปลาแห้ง
ประเภทยำ พล่า ลาบ	1	ยำมะม่วง
ประเภทเครื่องจิ้ม	6	น้ำพริกกะปิ น้ำพริกมะม่วง น้ำพริกมะขาม น้ำพริกเผา กะปิคั่ว น้ำปลาหวานสะเดา / ผักชี
ประเภทเบ็ดเตล็ด	2	ทอดมันปลาสับนก ห่อหมกปลาช่อน
ประเภทจานเดียว	2	ขนมจีนน้ำยาปลาช่อน ผัดหมี่
อาหารหวาน	**2**	ฟักทองแกงบวด ข้าวเหนียวมูนหน้าต่าง ๆ (มะม่วง กล้วยหอม หน้ากระฉีก หน้าปลาแห้ง หน้าสังขยา)

5. บทสรุป

อาหารพื้นบ้านชุมชนบางระกำมีทั้งหมด 298 ชนิด แบ่งเป็น 4 ประเภท คือ อาหารคาว อาหารหวาน อาหารว่าง และอาหารถนอมและแปรรูปอาหาร ศักยภาพของอาหารพื้นบ้าน พบว่า อาหารทั้ง 4 ประเภทมีศักยภาพด้านแหล่งวัตถุดิบในระดับสูง (ร้อยละ 100) เนื่องจากอาหารพื้นบ้านใช้วัตถุดิบในการประกอบอาหารที่มีในท้องถิ่นและหาได้ตามธรรมชาติ อาหารคาว อาหารถนอมและแปรรูปมีศักยภาพกรรมวิธีการทำในระดับสูง (ร้อยละ 98.5 และ 90.9 ตามลำดับ) เนื่องจากเป็นอาหารพื้นบ้านที่มีกรรมวิธีการทำไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีเพียง 1-2 ขั้นตอน ส่วนศักยภาพด้านการเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ พบว่า อาหารคาว มีศักยภาพในระดับสูงและปานกลาง (ร้อยละ 25.0 และ 51.5) ได้แก่ อาหารประเภทแกงไม่ใส่กะทิ ต้ม ยำ และเครื่องจิ้ม เป็นอาหารที่ให้พลังงานและไขมันต่ำ รวมทั้งมีใยอาหารอีกด้วย เนื่องจากอาหารเหล่านี้ประกอบด้วยพืชผักสมุนไพร ปลา ไม่มีกะทิหรือน้ำมันเป็นส่วนประกอบ ส่วนศักยภาพด้านการถ่ายทอดภูมิปัญญา พบว่า อาหารพื้นบ้านส่วนใหญ่ไม่ค่อยมีการถ่ายทอดความรู้สู่ลูกหลาน และได้ตำรับอาหารพื้นบ้านที่ได้รับการยอมรับจากคนในชุมชนจำนวน 30 ตำรับ ผลการวิจัยครั้งนี้มีประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานขององค์การบริหารส่วนตำบลบางระกำ กลุ่มสตรีอาสาพัฒนา ชมรมผู้สูงอายุ และโรงเรียนในชุมชนบางระกำ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนงานพัฒนาชุมชน เป็นแหล่งเรียนรู้อาหารพื้นบ้านของคนในท้องถิ่นและประชาชนทั่วไป เพื่อให้คนในชุมชนตระหนักถึงความสำคัญ เห็นคุณค่าประโยชน์ของอาหารพื้นบ้าน และดำรงเอกลักษณ์และวัฒนธรรมอาหารพื้นบ้านของชุมชนบางระกำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความเรียบร้อย โดยได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และคำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญ รองศาสตราจารย์ชลีรัตน์ พยอมแย้ม รวมทั้งผู้นำชุมชน ปราชญ์ท้องถิ่นด้านอาหาร กลุ่มสตรีอาสาพัฒนา ชมรมผู้สูงอายุของชุมชนบางระกำที่ให้ความร่วมมือด้านข้อมูลและคำแนะนำในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันแพทย์แผนไทย, "อาหารพื้นเมือง", ค้นเมื่อ กรกฎาคม 9, 2554, จาก http://ittm.dtam.moph.go.th/data_articles/thai_food/index.htm
[2] "แผนชุมชน ต.บางระกำ อ.บางเลน จ.นครปฐม", นครปฐม, 2551. (อัดสำเนา)
[3] กิตติมา ปิ่นเวหา, (2552, ตุลาคม 22), หัวหน้ากลุ่มสตรีอาสาพัฒนาตำบลบางระกำ หมู่ที่ 5. (สัมภาษณ์)
[4] ปัทมา ศรีคัชชะ, (2552, พฤศจิกายน 10), ประธานชมรมผู้สูงอายุตำบลบางระกำ. (สัมภาษณ์)
[5] เพ็ญศิริ เข็มทอง, (2552, พฤศจิกายน 10), ประธานกลุ่มสตรีอาสาพัฒนาตำบลบางระกำ, (สัมภาษณ์)
[6] ภัทราวดี ศิริอำนวยลาภ, "ศักยภาพภูมิปัญญาไทยอาหารพื้นบ้านภาคกลางตอนล่าง", วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.
[7] มูลนิธิการแพทย์แผนไทยพัฒนา, "อาหารเพื่อสุขภาพ: อาหารพื้นเมือง-เครื่องดื่มสมุนไพร", นนทบุรี: องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์, 2544.
[8] สง่า ดามาพงษ์, "การนำอาหารพื้นบ้านคืนสู่สังคมไทย ใน ผักพื้นบ้านกับสังคมไทย", กรุงเทพฯ: สามเจริญพาณิชย์, 2548, หน้า 100-108.
[9] พาณีพันธุ์ ฉัตรอำไพวงศ์, สุธิดา รัตนวาณิชย์พันธ์ และมาลี ทวีวุฒิอมร, "รายงานการวิจัย เรื่องการศึกษาภูมิปัญญาพื้นบ้าน: กรณีศึกษาอาหารพื้นบ้านไทยภาคกลาง", กรุงเทพฯ: พี.เพรส., 2544.
[10] โสพิศ ขันทองดี, "การศึกษาอาหารพื้นบ้านจังหวัดสุพรรณบุรี", วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาไทยศึกษา มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2550.

น้ำพริกผัดเสริมแคลเซียมจากก้างปลานิล

Nam Prik Phad Supplemented with Calcium from Fish Bone of Nile Tilapia

วันเพ็ญ แสงทองพินิจ[1*], ขวัญใจ พรมเพียงช้าง[1], ภัคจิรา เกตุแก้ว[1], อรสา อ่อนสดทวีชัย[1]

[1]*โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม*

*Email:wpetchson@yahoo.com

บทคัดย่อ

ก้างปลานิลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นก้างปลาที่เหลือทิ้งจากการทำปลานิลแดดเดียวซึ่งเป็นก้างที่มีขนาดใหญ่และแข็ง ก้างปลามีแคลเซียมในปริมาณสูง จึงศึกษาวิธีการเตรียมก้างปลานิลที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการผลิตน้ำพริกผัดเสริมแคลเซียมโดยการเตรียม 3 วิธีได้แก่ การทอด การบดเป็นผง และการนึ่งความดัน และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของก้างปลาที่เตรียมได้ ก้างปลามีเถ้าเป็นองค์ประกอบมากที่สุดรองลงมาคือโปรตีนและไขมัน ก้างปลาทอดมีความชื้นร้อยละ 3.17 เถ้าร้อยละ 56 แคลเซียม 22430 มิลลิกรัม/100 กรัม มีกลิ่นคาวเล็กน้อย ก้างปลานึ่งมีความชื้นร้อยละ 47.47เถ้าร้อยละ 33 แคลเซียม 12120 มิลลิกรัม/100 กรัม มีกลิ่นคาวมาก ส่วนก้างปลาผงมีความชื้นร้อยละ 2.16 เถ้าร้อยละ 43 แคลเซียม 22580 มิลลิกรัม/100 กรัม มีความแข็ง เมื่อใส่ในน้ำพริกปริมาณมากรับประทานแล้วจะรู้สึกมีสิ่งตกค้างในปากมาก ดังนั้นก้างปลาทอดจึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในน้ำพริกผัดโดยสามารถเติมได้ร้อยละ 40 ทำให้น้ำพริกมีปริมาณแคลเซียมถึง 2,683 มิลลิกรัมต่อ 1 ช้อนโต๊ะหรือ 8,942 มิลลิกรัมต่อน้ำพริก 100 กรัม น้ำพริกที่เก็บรักษาในภาชนะบรรจุขวดแก้วและกระปุกพลาสติกโพลีโพรพิลีนเป็นเวลา 4 สัปดาห์ มีคุณภาพไม่เปลี่ยนแปลงและปลอดภัยจากจุลินทรีย์

คำสำคัญ: ก้างปลา, น้ำพริก, แคลเซียม, ปลานิล

Abstract

Fish bone waste from salted-dried fillet of nile tilapia was used in this study as it is the big and hard fish bone which contains high amount of calcium. The purpose of this study was to find the appropriate method in preparing fish bone for Nam Prik Phad recipe. Three methods used were deep frying, milling, and pressure cooking in order to analyze their chemical compositions. The study showed that fish bone had high ash level followed by protein and fat, respectively. Fried fish bone contained 3.17% moisture; 56% ash and 22430 mg/100g calcium and was slightly fishy whereas pressure cooked fish bone contained 47.47 % moisture, 33% ash, 12120 mg/100g calcium and was strongly fishy odor. On The other hand, milled fish bone had 2.16 % moisture, 43% ash, 22580 mg/100g calcium and became hard particles with sandy in after sensory test. As a result, fried fish bone was most suitable for Nam Prik Phad recipe and can be added up to 40% to make it rich in calcium at the level of 2,683 mg/1 table spoon or 8,942/100 g. Quality of Nam Prik Pad which filled in glass and polypropylene containers for 4 weeks was unchangeable and safe from microbiology.

Keyword: fish bone, chili paste, calcium, nile tilapia.

1. บทนำ

น้ำพริกเป็นอาหารที่นิยมบริโภคของคนไทยมักบริโภคร่วมกับผักซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพ ในปัจจุบันนิยมบริโภคน้ำพริกสำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาดกันมากกว่าที่จะปรุงขึ้นเอง จากงานวิจัยของสมร และสุเชษฐ์ [1] พบว่าการตัดสินใจเลือกซื้อน้ำพริกนั้นจะขึ้นอยู่กับรสชาติ โดยจะบริโภค 2-3 วันต่อครั้ง ผู้บริโภคส่วนใหญ่อายุ 25-56 ปี สำหรับผู้บริโภคที่อยู่ในวัยกลางคนต้องการน้ำพริกที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งปัญหาสุขภาพของวัยกลางคนที่สำคัญและเป็นปัญหาซ่อนเร้น ได้แก่ โรคกระดูกพรุน โดยสาเหตุของโรคที่สำคัญคือได้รับอาหารที่มีแคลเซียมไม่เพียงพอ ซึ่งในปี 2538 พบว่าผู้หญิงไทยอายุ 55 ปี เป็นโรคกระดูกพรุนร้อยละ 20 อายุ 65 ปี มีอัตราเพิ่มเป็นร้อยละ 60 ซึ่งมีผลทำให้กระดูกหักง่าย ในปี 2540-2541 ในจังหวัดเชียงใหม่มีผู้ป่วยอายุเกิน 50 ปี ที่มีปัญหากระดูกสะโพกหัก 162 ครั้งต่อประชากรหนึ่งแสนคน ส่วนคนที่อายุเกิน 75 ปี มีปัญหากระดูกสะโพกหัก 851 ครั้งต่อประชากรหนึ่งแสนคน [2] มีการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในน้ำพริก 40 ชนิดที่นิยมบริโภค พบว่ามีแคลเซียมอยู่ระหว่าง 13-247 มิลลิกรัมต่อ 1 ช้อนโต๊ะ [3]

ในปี 2552 ประเทศไทยมีการเพาะเลี้ยงปลานิลทั้งหมด 221,042 ตัน และจับได้ทั้งจากธรรมชาติและการเพาะเลี้ยง 258,500 ตัน คิดเป็นมูลค่า 9,881.5 ล้านบาท โดยมีการบริโภคสดร้อยละ 87.80 ทำเค็มและตากแห้งร้อยละ 3.73 [4] โดยการแปรรูปปลานิลนั้นจะมีเศษเหลือมากกว่าร้อยละ 65 โดยคิดเป็นครีบปลาร้อยละ 10 ก้างปลาร้อยละ 15 หัวปลาร้อยละ 20 เครื่องในและอื่นๆอีกกว่าร้อยละ 20 ส่วนใหญ่เศษเหลือเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ซึ่งมีมูลค่าต่ำหรือทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ ก้างปลาที่มีขนาดเล็กอาจมีการนำมาแปรรูปเป็นก้างปลาทอดกรอบ สำหรับก้างปลานิลนั้นเป็นก้างที่มีขนาดใหญ่และมีความแข็งมากจึงมีปัญหาต่อการนำมาแปรรูป ทั้งนี้ก้างปลาเป็นแหล่งของแคลเซียมที่ดีโดยแคลเซียมในก้างปลานั้นอยู่รูปแคลเซียมคาร์บอเนตและมีการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมในก้างปลาโดยก้างปลาโฮกิมีแคลเซียมร้อยละ 31.8 ในก้างปลากะพงขาวมีแคลเซียมร้อยละ 28.1 [5] Petenuci และคณะ (2008) [6] พบว่าในก้างปลานิลผง 100 กรัม มีความชื้นร้อยละ 14.2 โปรตีนร้อยละ 40.8 ไขมันทั้งหมดร้อยละ 25.3 เถ้าร้อยละ 18.3 และแร่ธาตุใน 100 กรัม มีเหล็ก 1.3 มิลลิกรัม แคลเซียม 2,715 มิลลิกรัม และฟอสฟอรัส 1,132.7 มิลลิกรัม ก้างปลานิลมีกรดไขมัน 22 ชนิด โดยมีไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 ดังนั้นก้างปลานิลจึงเป็นแหล่งที่ใช้เสริมคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้เป็นอย่างดี มีการวิจัยที่นำก้างปลามาใช้ประโยชน์เช่นการผลิตผงปรุงรสอาหารเสริมแร่ธาตุจากก้างปลานิล พบว่าก้างปลาผงมีแร่ธาตุหรือเถ้ากว่าร้อยละ 60 โดยมีปริมาณแคลเซียม 295 กรัม/กิโลกรัม มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 28 ไขมันร้อยละ 4.8 และความชื้นร้อยละ 1.5 นอกจากนั้นพบว่ามีการปนเปื้อนของโลหะหนักจำนวน 5 ตัว พบว่าในก้างปลานิลผงอบแห้งนั้นมีการปนเปื้อนของเหล็กมากที่สุด รองลงมา คือ คอปเปอร์ ตะกั่ว ปรอทและแคดเมียม ตามลำดับ เมื่อปริมาณก้างปลาเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นจะลดลง ความสามารถในการเปียกน้ำของผงปรุงรสทำให้เปียกน้ำได้ช้าลง การเติมก้างปลาร้อยละ 1 ทำให้มีแคลเซียมเพิ่มขึ้นกว่า 14 เท่า ปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นกว่า 2 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับผงปรุงรสทางการค้า [7] การศึกษากรรมวิธีในการเตรียมกระดูกปลาสากที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์น้ำพริกตาแดงโดยวิธีการทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิ 180 - 190 องศาเซลเซียส นาน 5 นาทีแล้วนำกระดูกมาบดให้ละเอียดพบว่ามีความเหมาะสมเนื่องจากกระดูกมีลักษณะกรอบ บด ได้ง่าย ไม่มีกลิ่นเหม็นคาว สามารถการเติมกระดูกปลาได้ร้อยละ 30 และผัดน้ำพริกตาแดงที่อุณหภูมิ 55 - 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที [8]

การแปรรูปผลิตภัณฑ์ในระดับชุมชนในพื้นที่จังหวัดนครปฐมและจังหวัดใกล้เคียงมีการแปรรูปน้ำพริกสำเร็จรูปและการแปรรูปปลานิลแดดเดียวเป็นจำนวนมากซึ่งมีก้างปลาเหลือทิ้ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกเสริมแคลเซียมจากก้างปลานิลเพื่อให้ได้น้ำพริกที่มีแคลเซียมสูง เหมาะสำหรับผู้บริโภค และเป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้ง เป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกทั้งเป็นการสร้างจุดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์โดยการวิจัยนี้จะศึกษากรรมวิธีการเตรียมก้างปลาและปริมาณก้างปลาที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์น้ำพริกผัด และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำพริกผัดระหว่างการเก็บรักษา

2.วัสดุและวิธีการวิจัย

2.1 วิธีการเตรียมก้างปลานิล

ก้างปลานิลที่ใช้ในงานวิจัยเป็นก้างปลาที่เหลือจากการผลิตปลานิลแดดเดียว นำมาเตรียมขั้นต้นด้วยการแยกเอาครีบ หาง หัว และเครื่องในออก ล้างด้วยน้ำเปล่า และน้ำเกลือร้อยละ 4 ให้สะอาด นึ่งนาน 5 นาที ล้างน้ำไหล และนำก้างปลานิลมาเตรียม 3 วิธี คือ

วิธีที่ 1 ก้างปลานิลทอด นำก้างปลาที่เตรียมขั้นต้นมานึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน นาน 90 นาที แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง นำไปทอดที่อุณหภูมิ 180–190 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วนำก้างปลาที่ได้ไปบด

วิธีที่ 2 ก้างปลานิลผง นำก้างปลาที่เตรียมขั้นต้นมานึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน นาน 90 นาที แล้วมาอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง แล้วนำก้างปลาที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดของแห้ง (Disc Miller) ยี่ห้อ NEWPORT SCIENTIFIC ปรับขนาด 0.2 มิลลิเมตร ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช

วิธีที่ 3 ก้างปลานิลนึ่งความดัน นำก้างปลาที่เตรียมขั้นต้นมานึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันนาน 150 นาที แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดของแห้ง moulinex

นำก้างปลานิลที่เตรียมได้ มาตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพได้แก่ปริมาณน้ำอิสระ (water activity;A_w) โดยเครื่อง AQUA LAB และค่าสี (L*,a*,b*) โดยเครื่อง Hunter LAB รุ่น Mini Scan XE plus และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis) ได้แก่โปรตีน ไขมัน ความชื้น เถ้า ตามวิธี A.O.A.C. (2000) [9] และส่งตัวอย่างวิเคราะห์แคลเซียม ตามวิธี In-house method on A.O.A.C (2005) 984.27, by ICP-OES

2.2 ศึกษาปริมาณก้างปลาที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์น้ำพริกผัด

สูตรน้ำพริกผัดสูตรควบคุมประกอบด้วยพริกแห้งเม็ดใหญ่ร้อยละ 8.42 หัวหอมร้อยละ 26.55 กระเทียมร้อยละ 24.14 น้ำมะขามเปียกร้อยละ 15.91 น้ำปลาร้อยละ 7.40 กะปิร้อยละ 2.59 น้ำตาลปี๊บร้อยละ 14.99 บดส่วนผสมทุกอย่างให้เข้ากัน และนำไปผัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที การเติมก้างปลาน้ำพริกผัดเสริมแคลเซียมจะเติมก้างปลาทั้ง 3 ชนิด โดยก้างปลานิลทอดและก้างปลานิลผงเติมร้อยละ 20 30 และ 40 ของส่วนผสม ก้างปลานิลนึ่งเติมร้อยละ 50 60 และ 70 ของส่วนผสม

2.3 ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคใช้ผู้ทดสอบ จำนวน 20 คน ทดสอบโดยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) โดยทดสอบปัจจัยคุณภาพทางด้านสี กลิ่น (กลิ่นเครื่องเทศและกลิ่นคาว) รสชาติ เนื้อสัมผัส (ความเหนียวข้นและสิ่งตกค้างหลังจากการชิม) และความชอบโดยรวม และวิเคราะห์ผลโดยทดสอบความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA)

นำน้ำพริกสูตรที่เหมาะสมที่สุดมาตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพได้แก่ ค่าปริมาณน้ำอิสระ และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ปริมาณโปรตีน ไขมัน ความชื้น เถ้า และแคลเซียม

2.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำพริกระหว่างการเก็บรักษา

นำน้ำพริกสูตรที่เหมาะสมที่สุดมาผลิตและทำการบรรจุขณะร้อนลงในภาชนะบรรจุ 2 ชนิดคือ ขวดแก้วขนาดบรรจุ 100 กรัม และกระปุกพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนขนาดบรรจุ 70 กรัม เก็บรักษาน้ำพริกผัดที่อุณหภูมิห้อง นำมาวิเคราะห์คุณภาพทุก ๆ 1 สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยวิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar *Staphylococcus aureus* ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Baird Parker agar *E.coli* ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl Tryptose Broth ยีสต์ และรา ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar ตามวิธี FAO (1992) [10] รายงานในรูป CFU/กรัมตัวอย่าง วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ และเปรียบเทียบผลของระยะเวลาการเก็บรักษาโดยทดสอบความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA)

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 คุณสมบัติของก้างปลาที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ

สีของก้างปลาผงมีค่าความสว่าง (L^*) สูงกว่าก้างปลานึ่งและก้างปลาทอด อาจเนื่องจากก้างปลาผงมีอนุภาคขนาดเล็กจึงทำให้ค่าความสว่างของก้างปลาผงมีค่ามากกว่า ค่าสีแดง (a^*) ของก้างปลานึ่งสูงกว่าก้างปลาผง และก้างปลาทอด อาจเนื่องจากในขั้นตอนการนึ่งความดัน นานถึง 150 นาที จึงทำให้ก้างปลานึ่งมีสีเข้ม ค่าสีเหลือง (b*) ของก้างปลาทอดสูงกว่าก้างปลาผงและก้างปลานึ่ง เนื่องจากอาหารที่ผ่านการทอดจะมีสีเข้มเพราะความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีการเกิดสีน้ำตาล [7]

ก้างปลาทอด และก้างปลาผงมีลักษณะแห้ง มีความชื้นร้อยละ 3.17±0.30 และ 2.16±0.15 ตามลำดับ ส่วนก้างปลานึ่งมีลักษณะเปียกชื้นมีความชื้นร้อยละ 47.47±0.04 (ตารางที่ 1) ค่าปริมาณน้ำอิสระของก้างปลานึ่งสูงกว่าก้างปลาทอดและก้างปลาผง ซึ่งสอดคล้องกับค่าความชื้นของก้างปลา ก้างปลานึ่งมีความชื้นสูงเพราะในกระบวนการนึ่งความดันไอน้ำทำให้ก้างปลาดูดซับน้ำเอาไว้ปริมาณมากและการนำมาใช้ไม่ได้อบแห้งจึงทำให้ค่าความชื้นและค่าปริมาณน้ำอิสระของก้างปลานึ่งมีค่าสูงสุดคือ 1.00 ส่วนในก้างปลาผงและก้างปลาทอดมีค่าปริมาณน้ำอิสระลดลงคือ 0.36 และ 0.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของก้างปลานิลที่เตรียมโดยวิธีต่างๆ สำหรับเติมในน้ำพริก

	วิธีการเตรียมก้างปลานิล		
	SDF	SD	S
A_w	$0.20^{a} \pm 0.01$	$0.36^{b} \pm 0.05$	$1.00^{c} \pm 0.00$
ค่าความสว่าง (L*)	$48.26^{a} \pm 0.08$	$78.55^{c} \pm 0.30$	$51.10^{b} \pm 0.51$
ค่าสีแดง (a*)	$0.24^{a} \pm 0.02$	$0.93^{b} \pm 0.02$	$2.95^{c} \pm 0.31$
ค่าสีเหลือง (b*)	$19.38^{b} \pm 0.30$	$18.14^{a} \pm 0.33$	$18.70^{a,b} \pm 0.76$
โปรตีน (%wb)	$44.44^{b} \pm 5.05$	$34.69^{b} \pm 5.05$	$8.75^{a} \pm 1.75$
ไขมัน (%wb)	$14.15^{c} \pm 0.08$	$7.32^{b} \pm 2.05$	$5.85^{a} \pm 1.08$
ความชื้น (%wb)	$3.17^{b} \pm 0.30$	$2.16^{a} \pm 0.15$	$47.47^{c} \pm 0.04$
เถ้า (%wb)	$42.92^{b} \pm 1.15$	$56.61^{c} \pm 1.08$	$33.16^{a} \pm 0.79$
แคลเซียม (กรัม/ 100 กรัม) (%db)	$22.34^{b} \pm 0.07$	$22.58^{c} \pm 0.03$	$12.12^{a} \pm 0.01$

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ครั้ง
ตัวอักษร $^{a, b,c}$ ที่แตกต่างในแนวนอนแสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($P \le 0.05$)
SDF คือ ก้างปลานิลทอด SD คือ ก้างปลานิลผง S คือ ก้างปลานิลนึ่งความดัน

องค์ประกอบทางเคมีของก้างปลาทั้ง 3 ชนิดที่มากที่สุดถ้าไม่นับรวมความชื้นคือ เถ้า ถัดมาคือโปรตีนและไขมันตามลำดับ โดยปริมาณเถ้าในก้างปลานิลผงมีปริมาณเถ้าสูงกว่าก้างปลาทอดและก้างปลานึ่งโดยมีปริมาณเถ้าร้อยละ 56.61±1.08, 42.92±1.15 และ 33.16±0.79 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าก้างปลานิลผงมีองค์ประกอบของแร่ธาตุอยู่มากซึ่งสอดคล้องกับ มานนท์และคณะ, 2551 [7] พบว่าก้างปลานิลผงมีเถ้าถึงร้อยละ 60 และส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมถึง 29.5กรัมต่อ100 กรัม ส่วน Petenuci และคณะ (2008) [6] พบว่าก้างปลานิลผงมีเถ้าถึงร้อยละ18.3 โดยเป็นแคลเซียมถึง 2.72 กรัมต่อ 100 กรัม ก้างปลาที่เตรียมได้ทั้ง 3 ชนิดพบว่าปริมาณแคลเซียมในก้างปลาผงสูงกว่าก้างปลาทอดและก้างปลานึ่ง โดยมีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 22.58±0.03, 22.43±0.07 และ 12.12±0.01 กรัมต่อน้ำหนักของก้างปลา 100 กรัม (ฐานแห้ง) ตามลำดับ

ปริมาณโปรตีนในก้างปลาทอดสูงกว่าก้างปลาผงและก้างปลานึ่ง โดยมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 44.44±5.05, 34.69±5.05 และ 8.75±1.75 ตามลำดับ ก้างปลานึ่งมีโปรตีนต่ำเนื่องจากมีความชื้นสูงถึงร้อยละ 47.47±0.04 จึงทำให้ปริมาณโปรตีนมีน้อยกว่าในก้างปลาชนิดอื่น ๆ ปริมาณไขมันในก้างปลาทอดสูงกว่าก้างปลาผงและก้างปลานึ่งโดยมีปริมาณไขมันร้อยละ 14.15±0.08, 7.32±2.05 และ 5.85±1.08 ตามลำดับ เนื่องจากก้างปลาทอดผ่านการทอดจึงซับน้ำมันเอาไว้มากจึงทำให้มีปริมาณไขมันสูง

3.2 ศึกษาปริมาณก้างปลาที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์น้ำพริกผัด

การเติมก้างปลาแต่ละชนิดเพื่อให้น้ำพริกมีปริมาณแคลเซียมใกล้เคียงกัน และเนื่องจากก้างปลาทั้ง 3 ชนิด มีความชื้นไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อให้น้ำพริกมีปริมาณแคลเซียมใกล้เคียงกัน ปริมาณก้างปลาแต่ละชนิดที่เติมลงในน้ำพริกจึงแตกต่างกันดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณก้างปลาโดยน้ำหนักแห้งฐานแห้ง (%db) ที่เติมลงในน้ำพริกผัด

ชนิดก้างปลา	ความชื้น (%)	ปริมาณก้างปลา (%wb)	ปริมาณก้างปลา (%db)	ปริมาณแคลเซียม*(มิลลิกรัม)
ก้างปลาทอด	3.17	20	19.37	4,470
		30	29.05	6,703
		40	38.75	8,942
ก้างปลาผง	2.16	20	19.57	4,516
		30	29.35	6,773
		40	39.14	9,032
ก้างปลานึ่ง	47.47	50	26.27	6,062
		60	31.52	7,273
		70	36.77	8,485

*ปริมาณแคลเซียมได้จากการคำนวณ โดยก้างปลานิลที่วิเคราะห์มีปริมาณแคลเซียม 23.075กรัม ต่อ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง)

ก้างปลาทอดและก้างปลาผงมีความชื้นต่ำใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 2.16-3.17) เติมลงในน้ำพริกร้อยละ 20, 30และ 40 (% wb) เมื่อคิดเป็นปริมาณก้างปลานิลน้ำหนักฐานแห้ง (% db) ปริมาณก้างปลาทอดเท่ากับร้อยละ 19.37, 29.05 และ 38.73 ตามลำดับ หรือมีแคลเซียมเท่ากับ 4,470, 6,703 และ 8,942 มิลลิกรัม ตามลำดับ ปริมาณก้างปลาผงเท่ากับร้อยละ 19.57, 29.35 และ 39.14 ตามลำดับ หรือมีแคลเซียมเท่ากับ 4,516, 6,773 และ 9,032 มิลลิกรัม ตามลำดับ ก้างปลานึ่งซึ่งมีความชื้นสูง (ร้อยละ 47.47) เติมลงในน้ำพริกร้อยละ 50, 60 และ70 (% wb) เมื่อคิดเป็นปริมาณก้างปลานิลน้ำหนักฐานแห้ง (% db) เท่ากับร้อยละ 26.27, 31.52 และ 36.77 ตามลำดับ หรือมีแคลเซียมเท่ากับ 6,062, 7,273 และ 8,485 มิลลิกรัม ตามลำดับเมื่อนำมาคิดปริมาณก้างปลาตามน้ำหนักฐานแห้งแล้วจะมีปริมาณก้างปลาใกล้เคียงกับก้างปลาทอดและก้างปลาผง จึงนำก้างปลาปริมาณดังกล่าวเติมลงในน้ำพริกผัดเพื่อเสริมแคลเซียมจากก้างปลาให้มีปริมาณมากที่สุด

น้ำพริกผัดทั้ง 9 สูตรทำการผัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที พบว่าน้ำพริกผัดที่ได้มีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.63–0.64 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 321/2547 [11] ที่ระบุว่าน้ำพริกผัดควรมีปริมาณค่าปริมาณน้ำอิสระไม่เกิน 0.86 ซึ่งค่าปริมาณน้ำอิสระเป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บรักษาและเป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยของอาหารโดยทำหน้าที่ควบคุมการอยู่รอดการเจริญและการสร้างสารพิษของจุลินทรีย์

จากผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 3) จะพบว่าน้ำพริกที่เติมก้างปลาแต่ละชนิดในปริมาณต่างๆ คะแนนความชอบด้านกลิ่นเครื่องเทศมากกว่า 6 ขึ้นไป ยกเว้นน้ำพริกผัดที่เติมก้างปลานึ่งร้อยละ70 ที่มีคะแนนลดลง ส่วนกลิ่นคาวพบว่าน้ำพริกที่เติมก้างปลาทอดมีคะแนนความชอบมากกว่า 6 แสดงว่ามีกลิ่นคาวน้อยซึ่งมีคะแนนความชอบมากกว่าน้ำพริกที่เติมก้างปลาผงและก้างปลานึ่งที่มีคะแนนต่ำกว่า 6 โดยผู้บริโภคให้ความคิดเห็นเพิ่มเติมว่าน้ำพริกที่เติมก้างปลานึ่งมีกลิ่นคาวค่อนข้างมากจึงทำให้มีคะแนนความชอบต่ำ ส่วนน้ำพริกที่เติมก้างปลาทอดจะมีกลิ่นหอมที่มีลักษณะจำเพาะ เมื่อพิจารณาค่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นเครื่องเทศและกลิ่นคาวของน้ำพริกที่เติมก้างปลาแต่ละชนิดจะพบว่ากลิ่นเครื่องเทศและกลิ่นคาวของน้ำพริกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่คะแนนความชอบด้านกลิ่นเครื่องเทศและกลิ่นคาวมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณก้างปลา ความชอบด้านรสชาติ สี และความข้นเหนียวของน้ำพริกที่เติมก้างปลาแต่ละชนิดมีคะแนนความชอบมากกว่า 6 ขึ้นไป ยกเว้นคะแนนความชอบด้านรสชาติของน้ำพริกที่เติมก้างปลาผงร้อยละ 40 และก้างปลานึ่งร้อยละ 70 ที่มีคะแนนต่ำลง ส่วนคะแนนความชอบด้านสิ่งตกค้างหลังจากการชิมทุกตัวอย่างมีคะแนนความชอบมากกว่า 5 โดยตัวอย่างน้ำพริกที่เติมก้างปลาผงพบว่าเมื่อเติมก้างปลามากขึ้นจะทำให้ค่าคะแนนสิ่งตกค้างหลังจากการชิมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผู้บริโภคให้ความเห็นเพิ่มเติมว่ารู้สึกเป็นทรายตกค้างในปากทั้งนี้อาจเป็นเพราะก้างปลาผงมีลักษณะเป็นผงละเอียดที่มีความแข็งมากกว่าก้างปลาชนิดอื่น น้ำพริกผัดเสริมแคลเซียมจากก้างปลาทั้ง 9 ตัวอย่าง เมื่อเติมก้างปลาแต่ละชนิดในปริมาณที่แตกต่างกันพบว่าความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ยกเว้นน้ำพริกที่เติมก้างปลาผงร้อยละ 30 และ 40 ที่มีคะแนนต่ำลงซึ่งสอดคล้องกับคะแนนสิ่งตกค้างหลังการชิม ค่าคะแนนความชอบโดยรวมของน้ำพริกที่เติมก้างปลานึ่งจะมีคะแนนต่ำกว่าน้ำพริกที่เติมก้างปลาทอดและก้างปลาผงทั้งนี้สอดคล้องกับคะแนนของกลิ่นคาว

ตารางที่ 3 คะแนนการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัส ของน้ำพริกผัดที่เติมก้างปลาแต่ละชนิดที่ปริมาณต่างๆ

ตัวอย่าง	คะแนนความชอบของน้ำพริกผัดเสริมแคลเซียมจากก้างปลานิล						
	กลิ่นเครื่องเทศ	กลิ่นคาว	รสชาติ	สี	ความเหนียวข้น	สิ่งตกค้าง	ความชอบโดยรวม
SDF 20	$6.95^{a} \pm 0.33$	$6.50^{a} \pm 0.38$	$6.90^{a} \pm 0.38$	$7.40^{a} \pm 0.31$	$6.55^{a} \pm 0.32$	$5.95^{a} \pm 0.43$	$6.95^{a} \pm 0.32$
SDF 30	$6.95^{a} \pm 0.33$	$6.25^{a} \pm 0.38$	$6.40^{a} \pm 0.38$	$7.25^{a} \pm 0.31$	$6.55^{a} \pm 0.32$	$5.55^{a} \pm 0.43$	$6.35^{a} \pm 0.32$
SDF 40	$6.55^{a} \pm 0.33$	$6.10^{a} \pm 0.38$	$6.60^{a} \pm 0.38$	$6.75^{a} \pm 0.31$	$6.65^{a} \pm 0.32$	$5.20^{a} \pm 0.43$	$6.35^{a} \pm 0.32$
SD 20	$6.55^{a} \pm 0.33$	$5.55^{a} \pm 0.38$	$6.45^{b} \pm 0.38$	$7.15^{b} \pm 0.31$	$7.00^{b} \pm 0.32$	$6.15^{b} \pm 0.43$	$7.10^{b} \pm 0.32$
SD 30	$6.00^{a} \pm 0.33$	$5.00^{a} \pm 0.38$	$6.05^{a,b} \pm 0.38$	$6.50^{a} \pm 0.31$	$6.55^{a,b} \pm 0.32$	$5.60^{a,b} \pm 0.43$	$6.50^{a} \pm 0.32$
SD 40	$6.20^{a} \pm 0.33$	$5.40^{a} \pm 0.38$	$5.60^{a} \pm 0.38$	$6.35^{a} \pm 0.31$	$6.05^{a} \pm 0.32$	$5.10^{a} \pm 0.43$	$6.35^{a} \pm 0.32$
S 50	$6.00^{a} \pm 0.33$	$5.35^{a} \pm 0.38$	$6.20^{a} \pm 0.38$	$6.70^{b} \pm 0.31$	$6.55^{a} \pm 0.32$	$5.85^{a} \pm 0.43$	$6.55^{a} \pm 0.32$
S 60	$6.15^{a} \pm 0.33$	$5.00^{a} \pm 0.38$	$6.30^{a} \pm 0.38$	$6.60^{a,b} \pm 0.31$	$6.55^{a} \pm 0.32$	$6.10^{a} \pm 0.43$	$6.50^{a} \pm 0.32$
S 70	$5.55^{a} \pm 0.33$	$5.05^{a} \pm 0.38$	$5.85^{a} \pm 0.38$	$6.15^{a} \pm 0.31$	$6.40^{a} \pm 0.32$	$5.95^{a} \pm 0.43$	$6.00^{a} \pm 0.32$

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดสอบตัวอย่าง 3 ครั้ง

ตัวอักษร $^{a, b, c}$ ที่แตกต่างในแนวตั้งของน้ำพริกที่เติมก้างปลานิลแต่ละชนิด แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

SDF คือ น้ำพริกผัดที่เติมก้างปลานิลทอด SD คือ น้ำพริกผัดที่เติมก้างปลานิลผง SC คือ น้ำพริกผัดที่เติมก้างปลานิลนึ่ง

20, 30, 40, 50, 60 และ 70 แสดงปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของปริมาณก้างปลาที่เติมลงในน้ำพริก

จากผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางประสาทสัมผัสพบว่าน้ำพริกสูตรที่มีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุดคือน้ำพริกที่เติมก้างปลาผงร้อยละ 20 รองลงมาคือน้ำพริกที่เติมก้างปลาทอดร้อยละ 20 แต่เมื่อพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ที่จะเพิ่มปริมาณแคลเซียมให้มากที่สุดร่วมกับผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจากค่าคะแนนความชอบ และความคิดเห็นเพิ่มเติม รวมทั้งจากการสังเกตของผู้วิจัยของน้ำพริกทั้ง 9 สูตร ผู้วิจัยจึงเลือกน้ำพริกที่เติมก้างปลาทอดร้อยละ 40 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด เพราะมีคะแนนความชอบไม่แตกต่างจากน้ำพริกที่เติมก้างปลาทอดร้อยละ 20 และเติมก้างปลาได้ปริมาณมากซึ่งจะได้น้ำพริกที่มีแคลเซียมสูง น้ำพริกที่เติมก้างปลาทอดร้อยละ 40 จึงนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาซึ่งผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ดังตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำพริกผัดเสริมแคลเซียมจากก้างปลานิลทอดร้อยละ 40

คุณค่า	ต่อ 100 กรัม	ปริมาณต่อ 1 หน่วยบริโภค (30 กรัม)
โปรตีน (%wb)	34.14 ± 1.52	10.24
ไขมัน (%wb)	3.25 ± 0.26	0.98
ความชื้น (%wb)	14.24±0.25	4.27
เถ้า (%wb)	19.45 ± 1.19	5.84
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	8,942	2,683

ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ครั้ง

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำพริกผัดที่เติมก้างปลานิลทอดร้อยละ 40 พบว่ามีปริมาณน้ำอิสระ 0.63±0.01 โปรตีนร้อยละ 34.14±1.52 ไขมันร้อยละ 3.25 ± 0.26 ความชื้นร้อยละ 14.24±0.25 เถ้าร้อยละ 19.45 ± 1.19 และมีปริมาณแคลเซียม 8,942 มิลลิกรัม ต่อน้ำพริกผัด 100 กรัม ถ้าคิดเป็นต่อหนึ่งหน่วยบริโภค 30 กรัม หรือ 1 ช้อนโต๊ะ จะมีโปรตีน ไขมัน ความชื้น เถ้าร้อยละ 10.24, 0.98, 4.27, 5.84 และมีแคลเซียม 2,683มิลลิกรัม (ตารางที่ 4) ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการในแต่ละวันของคนไทยโดยปริมาณแคลเซียมอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทยประมาณ 800 มิลลิกรัม ต่อวัน [12] ดังนั้นน้ำพริกผัดเสริมแคลเซียมจากก้างปลานิลจึงเหมาะสมต่อการบริโภคโดยเฉพาะผู้สูงอายุ เพราะมีปริมาณแคลเซียมที่เพียงพอต่อการนำไปใช้เสริมสร้างมวลกระดูก และชะลอการเกิดโรคกระดูกพรุนในผู้สูงอายุ

3.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

จากการเก็บรักษาน้ำพริกผัดเสริมแคลเซียมจากก้างปลานิลทอดร้อยละ 40 ในภาชนะ 2 ชนิดคือ ขวดแก้วและกระปุกพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ค่าปริมาณน้ำอิสระของน้ำพริกที่ผลิตเสร็จใหม่มีปริมาณน้ำอิสระ 0.63 เมื่อเก็บรักษาในขวดแก้วค่าปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 0.64 ในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ส่วนน้ำพริกที่เก็บในกระปุกพลาสติกค่าปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 0.64 ในตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ตลอดไปจนสัปดาห์ที่ 4 (ไม่ได้แสดงข้อมูล) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำอิสระอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือไม่เกิน 0.86 [11] ค่าสี L* a* b* ของน้ำพริกในแต่ละสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ พบว่าสีไม่เปลี่ยนแปลง และผลิตภัณฑ์ที่เก็บในขวดแก้วมีคุณภาพด้านสีไม่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ที่เก็บในกระปุกพลาสติก (ไม่ได้แสดงข้อมูล)

ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำพริกผัดเสริมแคลเซียมจากก้างปลานิลทอดร้อยละ 40 ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิห้อง ของภาชนะบรรจุทั้งสองชนิดเมื่อนำมาวิเคราะห์ทุกๆ 1 สัปดาห์ พบว่าปริมาณยีสต์และราพบน้อยกว่า $< 10^{2}$ (CFU/g) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดพบน้อยกว่า $< 10^{3}$ (CFU/g) สแตฟฟิโลคอคคัส ออเรีย คอลิฟอร์ม และเอสเชอริเชีย โคไล พบน้อยกว่า < 30 (MPN/g) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องผลิตภัณฑ์น้ำพริกผัด [11] ทั้งนี้เนื่องจากน้ำพริกผัดเสริมแคลเซียมจากก้างปลานิลทอดร้อยละ 40 มีค่าน้ำอิสระ 0.63-0.64 และมีความชื้นร้อยละ 14.24 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

4. สรุปผลการทดลอง

การเตรียมก้างปลาโดยวิธีการทอดมีความเหมาะสมเนื่องจากก้างปลาทอดมีกลิ่นคาวน้อยและมีกลิ่นหอม ก้างปลาไม่แข็ง ส่วนวิธีการนึ่งก้างปลามีกลิ่นคาวมากและก้างปลาไม่แข็งมาก ส่วนก้างปลาผงมีกลิ่นคาวและแข็งมากเมื่อรับประทานทำให้รู้สึกสากคอ

ก้างปลาทอดและก้างปลาผง มีลักษณะเป็นผงแห้งมีความชื้นต่ำ มีแคลเซียมประมาณ 22,000 มิลลิกรัมต่อก้างปลา 100 กรัม ส่วนก้างปลานึ่งมีลักษณะเปียกมีความชื้นสูง มีแคลเซียมประมาณ 12,000 มิลลิกรัมต่อก้างปลา 100 กรัม ปริมาณก้างปลาที่เหมาะสมคือน้ำพริกผัดที่เติมก้างปลานิลทอดร้อยละ 40 มีปริมาณแคลเซียม 8,942 มิลลิกรัมต่อน้ำพริก 100 กรัม หรือ 2,683 มิลลิกรัมต่อน้ำพริก 30 กรัม หรือ 1 ช้อนโต๊ะ ภาชนะบรรจุ 2 ชนิดคือ ขวดแก้ว และกระปุกพลาสติกโพลีโพรพิลีน สามารถรักษาคุณภาพน้ำพริกได้ไม่แตกต่างกันและน้ำพริกที่ผลิตได้มีความปลอดภัยต่อการบริโภค

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่สนับสนุนทุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สมร ศิริอรุณ และสุเชษฐ์ สมุหเสนีโต,. "การศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกเพื่อสุขภาพ", 2549, โครงงานปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศิลปากร, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการและวิจัย, แหล่งที่มา: http://www.irpus.or.th/project_file/2549_2007-08-02_I24903070_F23.pdf, 5 กันยายน 2553.

[2] สถาบันโภชนาการ, "โครงการอบรมวิชาการเรื่องโภชนาการทันยุค", สถาบันโภชนาการ, มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม, 2543.

[3] เบญจางค์ วิริยะจิตต์, "แคลเซียมในน้ำพริก ผักจิ้ม และเครื่องแนม", วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.

[4] กรมประมง, "หนังสือสถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2552", กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์สารสนเทศกรมประมง, เอกสารฉบับที่ 9/2554 แหล่งที่มา: http://www.fisheries.go.th, 5 พฤษภาคม 2555.

[5] Phiraphinyo. P., S.Taepakpurehat, P. Lakkanatinaporn, W. Suntornsuk and Suntornsuk L., "Physical and chemical properties of fish and chicken bone as calcium source for mineral supplements", Journal of Science and Technology, 28(2), 2006, pp.327-335.

[6] Petenuci. M.E, F.B. Stevanato, J.E.L.Visentainer, M. Matsushita, E. E.Garcia, N. E. de Souza, and Visentainer J.V., "Fatty acid concentration, proximate composition, and mineral composition in fishbone flour of Nile Tilapia", Organo Oficial de la sociedad Latinoamericana de Nutrición, 58 (1), 2008, pp.87-90.

[7] มานนท์ ใจมาเครือ, นฤมล ขัดพูล, กิตติกรณ์ สุขสมบูรณ์ และสาโรจน์ รอดคืน, "ผงปรุงรสอาหารเสริมแร่ธาตุจากก้างปลา", 2551, โครงงานปริญญาตรีมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการและวิจัย, แหล่งที่มา: http://www.irpus.or.th/project_file/2551/F089_I251D10011_Complete.pdf, 5 กันยายน2553.

[8] ยุวรัตน์ สพสุข, ศันศนีย์ หมัดหมะ และธิติมา จันทโกศล, "การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำพริกตาแดงโดยการเติมกระดูกปลาเพื่อเป็นแหล่งแคลเซียม", 2550, ครงงานปริญญาตรีมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการและวิจัย, แหล่งที่มา: http://www.irpus.or.th/project_file/2550_2008-07-01_F057_I250A10019_Complete.pdf, 5 กันยายน 2553.

[9] AOAC. "Officical Methods of Analysis" The Association of Official Analytical Chemists 16th ed, Washington D.C., 2000.

[10] FAO, "Manual of Food Control 14/4 I Microbiological analysis", Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1992.

[11] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม, "มาตรฐานผลิตภัณฑ์น้ำพริกผัด (มผช.321/2547)", กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, 2547.

[12] กองโภชนาการ, "ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2546". กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2546.

ทัศนคติ พฤติกรรมและความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ
Attitude, Behavior and Opinion of Consumers towards Krong Krang Krob Product

นางสุธรรมา พิสุทธิโสภณ[1]

[1]*โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร*
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
sutrumma@npru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจทัศนคติ พฤติกรรม และความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ โดยใช้แบบสอบถามกับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่เคยรับประทานครองแครงกรอบ จำนวน 50 คน เก็บข้อมูลที่มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย วิเคราะห์ค่าร้อยละและค่าเฉลี่ย จากผลการสำรวจพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุไม่เกิน 29 ปี สำเร็จการศึกษามัธยมปลายหรือเทียบเท่า อาชีพนักเรียน/นิสิต/นักศึกษา มีรายได้ต่อเดือนน้อยกว่า 5,000 บาท ทุกคนเคยรับประทานครองแครงกรอบ โดยมีความถี่ในการรับประทานนาน ๆ ครั้ง เหตุผลในการรับประทานครองแครงกรอบ คือ ความสะอาด รสชาติอร่อยและสะดวกต่อการบริโภค วัตถุประสงค์ในการซื้อเพื่อรับประทานเอง สถานที่ที่ซื้อครองแครงกรอบ คือ ร้านขายของฝาก ปัญหาที่พบในการรับประทานครองแครงกรอบมากที่สุด คือ เหนียวติดมือ เหนียวติดฟัน หวานมากเกินไป และไม่กรอบ ตามลำดับ ผู้ตอบแบบสอบถามต้องการให้ครองแครงกรอบมีรสหวานลดลงและมีกลิ่นเครื่องเทศมากขึ้น เนื้อสัมผัสไม่เหนียวติดฟัน กรอบร่วน มีรูปร่างเป็นรูปหอยแครงหรือเป็นแผ่นมีลายริ้ว น้ำตาลเคลือบครองแครงมีลักษณะตกทรายเป็นเกล็ดน้ำตาล บรรจุในถุงแก้วใสปิดผนึก ควรใส่งาขาวและพริกไทยดำเพื่อเพิ่มคุณประโยชน์ของครองแครงกรอบ ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบมากที่สุด คือ รสชาติ ความกรอบ ราคา บรรจุภัณฑ์และประโยชน์ต่อสุขภาพ ตามลำดับ

คำสำคัญ: ครองแครงกรอบ, พฤติกรรมผู้บริโภค, ทัศนคติ

Abstract

The objective of this study was to collect attitudes, behaviors and opinions of consumers towards Krong Krang Krob product. This study used questionnaire with simple randomization in each target group of 50 persons who used to consume Krong Krang, at Rajabhat NaKhon Pathom University. Data were analyzed by percentage and mean. Most participants were female, age ≤29 years, graduated high school or equivalent, students, income < 5,000 bath/month. All sample used to rarely consume Krong Krang. The reasons for buying Krong Krang were clean, taste and easy to eat. The objective for buying was to individual eating. Where to buy was souvenir and dessert shop. The problems of consumption were sticky with hand and teeth, too sweet and not crispy, respectively. The desirables for Krong Krang of consumers were slightly sweet, strong spices, not sticky with teeth, soft crispy and shape like blood cockle or undulant spread sheet. Then, it should be coated with sandy sugar and packed in plastic bag. Adding white sesame and black *pepper will be increasing in nutrition. The buying factors of Krong Krang were taste, crispy, price, packaging and health benefit, respectively.*

Keyword: Krong Krang Krob, consumer behaviors, attitude

1. บทนำ

ครองแครงกรอบเป็นขนมขบเคี้ยวที่ทำจากแป้งสาลีหรือแป้งข้าวเจ้า นวดผสมกับน้ำ น้ำตาล ไข่ และกะทิ อาจผสมส่วนประกอบอื่น เช่น ฟักทอง เผือก ด้วยก็ได้ ทำเป็นรูปร่างต่าง ๆ เช่น เกลียว แท่ง แผ่น นำมาทอด และคลุกด้วยน้ำตาลที่ผสมส่วนผสมอื่น ๆ เช่น รากผักชี กระเทียม พริกไทย เกลือหรือน้ำปลา [1] ซึ่งจะเห็นว่าครองแครงกรอบมีส่วนผสมที่สามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องถิ่น วิธีทำไม่ยุ่งยาก อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ไม่มากนักสามารถหาได้ในครัวเรือน เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้อง มีอายุการเก็บนาน และบรรจุในภาชนะได้หลายรูปแบบและหลายขนาดเพื่อดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค สามารถผลิตเพื่อจำหน่ายเป็นรายได้หลักหรือรายได้เสริม ปัจจุบันวิธีการทำครองแครงกรอบมีหลายสูตรทั้งในเอกสาร ตำรา วารสาร และสื่อออนไลน์ต่าง ๆ แต่ละสูตรมีลักษณะของครองแครงกรอบที่แตกต่างกันและผู้บริโภคก็มีความชอบครองแครงกรอบที่แตกต่างกัน และยังไม่มีการศึกษาว่าสูตรใดเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภครวมถึงความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ ในภาวะเศรษฐกิจที่มีการแข่งขันทางการตลาดสูง ผลิตภัณฑ์อาหารที่จะประสบความสำเร็จทางการตลาดนั้นจะต้องสนองตามความต้องการของผู้บริโภค [2] ซึ่งปัจจุบันผู้บริโภคมีความฉลาดรอบรู้มากขึ้น และความภักดีในยี่ห้อลดลง มีการเปรียบเทียบก่อนตัดสินใจซื้อและใช้เหตุผลมากขึ้น มีเวลาว่างน้อยลง ใส่ใจเรื่องสุขภาพมากขึ้นและขนาดของครอบครัวเล็กลง [3] ดังนั้น เพื่อทราบถึงความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ต้องการผลิตเพื่อจำหน่ายหรือผู้ที่ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบเชิงพาณิชย์ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจทัศนคติ พฤติกรรมและความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ

2. วิธีการวิจัย

การสำรวจทัศนคติ พฤติกรรมและความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ โดยใช้แบบสอบถามประกอบด้วย 4 ตอน ดังนี้ ตอน 1 ข้อมูลสถานภาพทั่วไป ตอน 2 ทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภค ตอน 3 ความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ และตอน 4 ความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ แจกแบบสอบถามกับผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่เคยรับประทานครองแครงกรอบ จำนวน 50 คน เก็บข้อมูลที่มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย วิเคราะห์ค่าร้อยละและค่าเฉลี่ย

3. ผลและอภิปรายผล

3.1 ข้อมูลสถานภาพทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

การแจกแบบสอบถามสำหรับผู้บริโภคจำนวน 50 ชุด โดยสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับเพศ อายุ การศึกษา อาชีพ และรายได้ต่อเดือน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลสถานภาพทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 50 คน

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	11	22
หญิง	39	78
อายุ		
ต่ำกว่า 20 ปี	10	20
20–29 ปี	11	22
30–39 ปี	13	26
40–49 ปี	9	18
มากกว่า 49 ปี	7	14
การศึกษา		
มัธยมศึกษาตอนปลายหรือเทียบเท่า	21	42
อนุปริญญาหรือเทียบเท่า	1	2
ปริญญาตรี	16	32
สูงกว่าปริญญาตรี	12	24
อาชีพ		
นักเรียน/นิสิต/นักศึกษา	21	42
รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ	12	24
พนักงานบริษัท	10	20
ธุรกิจส่วนตัว	7	14
รายได้ต่อเดือน		
น้อยกว่า 5,000 บาท	22	44
5,000–10,000 บาท	3	6
10,001–15,000 บาท	9	18
15,001–20,000 บาท	8	16
มากกว่า 20,001 บาท	8	16

จากตารางที่ 1 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบ 50 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 39 คน คิดเป็นร้อยละ 78 และเพศชาย จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 22 ส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาที่มีอายุต่ำกว่า 29 ปี โดยอายุ 20-29 ปี จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 22 อายุต่ำกว่า 20 ปี จำนวน 10 คน และกลุ่มคนทำงาน อายุ 30–39 ปี จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 26 รองลงมาอายุ 40-49 ปี จำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 18 และอายุมากกว่า 49 ปี จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ14 ตามลำดับ ส่วนใหญ่มีการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายหรือเทียบเท่ามากที่สุด จำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 42 รองลงมาระดับปริญญาตรี จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 32 ระดับสูงกว่าปริญญาตรี จำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 24 และระดับอนุปริญญาหรือเทียบเท่า จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 2 มีอาชีพเป็นนักเรียน/นิสิต/นักศึกษามากที่สุด จำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 42 รองลงมาคือ รับราชการและรัฐวิสาหกิจ จำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 24 พนักงานบริษัท จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 20 และธุรกิจส่วนตัว จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 14 ส่วนใหญ่มีรายได้น้อยกว่า 5,000 บาทต่อเดือน จำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 44 รองลงมา คือ รายได้ 10,001–15,000 บาทต่อเดือน จำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 18 รายได้ 15,001–20,000 บาทต่อเดือน จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 16 รายได้มากกว่า 30,000 บาทต่อเดือน จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 16 และรายได้ 5,000–10,000 บาทต่อเดือน จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 6 ตามลำดับ

3.2 ทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคครองแครงกรอบ

การสอบถามข้อมูลด้านทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคครองแครงกรอบ เพื่อทราบข้อมูลด้านการเคยรับประทาน ความถี่ในการรับประทาน เหตุผลที่รับประทาน วัตถุประสงค์ในการซื้อ สถานที่ที่ซื้อ และปัญหาที่พบเมื่อรับประทานครองแครงกรอบ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ทัศนคติและพฤติกรรมการบริโภคครองแครงกรอบ จากผู้บริโภค 50 คน

ข้อมูล	จำนวน	ร้อยละ
1. ท่านเคยรับประทานครองแครงกรอบหรือไม่		
1.1 เคย	50	100
2. ความถี่ในการรับประทานครองแครงกรอบ		
2.1 นาน ๆ ครั้ง	50	100
3. เหตุผลที่ท่านรับประทานครองแครงกรอบ*		
3.1 รสชาติอร่อย	44	88
3.2 มีคุณค่าทางโภชนาการ	36	72
3.3 มีหลายรสให้เลือก	29	58
3.4 สะดวกต่อการบริโภค	44	88
3.5 ความสะอาด	46	92
4. ส่วนใหญ่ท่านซื้อครองแครงกรอบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่ออะไร		
4.1 รับประทานเอง	40	80
4.2 เป็นของฝาก	10	20
5. สถานที่ที่ท่านซื้อครองแครงกรอบ*		
5.1 ซุปเปอร์มาเก็ต	10	20
5.2 ร้านขายของฝาก	50	100
5.3 ร้านสะดวกซื้อ	21	42
5.4 ร้านขายของชำ	10	20
6. ปัญหาที่ท่านพบเมื่อรับประทานครองแครงกรอบ*		
6.1 เหนียวติดฟัน	44	88
6.2 หวานมากเกินไป	40	80
6.3 มีกลิ่นหืน	12	24
6.4 ไม่กรอบ	39	78
6.5 เนื้อสัมผัสแข็ง	10	20
6.6 กลิ่นรสเครื่องเทศแรงเกินไป	3	6
6.7 กลิ่นรสเครื่องเทศน้อยเกินไป	35	70
6.8 เหนียวติดมือ	41	82
6.9 อมน้ำมัน	8	16

* เลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ

จากตารางที่ 2 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 50 คน เคยรับประทานครองแครงกรอบทุกคน คิดเป็นร้อยละ 100 โดยทุกคนมีความถี่ในการรับประทานครองแครงกรอบนาน ๆ ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100 ส่วนใหญ่เหตุผลที่รับประทานครองแครงกรอบเนื่องจากความสะอาด จำนวน 46 คน คิดเป็นร้อยละ 92 รสชาติอร่อยและสะดวกต่อการบริโภค จำนวน 44 คน คิดเป็นร้อยละ 88 มีคุณค่าทางโภชนาการ จำนวน 36 คน คิดเป็นร้อยละ 72 และมีหลายรสให้เลือก จำนวน 29 คน คิดเป็นร้อยละ 58 ตามลำดับ ส่วนใหญ่ซื้อครองแครงกรอบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรับประทานเอง จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 80 และเป็นของฝาก จำนวน 10

คิดเป็นร้อยละ 20 สถานที่ที่ซื้อครองแครงกรอบส่วนใหญ่ คือ ร้านขายของฝาก จำนวน 50 คน คิดเป็นร้อยละ 100 รองลงมา คือ ร้านสะดวกซื้อ จำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 42 ซุปเปอร์มาเก็ต จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 20 และร้านขายของชำ 10 คน คิดเป็นร้อยละ 20 ตามลำดับ ปัญหาที่พบเมื่อรับประทานครองแครงกรอบส่วนใหญ่ คือ เหนียวติดฟัน จำนวน 44 คน คิดเป็นร้อยละ 88 เหนียวติดมือ จำนวน 41 คน คิดเป็นร้อยละ 82 หวานมากเกินไป จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 80 ไม่กรอบ จำนวน 39 คน คิดเป็นร้อยละ 78 กลิ่นรสเครื่องเทศน้อยเกินไป จำนวน 35 คน คิดเป็นร้อยละ 70 มีกลิ่นเหม็นหืน จำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 24 เนื้อสัมผัสแข็ง จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 20 อมน้ำมัน จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 16 และกลิ่นรสเครื่องเทศแรงเกินไป จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 6 ตามลำดับ

3.3 ความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ

การสอบถามข้อมูลด้านความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ โดยสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของผู้บริโภคด้านรสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส รูปร่าง ลักษณะของน้ำตาลเคลือบ รูปแบบของภาชนะบรรจุ การเพิ่มคุณประโยชน์ และการตัดสินใจซื้อ/ไม่ซื้อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบหลังจากพัฒนาผลิตภัณฑ์แล้ว ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ จำนวน 50 คน

ข้อมูล	จำนวน	ร้อยละ
1. ท่านต้องการให้ครองแครงกรอบมีรสชาติอย่างไร*		
1.1 มีรสหวานลดลง	45	90
1.2 มีกลิ่นเครื่องเทศมากขึ้น	29	58
1.3 มีกลิ่นเครื่องเทศลดลง	3	6
2. ท่านต้องการให้ครองแครงกรอบมีลักษณะเนื้อสัมผัสอย่างไร*		
2.1 ไม่เหนียวติดฟัน	50	100
2.2 กรอบร่วน	39	78
2.3 กรอบแข็ง	10	20
3. ท่านต้องการให้ครองแครงกรอบมีรูปร่างอย่างไร		
3.1 รูปหอยแครง	18	36
3.2 เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีลายริ้ว	15	30
3.3 เป็นแผ่นกลมแบนมีลายริ้ว	17	34
4. ท่านต้องการให้น้ำตาลเคลือบครองแครงกรอบมีลักษณะใด		
4.1 ตกทรายเป็นเกล็ดน้ำตาล	40	80
4.2 เป็นมันวาวไม่เหนียวติดมือ	10	20
5. ภาชนะบรรจุครองแครงกรอบรูปแบบใดที่ท่านต้องการ		
5.1 ถุงแก้วใสปิดผนึก	25	50
5.2 กล่องพลาสติกใสมีฝา	15	30
5.3 ถุงแก้วใสปิดผนึกแล้วใส่ในกล่องกระดาษ	10	20

ตารางที่ 3 ความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ จำนวน 50 คน (ต่อ)

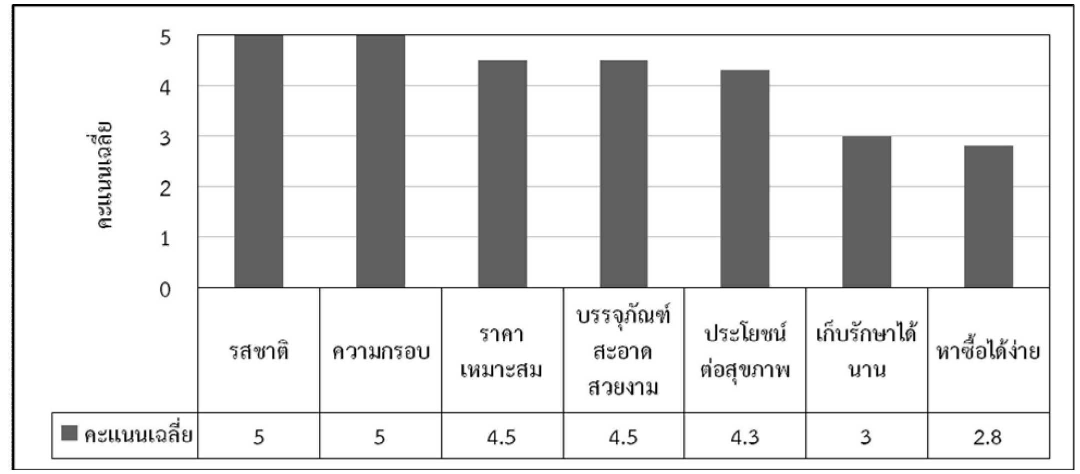
ข้อมูล	จำนวน	ร้อยละ
6. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบเพื่อเพิ่มคุณประโยชน์ ท่านคิดว่าควรใส่ข้อใดเพิ่มลงไปในสูตร (โดยเลือกเพียง 3 ชนิดเท่านั้น)		
6.1 เม็ดมะม่วงหิมพานต์	17	34
6.2 พริกไทยดำ	33	66
6.3 อัลมอนด์	15	30
6.4 งาขาว	48	96
6.5 ถั่วลิสง	10	20
6.6 งาดำ	26	52
6.7 ขมิ้น	1	2
7. ถ้ามีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบแล้ว ท่านคิดว่าจะซื้อหรือไม่อย่างไร		
7.1 ซื้อ	49	98
7.2 ไม่แน่ใจ เพราะยังไม่เห็นผลิตภัณฑ์	1	2

* เลือกตอบได้มากกว่า 1 ข้อ

จากตารางที่ 3 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 50 คน ส่วนใหญ่ต้องการให้ครองแครงกรอบมีรสหวานลดลง จำนวน 45 คน คิดเป็นร้อยละ 90 มีกลิ่นเครื่องเทศมากขึ้น จำนวน 29 คน คิดเป็นร้อยละ 58 และมีกลิ่นเครื่องเทศลดลง จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 6 ผู้ตอบแบบสอบถามทุกคนต้องการให้ครองแครงกรอบมีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เหนียวติดฟัน คิดเป็นร้อยละ 100 รองลงมา คือ เนื้อสัมผัสกรอบร่วน จำนวน 39 คน คิดเป็นร้อยละ 78 และเนื้อสัมสักรอบแข็ง จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 20 ตามลำดับ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ต้องการให้ครองแครงกรอบมีลักษณะรูปร่างเป็นรูปหอยแครง จำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ 36 รูปร่างเป็นแผ่นกลมแบนมีลายริ้ว จำนวน 17 คน คิดเป็นร้อยละ 34 และรูปร่างเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีลายริ้ว จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 30 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ต้องการให้น้ำตาลเคลือบครองแครงกรอบมีลักษณะตกทรายเป็นเกล็ดน้ำตาล จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 80 รองลงมาคือ ลักษณะเป็นมันวาวไม่เหนียวติดมือ จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 20 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ต้องการให้ภาชนะบรรจุครองแครงกรอบเป็นถุงแก้วใสปิดผนึก จำนวน 25 คน คิดเป็นร้อยละ 50 เป็นกล่องพลาสติกใสมีฝา จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 30 และถุงแก้วใสปิดผนึกแล้วใส่ในกล่องกระดาษ จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 20 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบเพื่อเพิ่มคุณประโยชน์ผู้ตอบแบบสอบถามคิดว่าควรใส่งาขาว จำนวน 48 คน คิดเป็นร้อยละ 96 พริกไทยดำ จำนวน 33 คน คิดเป็นร้อยละ 66 งาดำ จำนวน 26 คน คิดเป็นร้อยละ 52 เม็ดมะม่วงหิมพานต์ จำนวน 17 คน คิดเป็นร้อยละ 34 อัลมอนด์ จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 30 ถั่วลิสง จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 20 และขมิ้น จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 2 ตามลำดับ ถ้ามีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบแล้ว ผู้ตอบแบบสอบถามคิดว่าจะซื้อ จำนวน 49 คน คิดเป็นร้อยละ 98 และไม่แน่ใจเพราะยังไม่เห็นผลิตภัณฑ์ จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 2

3.4 ความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ

การสอบถามความคิดเห็นด้านความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบมีดังนี้ รสชาติ ความกรอบ ประโยชน์ต่อสุขภาพ หาซื้อได้ง่าย ราคาเหมาะสม บรรจุภัณฑ์สวยงาม เก็บรักษาได้นาน ผลการสอบถามมีรายละเอียดตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ

หมายเหตุ ความหมายของคะแนนเฉลี่ย 1.00-1.80 หมายถึง มีความสำคัญน้อยที่สุด

1.81-2.60 หมายถึง มีความสำคัญน้อย

2.61-3.40 หมายถึง มีความสำคัญปานกลาง

3.41-4.20 หมายถึง มีความสำคัญมาก

4.21-5.00 หมายถึง มีความสำคัญมากที่สุด

จากภาพที่ 4 ความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ พบว่า ปัจจัยที่ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญในระดับมากที่สุด ได้แก่ รสชาติ ความกรอบ ราคาเหมาะสม บรรจุภัณฑ์สะอาดสวยงาม และประโยชน์ต่อสุขภาพตามลำดับ ปัจจัยที่ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญในระดับปานกลาง คือ เก็บรักษาได้นานและหาซื้อได้ง่าย สอดคล้องกับ วราลักษณ์ เขียววาท [4] พบว่า ปัจจัยทางการตลาดที่มีผลต่อพฤติกรรมการซื้อขนมขบเคี้ยวมันฝรั่งทอดกรอบของผู้บริโภคในระดับสำคัญมากที่สุด คือ สินค้าที่สะอาด ปลอดภัยต่อการบริโภค และราคาเหมาะสมกับคุณภาพ

4. บทสรุป

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุไม่เกิน 29 ปี สำเร็จการศึกษามัธยมปลายหรือเทียบเท่า อาชีพนักเรียน/นิสิต/นักศึกษา มีรายได้ต่อเดือนน้อยกว่า 5,000 บาท ผู้ตอบแบบสอบถามทุกคนเคยรับประทานครองแครงกรอบ โดยมีความถี่ในการรับประทานนาน ๆ ครั้ง เหตุผลในการรับประทานครองแครงกรอบ คือ ความสะอาด รสชาติอร่อยและสะดวกต่อการบริโภค ส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์ในการซื้อเพื่อรับประทานเอง สถานที่ที่ซื้อครองแครงกรอบส่วนใหญ่ คือ ร้านขายของฝาก ปัญหาที่พบในการรับประทานครองแครงกรอบมากที่สุด คือ เหนียวติดมือ เหนียวติดฟัน หวานมากเกินไป และไม่กรอบ ตามลำดับ ผู้ตอบแบบสอบถามต้องการให้ครองแครงกรอบมีรสหวานลดลงและมีกลิ่นเครื่องเทศมากขึ้น มีเนื้อสัมผัสไม่เหนียวติดฟัน กรอบร่วน มีรูปร่างเป็นรูปหอยแครงหรือเป็นแผ่นมีลายริ้ว น้ำตาลเคลือบครองแครงมีลักษณะตกทรายเป็นเกล็ดน้ำตาล บรรจุในถุงแก้วใสปิดผนึก ควรใส่งาขาวและพริกไทยดำเพื่อเพิ่มคุณประโยชน์ของครองแครงกรอบ ถ้ามีการพัฒนาผลิตภัณฑ์แล้วผู้ตอบแบบสอบถามคิดว่าจะซื้อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบ ปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบมากที่สุด คือ รสชาติ ความกรอบ ราคาเหมาะสม บรรจุภัณฑ์สะอาดสวยงามและประโยชน์ต่อสุขภาพ จากผลการสำรวจดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะผลิตครองแครงกรอบเพื่อจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ดังนี้ ผู้ผลิตควรผลิตครองแครงกรอบที่มีรูปร่างเป็นรูปหอยแครงหรือเป็นแผ่นมีลายริ้ว มีเนื้อสัมผัสกรอบร่วนและรสชาติไม่หวานมากเกินไป มีกลิ่นเครื่องเทศ น้ำตาลเคลือบครองแครงควรมีลักษณะตกทรายเป็นเกล็ดน้ำตาล ซึ่งอาจมีการใส่งาขาวและพริกไทยดำเพื่อเพิ่มคุณประโยชน์ ครองแครงกรอบควรบรรจุในถุงแก้วใสปิดผนึกหรือภาชนะบรรจุที่รักษาความกรอบของผลิตภัณฑ์ได้ ทั้งนี้ภาชนะบรรจุต้องสะอาดสวยงาม และผลิตภัณฑ์ครองแครงกรอบต้องมีราคาที่เหมาะสม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์วิรัติ จันทรทรัพย์ และอาจารย์ ดร.วันเพ็ญ แสงทองพินิจ ที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, **“มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนครองแครงกรอบ มผช. 267-2547”,** กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547.

[2] สมใจ บุญทานนท์, “หลักการตลาด”, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 2552.

[3] สุภาภรณ์ พลนิกร, “พฤติกรรมการบริโภค”, กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

[4] วราลักษณ์ เขียววาท, “พฤติกรรมการซื้อขนมขบเคี้ยวมันฝรั่งทอดกรอบของผู้บริโภคในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่”, การค้นคว้าแบบอิสระบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2544.

โต๊ะจีนนครปฐม

“Toh Chine” of Nakhon Pathom Province

อารีย์ อินทร์นวล[1]และ สุมาลี เทพสุวรรณ[2]

[1]โครงการจัดตั้งสายวิชาจุลชีววิทยา 1

คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (กำแพงแสน) 1

faasare@ku.ac.th 1

[2]นักวิชาการอิสระ อดีตรองศาสตราจารย์ 2

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 2

sumalee0707@gmail.com 2

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อ 1) ศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่ออาหารและการให้บริการของผู้ประกอบการโต๊ะจีน และ 2) เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในอาหารโต๊ะจีน จากการกำหนดโควตาจำนวนผู้ประกอบการ 60 ราย เพื่อเก็บตัวอย่างอาหารและสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภค จากผลการสอบถามเกี่ยวกับความพึงพอใจที่มีต่ออาหารและการให้บริการของผู้ประกอบการโต๊ะจีน จากเจ้าภาพจัดงานเลี้ยงจำนวน 46 งานเลี้ยงและผู้รับประทานอาหารจำนวน 2,845 ราย พบว่า เจ้าภาพจัดงานเลี้ยงและผู้รับประทานอาหารมีความพึงพอใจต่ออุปกรณ์บนโต๊ะอาหารมากที่สุด รองลงไปเป็นอาหารและการบริการของพนักงานเสิร์ฟ เมื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจที่มีต่ออาหารและการให้บริการของผู้ประกอบการโต๊ะจีนระหว่างผู้ประกอบการที่ได้รับการรับรองมาตรฐานโต๊ะจีนและยังไม่ได้รับการรับรองมาตรฐานโต๊ะจีนพบว่า เจ้าภาพจัดงานเลี้ยงและผู้ที่มารับประทานอาหารมีความพึงพอใจไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05) และจากผลการเก็บตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 602 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์การปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ พบว่ามีการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์รวมทั้งหมดเกินค่ามาตรฐานคิดเป็นร้อยละ 9.79 และพบการปนเปื้อนจาก *Escherichia coli* เกินค่ามาตรฐาน 18 ตัวอย่างจากทั้งหมด 92 ตัวอย่างหรือคิดเป็นร้อยละ 19.56 นอกจากนั้นพบการปนเปื้อนจาก *Salmonella* spp. คิดเป็นร้อยละ 9.09 และพบการปนเปื้อนของยีสต์และราที่ระดับมากกว่า 10^4 CFU/g คิดเป็นร้อยละ 8.50 ตามลำดับ การปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ก่อโรคพบในอาหารที่ได้รับความร้อนในระดับต่ำ หรือได้รับความร้อนไม่ทั่วถึง เช่น อาหารประเภทยำ ในขณะที่ไม่พบการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ก่อโรคในอาหารที่เสิร์ฟขณะร้อน ผลจากงานวิจัยทำให้ทราบว่าผู้ประกอบการโต๊ะจีนและพนักงานเสิร์ฟจำเป็นต้องได้รับการอบรมเกี่ยวกับสุขอนามัยที่ดีในการเตรียมปรุงอาหาร

คำสำคัญ: โต๊ะจีน อาหารปลอดภัย ความพึงพอใจของผู้บริโภค การให้บริการ

Abstract

Objectives of this research were: 1) to study the satisfaction of the food quality and services of Toh Chine and 2) to study food safety concerning microorganism contamination. Sixty entrepreneurs, in proportion to number of certified and non-certified entrepreneurs in each district of Nakhon Pathom Province, were selected to determine microorganism contamination. Forty six hosts and 2,845 were interviewed to evaluate customer satisfaction of food and services. There was no significant difference ($p < 0.05$) for the host and customer satisfaction of food and services between certified and non-certified entrepreneurs. A total of 602 samples were examined in order to assess the microbiological quality. The result showed that 9.79 % samples were found to exceed the standard criteria of total plate counts for ready-to-eat food. Eighteen samples from 92 samples (19.56%) were found to exceed the standard criteria of *Escherichia coli*. There were 9.09% samples contaminated from *Salmonella* spp. and 8.5% contaminated from yeast and mold more than 10^4 CFU/g. The foodborne pathogens were found in improper cooking such as spicy dish. While no foodborne pathogen was

found in food that is served hot. The research shows that the entrepreneurs and waiter need to be trained on good hygiene in preparing and cooking food.

Keyword: Toh chine, Food Safety, Customer Satisfaction, Services

1. บทนำ

นครปฐมเป็นจังหวัดที่มีชื่อเสียงในการจำหน่ายและให้บริการอาหารโต๊ะจีนสำหรับงานเลี้ยงมากที่สุดของประเทศไทย โต๊ะจีนของจังหวัดนครปฐมนอกจากจะให้บริการได้ครอบคลุมทุกจังหวัดทั่วประเทศแล้ว ยังให้บริการไปถึงประเทศเพื่อนบ้าน เช่น พม่า ลาว และกัมพูชาอีกด้วย ในขบวนการประกอบการโต๊ะจีน ผู้ประกอบการจะหาซื้อวัตถุดิบตามชนิดอาหารตามที่ลูกค้าสั่ง โดยเน้นคุณภาพมาจัดเตรียมอาหารเพียงบางส่วนที่บ้านหรือสถานประกอบการแล้วขนส่งไปยังสถานที่จัดเลี้ยงก่อนปรุงสุกอีกครั้งเพื่อพร้อมให้บริการในสภาพอาหารที่ปรุงสุกใหม่ที่ละเมนูตามที่ลูกค้าเลือก ลูกค้าจะได้รับทั้งอาหารรวมกับการบริการจัดโต๊ะ อุปกรณ์ในการรับประทานอาหาร รวมทั้งบริการเสิร์ฟจากพนักงาน เมื่องานเลี้ยงสิ้นสุดลงผู้ประกอบการจะเก็บล้างภาชนะกลับ นับว่าเป็นความสะดวกสบายสำหรับเจ้าภาพจัดงานเลี้ยงเป็นอย่างมาก จังหวัดนครปฐมมีผู้ประกอบการโต๊ะจีนจำนวนทั้งสิ้นเกือบ 200 ราย ในจำนวนนี้มีเพียง 40 ราย ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานโต๊ะจีนจากสำนักงาสาธารณสุขจังหวัดนครปฐม โต๊ะจีนทำรายได้ให้จังหวัดนครปฐมปีละไม่ต่ำกว่า 1,000 ล้านบาท การประกอบการโต๊ะจีนจึงเทียบได้กับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ที่สำคัญของจังหวัดนครปฐม [2] การผลิตอาหารโต๊ะจีนที่มีคุณภาพและมีความสะอาดได้มาตรฐานเป็นยุทธศาสตร์ของจังหวัดนครปฐม อย่างไรก็ตามยังเป็นที่สงสัยสำหรับผู้รับบริการอาหารโต๊ะจีนหรือผู้บริโภค รวมทั้งผู้ที่สนใจจะรับบริการอาหารโต๊ะจีนในอนาคตว่าการให้บริการอาหารโต๊ะจีนในลักษณะนี้ของผู้ประกอบการจะมีความปลอดภัยในการบริโภคมากน้อยเพียงใด และการให้บริการดังกล่าวของผู้ประกอบการจะเป็นที่น่าพึงพอใจมากน้อยเพียงใด ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาและวิจัยเพื่อให้ทราบความจริงต่อข้อสงสัยดังกล่าว

2. วิธีการทดลอง

2.1 การศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภค

ผู้บริโภคแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ เจ้าภาพจัดงานเลี้ยงและผู้รับประทานอาหาร ใช้วิธีการเก็บข้อมูลโดยแบบสอบถาม

2.2 การวิเคราะห์ทางด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยวิธี Conventional Plate Count Method การวิเคราะห์ *Salmonella* spp. ตามวิธีของ ISO 6579 และการวิเคราะห์หาปริมาณ Yeast & Mold ด้วยวิธี Spread Plate Method

3. ผลการวิจัย

3.1 ความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่ออาหาร อุปกรณ์การรับประทานอาหาร และการบริการของพนักงานเสิร์ฟ

ความพึงพอใจของเจ้าภาพจัดงานเลี้ยง การสอบถามเจ้าภาพจัดงานเลี้ยง 46 งาน เป็นงานเลี้ยงที่สั่งจากผู้ประกอบการโต๊ะจีนที่ได้รับรองมาตรฐาน 9 ราย และยังไม่ได้รับรองมาตรฐาน 37 ราย พบว่าเจ้าภาพจัดงานเลี้ยงมีความพึงพอใจต่ออาหาร อุปกรณ์บนโต๊ะอาหาร และการบริการของพนักงานเสิร์ฟอาหารจากผู้ประกอบการที่ยังไม่ได้รับการรับรองมาตรฐานมากกว่าผู้ประกอบการที่ได้รับการรับรองมาตรฐานแล้ว แต่ความแตกต่างของความพึงพอใจดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณารายละเอียดพบว่ามีความพึงพอใจต่อการจัดโต๊ะอาหารรวมทั้งอุปกรณ์ในการรับประทานอาหารสูงสุดเฉลี่ย 4.16 คะแนนจากคะแนนเต็ม 5 คะแนน รองลงไปเป็นอาหารเฉลี่ย 4.12 คะแนน ส่วนการบริการของพนักงานเสิร์ฟได้รับความพึงพอใจน้อยที่สุด เฉลี่ย 3.94 คะแนน

ความพึงพอใจของแขกที่มารับประทานอาหาร แขกที่รับประทานอาหาร 2,845 ราย ที่รับประทานอาหารจาก 80 งานเลี้ยง ของผู้ประกอบการโต๊ะจีนจำนวน 69 รายของจังหวัดนครปฐม เป็นผู้ประกอบการที่ได้รับรองมาตรฐานโต๊ะจีนแล้วจำนวน 24 ราย และยังไม่ได้รับรองมาตรฐานจำนวน 45 ราย จากทั้ง 7 อำเภอของจังหวัดนครปฐม พบว่าแขกที่มารับประทานอาหารมีความพึงพอใจในลักษณะเดียวกับเจ้าภาพจัดงานเลี้ยง คือ พึงพอใจต่ออุปกรณ์บนโต๊ะอาหารมากที่สุด 3.65

คะแนนรองลงไปเป็นอาหาร 3.52 คะแนน และการบริการของพนักงานเสิร์ฟ 3.4 คะแนน ตามลำดับ สำหรับความพึงพอใจที่มีต่อผู้ประกอบการโต๊ะจีนที่ได้รับการรับรองมาตรฐานแล้วและยังไม่ได้รับการรับรองมาตรฐานจากผู้ที่มารับประทานอาหารนั้นพบว่าผู้รับประทานอาหารมีความพึงพอใจต่อผู้ประกอบการที่ได้รับการรับรองมาตรฐานแล้วมากกว่าผู้ประกอบการที่ยังไม่ได้รับการรับรองมาตรฐานแต่ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.2 ความต้องการให้มีการปรับปรุงคุณภาพอาหารและการให้บริการของผู้ประกอบการโต๊ะจีนของจังหวัดนครปฐม

นอกจากการวิจัยเพื่อให้ได้ทราบความจริงต่อข้อสงสัยของผู้วิจัยทั้งหมดแล้ว ผู้วิจัยยังได้ขอให้ผู้รับประทานอาหารได้ให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงคุณภาพอาหารและการบริการแก่ผู้ประกอบการโต๊ะจีน เพื่อให้ผู้ประกอบการโต๊ะจีนได้นำไปพิจารณาพัฒนาปรับปรุงการประกอบการของตนให้ดียิ่งขึ้น เป็นการสนองตอบต่อความต้องการของลูกค้า อันจะเป็นการสร้างความยั่งยืนให้แก่การประกอบการโต๊ะจีนยิ่งขึ้นในอนาคต ซึ่งผู้รับประทานอาหารก็ได้ให้ข้อเสนอแนะไว้ดังนี้

ด้านอาหาร หมายรวมถึงวัตถุดิบด้วย ต้องการให้มีความสดใหม่ ไม่มีกลิ่น หรือ คาว หรือเหม็นหืน โดยเฉพาะเนื้อสัตว์ ปลา กุ้ง ปู กระเพาะปลา เกาลัด ต้องการให้ใช้ผักปลอดสารพิษในการประกอบอาหาร ใช้ฝีมือในการประกอบอาหารแทนการใช้ผงชูรสและสารปรุงรส ใช้พลาสติกห่อหุ้มอาหารกันแมลงวันและฝุ่น รวมทั้งน้ำจิ้มหลากหลายชนิดที่วางอยู่บนโต๊ะอาหาร ผู้ปรุงอาหารควรสวมหมวก เพื่อป้องกันผมร่วงใส่อาหาร ให้มีหน่วยควบคุมคุณภาพอาหารก่อนให้บริการ

อุปกรณ์บนโต๊ะอาหา ผู้รับประทานอาหารต้องการช้อนกลาง รวมทั้งความครบถ้วนและพอเพียงของส่วนอื่นๆ ได้แก่ กระดาษเช็ดปาก น้ำจิ้มต่างๆ ให้มีความสะอาดทั้งผ้าปูโต๊ะ ผ้าคลุมเก้าอี้ ถ้วย ชาม แก้วน้ำ ตะเกียบ ช้อน ฯลฯ ไม่ให้มีฝุ่นหรือคราบ ไม่เก่า ไม่ชำรุด แตก หัก ควรมีที่ใส่เศษอาหารบนโต๊ะจะทำให้โต๊ะรับประทานอาหารดูสะอาด

พนักงานเสิร์ฟอาหาร ให้มีแบบฟอร์มที่ชัดเจน ไม่สวมกางเกงยีนส์ รองเท้าแตะ แต่งกายสะอาด มีสีสัน อาจมีหลายชุดตามฤดูกาล ให้เหมาะสมกับงานและสถานที่ ชุดของพนักงานเสิร์ฟไม่ควรผูกเนคไท ถ้าต้องการผูกเนคไทควรให้ยาวลงไปถ้าสั้นจะจุ่มลงในอาหารเวลาก้มเสิร์ฟ ตัดผม ตัดเล็บ โกนหนวดเครา ไม่สูบบุหรี่ขณะยกอาหาร พนักงานเสิร์ฟหญิงสวมหมวกคลุมผมเพื่อกันผมร่วงใส่อาหาร ไม่ไว้เล็บยาว มีใจรักการบริการ ผ่านการอบรมจากหน่วยงานหรือสถาบันที่มีมาตรฐาน ควรมีผ้าปิดปากป้องกันน้ำลายและลมหายใจ โดยเฉพาะในช่วงที่มีการระบาดของไข้หวัด 2009

อื่นๆ ได้แก่ ควรมีเมนูอาหาร จะได้ทราบว่าอาหารแต่ละชนิดมีชื่อเรียกว่าอะไร หรือให้พนักงานเสิร์ฟแนะนำเมนูอาหาร จะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการรับประทานอาหาร นอกจากนี้ยังต้องการให้มีบริการถุงพลาสติกบรรจุอาหารสำหรับใส่อาหารที่เหลือกลับบ้านด้วย

ข้อเสนอแนะทั้งหมดนี้ผู้ประกอบการโต๊ะจีนอาจจะไม่สามารถปฏิบัติตามได้ทั้งหมด แต่ถ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงบ้างก็จะก่อประโยชน์แก่ทั้งผู้ประกอบการและผู้รับประทานอาหาร

3.3 การปนเปื้อนอาหารทางจุลินทรีย์

จากการสำรวจเบื้องต้นพบว่า รายการอาหารยอดนิยมหรือรายการอาหารส่วนใหญ่ที่พบได้ทั่วไปในการบริการโต๊ะจีน 10 อันดับแรก ได้แก่

1. จานเย็นหรือออร์เดิฟ ซึ่งมักจะประกอบไปด้วย หมูแผ่น ไข่เยี่ยวม้า ถั่วทอด/เม็ดมะม่วงหิมะพานต์ ขนมจีบ ไส้กรอก/หมูแฮม และปลาทิพย์ทอด เป็นต้น อย่างไรก็ตามในระยะหลังมีรายการติ่มซำ หรือกะทะร้อน (เป็นผลิตภัณฑ์ซูริมิแปรรูป เช่น ลูกชิ้นต่างๆ ก้ามปูเทียม กุ้งพันสาหร่าย เป็นต้น) เริ่มได้รับความนิยมจากผู้บริโภคกันมากขึ้น
2. กระเพาะปลา หรือ หูฉลามสำหรับการบริการโต๊ะจีนที่มีราคาแพง
3. กุ้งอบวุ้นเส้น

4. ข้าวผัด หรือ หมี่ผัด

5. ยำต่างๆ เช่น ยำสามกรอบ ลาบ เป็นต้น

6. หม้อไฟ ส่วนมากมักเป็นต้มยำ แกงจืด หรือพวกตุ๋นเครื่องยาจีนต่างๆ

7. ปลานึ่งมะนาว ส่วนมากจะใช้ ปลาทับทิม ปลากระพง หรือปลาแรด เป็นต้น

8. ขาหมูทอด หรือขาหมูน้ำแดง

9. สลัดผักกุ้งทอดราดน้ำมายองเนส

10. เต้าหู้นมสด หรือข้าวเหนียวแปะก๊วย เป็นอาหารหวานที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน

จากรายการอาหารข้างต้นที่มักพบได้ทั่วไปบนโต๊ะจีน จึงสามารถจัดกลุ่มอาหารได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ตามระดับการให้ความร้อนซึ่งจะสัมพันธ์กับอัตราการอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหารที่อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภคดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กลุ่มอาหารจัดจำแนกตามระดับการให้ความร้อน

กลุ่มที่	ระดับการให้ความร้อน	ตัวอย่างอาหาร
1	อาหารที่ผ่านความร้อนอย่างทั่วถึง	อาหารต้มตุ๋นต่างๆ อาหารประเภททอด รวมถึงอาหารที่นิยมบรรจุในภาชนะหม้อไฟ
2	อาหารที่ผ่านความร้อนในระดับปานกลาง	ข้าวผัด หมี่ผัด และอาหารประเภทนึ่ง
3	อาหารที่ผ่านความร้อนเพียงเล็กน้อยหรือไม่ผ่านความร้อน	ยำต่างๆ สลัดผัก และของหวานกลุ่มเต้าหู้นมสด

ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ในอาหารโต๊ะจีนแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างอาหารโต๊ะจีนทางด้านจุลินทรีย์

ลำดับ	รายการตรวจวิเคราะห์	ผลการตรวจวิเคราะห์		คิดเป็นร้อยละ
		จำนวนตัวอย่าง	ตกมาตรฐาน	
1	ปริมาณจุลินทรีย์รวมทั้งหมด	470	46	9.79
2	*Escherichia coli*	92	18	19.56
3	*Salmonella* spp.	121	11	9.09
4	Yeast & Mold	118	-	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 7.28

ปริมาณจุลินทรีย์รวม จากตัวอย่างที่เก็บทั้งหมด 470 ตัวอย่าง พบตัวอย่างที่มีปริมาณจุลินทรีย์รวมเกินค่ามาตรฐาน (มากกว่า 1.0×10^{6} CFU/g) จำนวน 46 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 9.79 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด เมนูของอาหารที่พบมากได้แก่ ออร์เดิฟ เป็ด/ไก่สับ ข้าวผัด/หมี่ผัด สี่สีไส้มังกร/หอยจ๊อ เต้าหู้นมสด สลัดผัก และยำ ตามลำดับ การที่

เมนูอาหารเหล่านี้พบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์รวมในปริมาณที่มากกว่าเมนูอื่นๆ เนื่องจากเมนูอื่นๆ ของอาหารโต๊ะจีนเป็นเมนูต้ม ตุ๋น นึ่ง ที่ใช้ความร้อนสูงและเสิร์ฟรับประทานทันที ในขณะที่เมนูเหล่านี้บางเมนูก็ไม่ผ่านความร้อน หรือถ้าเป็นเมนูที่ผ่านความร้อนมาแล้วก็ถูกทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลานาน หรือรอเวลาเสิร์ฟ จนเกิดการปนเปื้อนจุลินทรีย์จากอากาศและสภาพแวดล้อมขึ้นมาใหม่ [3]

ปริมาณ *Escherichia coli (E. coli)* ในจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 92 ตัวอย่างที่ส่งไปวิเคราะห์หาการปนเปื้อนของ *E.coli* ได้พบการปนเปื้อนที่เกินค่ามาตรฐาน (ไม่เกิน 3 MPN/g) จำนวน 18 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 19.56 ของจำนวนทั้งหมด เมนูอาหารที่พบจุลินทรีย์ชนิดนี้ได้แก่ เป็ด/ไก่สับ ยำ ปลา/กุ้งสามรส ต้มยำ ข้าวผัด/หมี่ผัด สี่สีไส้มังกร/หอยจ๊อ ผัดเอ็นหมูและเป็ดยัดไส้เป็นต้น การพบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดนี้แสดงให้เห็นถึงความบกพร่องของลักษณะสุขอนามัยของผู้สัมผัสอาหารหรือผู้ปรุงและพนักงานเสิร์ฟอาหารหลายลักษณะ เช่น การเข้าห้องน้ำ/ห้องส้วมแล้วไม่ล้างมือหรือไม่ล้างมือให้สะอาดก่อนการปรุงอาหาร ภาชนะประกอบอาหารไม่สะอาดพอ หรือวัตถุดิบในการปรุงอาหารมีการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม [5]

ปริมาณ *Salmonella* spp. ในจำนวนตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 121 ตัวอย่าง พบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ซัลโมเนลลาทีมีค่าเกินมาตรฐาน จำนวน 11 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 9.09 ซึ่งกฎหมายกำหนดไว้ว่าต้องไม่พบซัลโมเนลลาจากตัวอย่างอาหารที่ทำการสุ่มมาจำนวน 25 กรัม [1] รายการอาหารที่พบจุลินทรีย์ชนิดนี้ได้แก่ ยำ เป็ด/ไก่สับ ข้าวผัด/หมี่ผัด และเต้าหู้นมสด ซึ่งเป็นอาหารที่ไม่ผ่านความร้อนหรือใช้ความร้อนไม่ดีพอหรือไม่ทั่วถึงเพราะ *Salmonella* สามารถทำลายได้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส [4]

ยีสต์และรา (Yeast and Mold) จำนวนตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์หายีสต์และราทั้งหมด 118 ตัวอย่างพบการปนเปื้อนจากจากยีสต์และราในปริมาณ 10^{2} ถึง 10^{3} CFU/g คิดเป็นร้อยละ59.35 กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานยีสต์ไว้ที่น้อยกว่า 1×10^{4} CFU/g และราน้อยกว่า 500 CFU/g ในขณะที่ผู้วิจัยไม่ได้แยกวิเคราะห์การปนเปื้อนของยีสต์และราจึงไม่อาจบอกได้ว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานมากน้อยเพียงใด อย่างไรก็ตามก็ได้พบว่าจำนวนตัวอย่างไม่น้อยกว่าร้อยละ 7.28 เป็นการปนเปื้อนของยีสต์และราในผักสลัด แสดงให้เห็นว่ายังมีการล้างผักสลัดได้ไม่สะอาดพอและเก็บรักษาได้ไม่ดี ทั้งสลัดผักเป็นอาหารชนิดที่ไม่ผ่านความร้อน

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, "ความรู้เกี่ยวกับสารเคมี/จุลินทรีย์ในอาหารในโครงการอาหารปลอดภัย Food Safety", กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ, 14 หน้า, 2549.

[2] กลุ่มงานคุ้มครองผู้บริโภค, "โต๊ะจีนนครปฐม", สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครปฐม, นครปฐม, 32 หน้า, มปป.

[3] กองสุขาภิบาลอาหาร สำนักอนามัย, "คู่มือหลักสูตรการสุขาภิบาลอาหารของกรุงเทพมหานคร", โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ, กรุงเทพฯ 2552.

[4] บุษกร อุตรภิชาติ, "จุลชีววิทยาทางอาหาร (Food Microbiology)", กลุ่มงานบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยทักษิณ, กรุงเทพฯ 2550.

[5] Ray B., Bhunia A., "Fundamental Food Microbiology", 4th Ed., Taylor & Francis Group, LLC, USA., 2008, 492 pp.

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยในเรื่องนี้ ขอขอบคุณผู้ประกอบการโต๊ะจีนของจังหวัดนครปฐม เจ้าภาพจัดงานเลี้ยง และผู้รับประทานอาหารทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยเรื่องนี้ และขอของคุณนักศึกษาคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน ที่ช่วยเก็บข้อมูลในการวิจัย จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

การพัฒนาไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำ
Development of Salted Egg Coated by Tom Yam Herbs

วิรัติ จันทรทรัพย์[1]

[1]*โปรแกรมการจัดการอาหาร*
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
wiratjan@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาไข่เค็มพอกดินสอพองเพื่อเพิ่มคุณภาพให้ดีขึ้นโดยการผสมสมุนไพรรสต้มยำลงในดินสอพองและเกลือในอัตราส่วน ดินสอพอง : น้ำ: เกลือ : สมุนไพร (บด) เท่ากับ 1:1:0.3:0.2 และพอกไว้นาน 10 20 และ 30 วัน นำไข่เค็มมาวิเคราะห์ความเค็ม พบว่า ร้อยละของความเค็ม (salt refractometer) ของไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการพอก โดยมีความเค็มร้อยละ 2.53 3.06 และ 5.44 ตามลำดับ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำพบว่าไม่สามารถตรวจพบ การทดสอบความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า ไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำที่มีระยะเวลาการพอกที่ 20 วัน มีค่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากที่สุด แต่ผู้บริโภคยังให้ค่าคะแนนความชอบทุกด้านของไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำที่พอกนาน 10 และ 30 วัน ในระดับความชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง และเมื่อทดสอบการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำที่พอกระยะเวลานาน 20 วันแน่นอน โดยเชื่อว่าสมุนไพรรสต้มยำสามารถลดกลิ่นคาวของไข่ลงได้ดีกว่า ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาไข่เค็มพอกดินสอพองที่มีคุณภาพสำหรับกลุ่มเกษตรกรที่สนใจได้ต่อไป

คำสำคัญ: ไข่เค็มพอก สมุนไพร ต้มยำ

Abstract

The objective of this research was to develop the production method of salted egg coated with soft-prepared chalk mixed with Tom Yam herbs. Ratio of chalk, water, salt, crushed herbs 1:1:0.3:0.2. respectively was investigated the coating period at 10 20 and 30 days. The salted egg with Tom Yam was formed the higher salt content after increasing the coating period. The percentage of salt in salted egg Tom Yam was 2.53 3.06 and 5.44 respectively. Total phenolic compound in salted egg was not detectable. The sensory test in color, flavor, taste, texture and overall acceptable of salted egg coated by soft-prepared chalk with Tom Yam on 20 days were highest score. However, The consumers scored preferable the salted egg at 10 and 30 days after coating was mild and moderate levels. The consumers purchasing decisions study found that consumers decide to certainly buy at salted egg with Tom Yam at 20 days, The reason was Tom Yam can reduce the

smell of egg. The results should be guidelines for farmer in developing of high quality salted egg coated by soft-prepared chalk.

Keyword: salted egg coated, Herb, Tom yam

1. บทนำ

ไข่เค็มเป็นการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เลขที่ มผช. 27/2546 ไข่เค็มเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไข่ทั้งฟองที่ผ่านการคัดเลือกและทำความสะอาดแล้ว นำมาดองเค็มด้วยการดองในน้ำเกลือ หรือการพอกเค็ม โดยมากจะใช้ไข่เป็ดแช่ในน้ำเกลือ หรือนำไปพอกด้วยวัสดุที่ผสมเกลือเพื่อให้เกลือซึมเข้าไปในเนื้อของไข่ เพื่อให้สามารถเก็บไข่ไว้ได้นานขึ้น การผลิตไข่เค็มจัดเป็นเทคโนโลยีชาวบ้านวิธีหนึ่งที่ทำกันมานานจนถึงทุกวันนี้ ความนิยมบริโภคไข่เค็มเพิ่มมากขึ้น จนพัฒนาจากการผลิตไข่เค็มเพื่อการบริโภคในครัวเรือนมาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการค้า ซึ่งการจำหน่ายอาจจะเป็นในรูปของผลิตภัณฑ์ไข่เค็มจากการรับประทานเป็นกับข้าวหรือนำไปทำเป็นไส้ขนม เช่น ขนมเปี๊ยะ ขนมไหว้พระจันทร์ ขนมบ๊ะจ่าง ตลอดจนใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารคาวหวานชนิดต่าง ๆ การพัฒนาคุณภาพของไข่เค็มมีหลากหลาย ชมพู่ ยิ้มโต [1] ได้พัฒนาคุณภาพไข่เค็มให้มีปริมาณเกลือโซเดียมต่ำด้วยเยื่อฟางข้าว โดยใช้เกลือโปแตสเซียมคลอไรด์ เพื่อลดปริมาณโซเดียมคลอไรด์พบว่าการใช้เยื่อฟางข้าวที่ผ่านการย่อยด้วยการต้มและตากแห้ง ผสมกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 60 และเกลือโปแตสเซียมคลอไรด์ร้อยละ 40 พอกไข่เค็มนาน 25 วัน มีปริมาณโซเดียมร้อยละ 7.12 ซึ่งผู้บริโภคให้การยอมรับร้อยละ 78

สิรินดา ยุ่นฉลาด และคณะ [2] ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เกลือสินเธาว์และผลพลอยได้จากการทำเหมืองเกลือจากกลุ่มสมาชิกสหกรณ์ผู้ผลิตเกลือสินเธาว์ อ.บ้านดุง จ.อุดรธานี ซึ่งเป็นกลุ่มผู้ผลิตเกลือสินเธาว์เสริมไอโอดีนโดยใช้เกลือตากและโคลนดินเกลือ มาใช้ในการพัฒนาสูตรไข่เค็มทั้งหมด 30 สูตร แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ ไข่เค็ม ไข่เค็มดองสมุนไพร ไข่เค็มพอก และไข่เค็มพอกสมุนไพร และ การประเมินความชอบทางประสาทสัมผัสทั้งหมด 6 ลักษณะ คือ ลักษณะไข่แดง ลักษณะไข่ขาว รสชาติ กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเมื่อรับประทานกับข้าวต้ม และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ สูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด คือ ไข่เค็มดองสมุนไพรสูตร เกลือตาก (ใบเตย) เกลือตาก (กระชาย) เกลือตาก (ตะไคร้) ไข่เค็มพอกพบว่าไข่เค็มพอกสูตรดินเกลือเกลือต้มร้อยละ 50 ดินเกลือ เกลือตากร้อยละ 50

ในปัจจุบันนี้ผู้บริโภคหันมาสนใจอาหารเพื่อสุขภาพ (Functional Food) ซึ่งถือเป็นหนึ่งในกลุ่มอาหารที่จัดอยู่ในอาหารเพื่อสุขภาพด้วยเช่นกัน เพียงแต่มีความโดดเด่นที่เหนือกว่าผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพประเภทอื่นๆ เช่น อาหารอินทรีย์ตรงที่มีคุณสมบัติลดความเสี่ยงจากการเป็นโรค หรือช่วยเสริมสร้างให้ระบบต่างๆ ของร่างกายทำงานได้ดีขึ้น อาหารเพื่อสุขภาพเกิดขึ้นครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่นเมื่อปี พ.ศ. 2523 และปัจจุบันยังคงเติบโต โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และสหภาพยุโรป และได้ขยายครอบคลุมไปทั่วโลก เนื่องจากผู้บริโภคต่างประจักษ์ในคุณสมบัติที่มีส่วนช่วยให้สุขภาพดีขึ้น โดยเฉพาะการป้องกันโรคต่างๆได้ รวมถึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการการป้องกันมากกว่าการรักษา และต้องการผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอาหารมากกว่ายา [3] พืชผักของไทยเป็นพืชที่น่าสนใจอย่างยิ่ง เนื่องจากมีสารต้านอนุมูลอิสระ และสารที่มีคุณสมบัติต้านเชื้อโรคได้ด้วย เช่น ขิง ข่า ตะไคร้ น้ำมันหอมระเหยในใบมะกรูด พริกสด เป็นต้น [4] อีกทั้งเมื่อนำมาประกอบอาหาร ได้แก่ ต้มยำทำให้กลิ่นและรสชาติอาหารกลมกล่อมมากขึ้น จากคุณสมบัติของสมุนไพรเครื่องต้มยำน่าจะนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่เค็มเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษของไข่เค็ม รวมทั้งน่าจะช่วยเรื่องกลิ่นของไข่ได้ด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อศึกษาความชอบและการยอมรับชนิดของวัตถุดิบสำหรับใช้พอกไข่เค็มสมุนไพร คือ สมุนไพรต้มยำ

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมไข่

ไข่เป็ดซื้อจากตลาดในพื้นที่จังหวัดนครปฐม โดยเลือกไข่เป็ดใหม่ (ไม่เกิน 3 วัน) นำมาล้างให้สะอาด ผึ่งให้แห้ง

2.2 การเตรียมวัตถุดิบในการพอก

2.2.1 ดินสอพอง ใช้ดินสอพอง จากจังหวัดลพบุรี

2.2.2 การเตรียมสมุนไพรในการพอก

- เครื่องต้มยำ ประกอบด้วยเตรียมตะไคร้ : ใบมะกรูด : ข่า ในอัตราส่วน 1:1:1 บดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น
- เตรียมดินสอพองเพื่อการพอก นำดินสอพองผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 นำเกลือป่นผสมในอัตราส่วนร้อยละ 30 ของดินสอพอง แล้วผสมสมุนไพรที่เตรียมไว้ทั้ง 2 สูตร ในอัตราส่วนร้อยละ 20 ของดินสอพอง

2.3 ขั้นตอนการพอก

นำไข่เป็ดที่เตรียมไว้ พอกดินสอพองผสมสมุนไพรที่เตรียมไว้โดยใช้อัตราส่วนไข่เป็ด 25 ฟองต่อดินสอพองสมุนไพร 1 กิโลกรัม พอกดินให้ทั่วแล้วจึงพอกขี้เถ้าแกลบ บรรจุถุงพลาสติกรัดปากถุงให้สนิท เก็บไว้ในกล่องกระดาษ นำไข่เค็มมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพทุกวันที่ 10, 20 และ 30 วันหลังการพอก

2.4 การทดสอบคุณภาพ

2.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- ความเค็ม โดยใช้ Salt Refractometer
- สารฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้วิธีของ ของ Yang และคณะ [6]

2.4.2 การทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

ประเมินความชอบของผู้บริโภคทางด้านความชอบโดยรวม สี กลิ่น รสชาติ และลักษณะเนื้อสัมผัสของไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำในวันที่ 0 (Control) 10, 20 และ 30 วันหลังการพอก ของผู้บริโภคจำนวน 45 คน ใช้แบบทดสอบความชอบ 9-point hedonic scale และให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ โดยใช้แบบทดสอบ 5-point hedonic scale ซึ่งมีระดับคะแนน ดังนี้ 1 = ไม่ซื้อแน่นอน 2 = ไม่น่าจะซื้อ 3 = ยังไม่แน่ใจ 4 = น่าจะซื้อ 5 = ซื้อแน่นอน วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD)

วิธีการเตรียมตัวอย่างนำไข่เค็มพอกมาล้างดินสอพองและขี้เถ้าแกลบออกให้หมด ต้มในน้ำเดือด (อุณหภูมิประมาณ 95-100 องศาเซลเซียส) นาน 25 นาที นำมาทำให้เย็นโดยแช่ในน้ำ ปอกเปลือกไข่ หั่นชิ้นตามแนวยาวของไข่ 8 ชิ้นต่อฟอง

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ความเค็มของไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำ

ไข่เค็มที่พอกด้วยสมุนไพรรสต้มยำมีค่าความเค็มของไข่ขาวเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการพอกเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลาการพอกที่ 10 20 และ 30 วัน มีค่าความเค็มของไข่ขาวเท่ากับ 2.53 3.06 และ 5.44 ตามลำดับ (ตามตารางที่ 1) จากการกำหนดมาตรฐานของไข่เค็มไชยา [5] ไข่เค็มที่พอเหมาะสำหรับการทำไข่เจียวรับประทานได้ควรมีประมาณโซเดียมที่ร้อยละ 3.3 ขึ้นไป ไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำในช่วงวันที่ 20 มีความเค็มเหมาะสมสำหรับการรับประทาน แต่เมื่อระยะเวลาการพอกที่ 30 วัน จะมีความเค็มเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 5.44-5.34 ซึ่งไม่เหมาะสมกับการทำไข่ดาว แต่เหมาะสมสำหรับการทำไข่เค็มต้ม (ร้อยละความเค็ม 4.4 ขึ้นไป)

3.2 สารประกอบฟีนอลิก

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของไข่เค็มนั้นไม่สามารถตรวจพบได้ ทั้งนี้เนื่องจากอาจจะเกิดการสูญเสียระหว่างกระบวนการผลิต และความสามารถในการซึมผ่านเปลือกไข่เข้าสู่ชั้นเนื้อไข่ของสารประกอบกลุ่มนี้น้อย ทั้งนี้เนื่องจากการพอกดินเป็นสภาวะการผลิตที่มีความชื้นต่ำทำให้การแพร่ของสารประกอบฟีนอลิกเข้าไปในฟองไข่จึงเกิดขึ้นได้ยาก ดังนั้นการพอกไข่เค็มด้วยสมุนไพรในอุณหภูมิห้องจึงไม่สามารถเพิ่มสารประกอบฟีนอลิกได้ อาจจะต้องหาวิธีการใหม่ในการผลิตที่ช่วยให้สารประกอบฟีนอลิกมีอัตราการแพร่ที่สูงขึ้น เช่น การดองในน้ำสมุนไพรหรือการใช้ความดัน ซึ่ง จิรวัฒน์ กันต์เกรียงวงศ์ และคณะ [7] พบว่า การผลิตไข่เค็มโดยใช้ความดัน hydrostatic ช่วยลดระยะเวลาในการผลิตไข่เค็มให้สั้นลง ลดต้นทุนการผลิต โดยไข่เค็มที่ได้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ ณรงค์ นิยมวิทย์ และสุชาดา งามประภาวัฒน์ [8] พบว่า การทำไข่เค็มหลอดโดยนำไข่แดง

บรรจุในไส้คอลลาเจนแล้วหมักเกลือ 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาดองในน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะได้ไข่แดงเค็มที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

3.3 การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ความชอบและความสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ไข่เค็ม

ผลการทดสอบความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวมของไข่เค็มสมุนไพรรสต้มยำ พบว่า ผู้บริโภคให้ค่าคะแนนของวันที่พอกนาน 20 วัน มากที่สุดทุกด้าน ดังนี้ รสต้มยำเท่ากับ 7.87 7.47 7.53 7.87 และ 8.13 ตามลำดับ ตามตารางที่ 2 ซึ่งค่าคะแนนของไข่เค็มที่พอกนาน 10 และ 30 วัน ไม่แตกต่างกันมากกับไข่ต้ม (ควบคุม) จะเห็นว่ากลิ่นของไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำมีกลิ่นไข่ดีกว่าไข่ต้ม ซึ่งสอดคล้องกับ รัชนก เกียรติบุตร [9] พบว่า ตะไคร้ช่วยลดกลิ่นไข่ในผลิตภัณฑ์ไข่เค็ม และยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้นเพราะในตะไคร้มีน้ำมันหอมระเหยซึ่งยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้

การทดสอบความต้องการซื้อของผู้บริโภคพบว่าไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำของการพอกวันที่ 20 ผู้บริโภคซื้อแน่นอน (n=45) และวันที่ 10 และ 30 ผู้บริโภคน่าจะซื้อถึงซื้อแน่นอน ซึ่งจากแบบสอบถามผู้บริโภคให้ความเห็นว่ารสต้มยำเป็นความคุ้นเคย เป็นรสชาติของไทย สามารถลดกลิ่นไข่ได้ชัดเจนมากกว่า แต่วันที่ 30 ไข่เค็มมีความเค็มมากเกินไป แต่ยังยอมรับได้

ตารางที่ 1 ค่าความเค็มของไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำ ระยะเวลาการพอก 10 20 และ 30 วัน (เฉลี่ย)

ตัวอย่าง	ค่าความเค็มของไข่ขาว
10 วัน	2.53
20 วัน	3.06
30 วัน	5.44

ตารางที่ 2 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสและความสนใจซื้อของไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำ ระยะเวลาการพอก 10 20 และ 30 วัน โดยใช้ไข่ต้มเป็นตัวเปรียบเทียบ

ตัวอย่าง	สี		กลิ่น		รสชาติ (รสเค็ม)		เนื้อสัมผัส		ความชอบโดยรวม		ความสนใจซื้อไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำ
	ไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำ	ไข่ต้ม	ไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำ	ไข่ต้ม	ไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำ	ไข่ต้ม	ไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำ	ไข่ต้ม	ไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำ	ไข่ต้ม	
0 วัน	7.67	7.50	6.67	6.50	6.60	6.60	7.13	7.01	6.93	6.87	3.00
10 วัน	7.20	6.81	6.73	6.27	6.67	6.11	7.20	7.11	7.13	6.92	4.96
20 วัน	7.87	7.68	7.47	5.56	7.53	6.39	7.87	6.74	8.13	6.48	5.00
30 วัน	7.53	7.64	6.13	6.01	6.27	6.52	6.93	6.43	6.73	6.83	4.87

4. บทสรุป

การใช้สมุนไพรรสต้มยำ ในการพัฒนาไข่เค็มพอกดินสอพองเพื่อเพิ่มคุณภาพให้ดีขึ้นได้ โดยการผสมสมุนไพรรสต้มยำลงในดินสอพองและเกลือในอัตราส่วน ดินสอพอง : น้ำ : เกลือ : สมุนไพร (บด) เท่ากับ 1:1:0.3:0.2 และพอกไว้นาน 10 20 และ 30 วัน พบว่า ร้อยละของความเค็มของไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการพอก เมื่อศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของไข่เค็มพบว่าไม่สามารถตรวจพบได้ ความชอบโดยรวมของไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำ พบว่า ไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำที่มีระยะเวลาการพอกที่ 20 วัน มีค่าคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมากที่สุด เมื่อทดสอบการ

ตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อไข่เค็มพอกสมุนไพรรสต้มยำที่ระยะเวลาการพอก 20 วันแน่นอน โดยให้เหตุผลว่ารสต้มยำมีกลิ่นและรสชาติคล้ายต้มยำซึ่งเป็นรสชาติของอาหารไทย สามารถลดกลิ่นคาวไข่ลงได้ ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาไข่เค็มพอกดินสอพองที่มีคุณภาพสำหรับกลุ่มเกษตรกรที่สนใจได้

5. เอกสารอ้างอิง

[1] ชมพู่ ยิ้มโต. 2543. **การพัฒนาไข่เค็มโซเดียมต่ำพอกด้วยเยื่อฟางข้าว**. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] สิรินดา ยุ่นฉลาด, สามารถ มูลอามาตย์, วิเชียร วรพุทธิพร, ลัดดา วรรณขาว และทศพล พลคามาก. 2551. การใช้เกลือสินเธาว์และผลพลอยได้จากเหมืองเกลือในการผลิตไข่เค็ม อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี (บทคัดย่อ). จาก http://ora.kku.ac.th/RES_KKU/ATTACHMENTS_RESPROJECT_ABSTRACT/-2061515760.pdf

[3] ชุติมา ศิริกุลชยานนท์. 2546. **Functional Food : nutrition that heals and protects**. 22 มิถุนายน 2546; ห้องสยามมกุฎราชกุมาร อาคารเฉลิมพระบารมี 50 ปี แพทยสมาคมแห่งประเทศไทย.

[4] ลลิตา ธีระสิริ. 2543. **ผักพื้นบ้านต้านโรค:คุณค่าจากธรรมชาติของผักไทย**. สำนักพิมพ์รวมทรรศน์. กรุงเทพฯ

[5] วลัยรัตน์ จันทรปานนท์, 2555. มาตรฐานคุณภาพผลิตภัณฑ์ไข่เค็มไชยา. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จาก http://www.rdi.ku.ac.th/Techno_ku60

[6] Yang J., Paulino R., Janke-Stedronsky S. and Abawi F. 2007. Free-radical-scavenging activity and total phenols of noni (*Morinda citrifolia* L.) juice and powder in processing and storage. **Food Chem.** 102:302–308.

[7] จิรวัฒน์ กันต์เกรียงวงศ์, ประเวทย์ ตุ้ยเต็มวงศ์, รุ่งโรจน์ แสงดารารัตน์, วิไล ภัทรปัญญากุล, วีระชัย แก่นทรัพย์ และวรพจน์ สุนทรสุข. ม.ป.ป. **การผลิตไข่เค็มโดยใช้ความดันไฮโดรสแตติก.** การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

[8] ณรงค์ นิยมวิทย์ และสุชาดา งามประภาวัฒน์. 2533. **ไข่เค็มหลอด.** ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[9] รัชนก เกียรติบุตร. ม.ป.ป. **การวิจัยและสร้างยุทธศาสตร์การยืดอายุการเก็บรักษาและลดกลิ่นคาวไข่เค็ม.** มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์. ฉะเชิงเทรา.

การนำเสนอผลงานแบบบรรยาย

กลุ่มวิทยาศาสตร์กายภาพ (SCI)

ดร.จักรพงษ์ แก้วขาว

การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดของกลุ่มแม่บ้านบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

Formulation Development of Cleansing Products for Bangrakam's Housekeeper Group, Banglen District, Nakhon Pathom Province

ธันยนันท์ ศรีพันธ์ลม

โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม
E-mail: Thanyanan_kae@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดของกลุ่มแม่บ้านบางระกำ โดยเพิ่มส่วนผสมสมุนไพรในท้องถิ่น และให้สูตรที่พัฒนาขึ้นมีมาตรฐานตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ในการวิจัยได้ทำการศึกษาบริบทชุมชน ศึกษาอัตราส่วนในสูตรผลิตภัณฑ์ 5 ชนิด คือ สบู่กลีเซอรีน สบู่เหลว น้ำยาล้างจาน น้ำยาซักผ้า น้ำยาล้างห้องน้ำ และทำการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลจากการศึกษาบริบทชุมชนพบว่าชาวบ้านส่วนใหญ่ต้องการที่จะทำผลิตภัณฑ์อุปโภคใช้เองเพื่อลดรายจ่ายในครัวเรือนและต้องการนำสมุนไพรที่มีในท้องถิ่นเพิ่มเข้าไปด้วย ซึ่งสมุนไพรที่เติมลงไปเพื่อบำรุงผิวพรรณ ได้แก่ ขมิ้น มะขาม น้ำผึ้ง โดยเติมลงในสบู่กลีเซอรีน และสบู่เหลว ส่วนสมุนไพรที่เติมลงไปเพื่อยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ มะกรูด โดยเติมลงไปในน้ำยาล้างจาน และน้ำยาล้างห้องน้ำ สำหรับสารทำความสะอาดหลักในการศึกษาคือ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ 2 ชนิดคือ โซเดียม ลอริล อีเทอร์ ซัลเฟต และ ลิเนียร์ อัลคิล เบนซีน ซัลโฟเนต เนื่องจากมีคุณสมบัติการชำระล้าง ขจัดคราบสกปรกได้ดี โดยนำไปเป็นส่วนผสมหลักของสารผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำยาล้างจาน น้ำยาซักผ้า และน้ำยาล้างห้องน้ำ ส่วนผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดร่างกายสบู่กลีเซอรีน และสบู่เหลว ใช้สบู่กลีเซอรีน และสารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบชนิดอ่อน คือ แอมโมเนียม ลอริล ซัลเฟต เป็นองค์ประกอบหลัก ตามลำดับ เมื่อนำสูตรที่พัฒนาขึ้นมาทำการทดสอบตามค่ามาตรฐาน ค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด สมุนไพร สารทำความสะอาด สารลดแรงตึงผิว

Abstract

This research aims to develop formula of cleaning products for Bangrakam's Housekeeper Group, by adding a mixture of local herbs into them, and the developed products need to conform with the community standard. Studying on the community context was conducted here, along with studying of the ratio of formula in five products including glycerin soap, liquid soap, dishwashing liquid, bathroom cleaner and liquid detergent, and then testing them following the community standard. The result from the community context study exhibited that most people in the community need to produce consumer products by themselves in

order to reduce their household expense. In addition, they also need to add local herbs into their consumer products. The herbs added for nourishing skin i.e. turmeric, tamarind and honey were added into the glycerin soap and the liquid soap, while the herb added for inhibiting microbial i.e. kaffir lime was added into the dishwashing liquid and the bathroom cleaner. In this study, the main active ingredients for the cleaning product was anionic surfactant (negative charge) i.e. sodium loryl ether sulphate and linear alkyl benzene sulphonate due to their great ability in cleansing. They were used for the dishwashing liquid, the bathroom cleaner and the liquid detergent. For the body cleaning products; the glycerin soap and the liquid soap, glycerin and weak anionic surfactant (ammonium loryl sulphate) were used as an active ingredient, respectively. When considering product quality, it was found that all the products passed the community standard test.

Keyword: Cleansing Products, Herbs, Detergent, Surfactant

1. บทนำ

ชุมชนในตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม เป็นชุมชนที่มีความเข้มแข็ง มีการวางแผนและพัฒนาชุมชนอย่างเป็นระบบ มีการรวมกลุ่มเพื่อสร้างอาชีพและเพิ่มรายได้ให้กับคนในชุมชน โดยมี การแบ่งกลุ่มอาชีพตามความสนใจและความถนัด ซึ่งหนึ่งในกลุ่มอาชีพที่ต้องการพัฒนาทั้งผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ และคุณภาพให้ได้มาตรฐาน ก็คือ กลุ่มผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดโดยแบ่งได้เป็น 4 ประเภทตามการใช้งาน คือ ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดร่างกาย ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดเสื้อผ้า ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดภาชนะเครื่องใช้ ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดห้องน้ำ ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทุกครัวเรือนต้องใช้เป็นประจำ ดังนั้นการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวให้มีคุณภาพ และได้มาตรฐานให้เป็นที่ต้องการของตลาดก็จะเป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้น อีกทั้งถ้าทุกคนในชุมชนสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและได้มาตรฐานขึ้นมาใช้ได้เองก็จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน และสามารถสร้างจุดเด่นหรือจุดขายของผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างรายได้ให้กับครอบครัวเพิ่มขึ้น เป็นการสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชนตำบลบางระกำอย่างยั่งยืน ซึ่งผู้วิจัยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดของกลุ่มแม่บ้านตำบลบางระกำให้มีจุดเด่น มีคุณภาพ ประหยัด ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนด

2. ขั้นตอนการดำเนินการ

2.1 ศึกษาบริบทชุมชน

การศึกษาบริบทชุมชนเพื่อศึกษากระบวนการในการทำผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่างๆ และสำรวจรายจ่ายในครัวเรือนประเภทผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำความสะอาด โดยใช้แบบสอบถาม

2.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ทำโดยศึกษาสูตรเดิมที่ได้รับจากกลุ่มแม่บ้านและกำหนดสูตรผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดจากสูตรทั่วไปขึ้น 2 สูตร และทำการเปรียบเทียบโดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจ และหาจุดเด่นของสินค้าโดยเพิ่มพืชสมุนไพรในท้องถิ่นที่หาง่าย และทำการสกัดสารจากพืชสมุนไพรด้วยวิธีอย่างง่ายใส่ลงในผลิตภัณฑ์บางชนิด

1) สูตรเดิมที่ได้รับจากกลุ่มแม่บ้าน

1.1) สบู่กลีเซอรีน

ส่วนผสม

(1) สบู่กลีเซอรีน 1 กิโลกรัม

(2) น้ำสมุนไพร 1 ช้อนโต๊ะ

(3) สี, น้ำหอมกลิ่นโดฟ

1.2) น้ำยาล้างจาน

ส่วนผสม

(1) สารขจัดคราบไขมัน (NAS) 1 กิโลกรัม

(2) สารทำให้เหนียว (KD) 100 กรัม

(3) หัวแชมพู (N 70) 500 กรัม

(4) กลิ่นมะนาว 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร

(5) น้ำสะอาด 4 กิโลกรัม

(6) สี ใส่พอสวยงามหรือไม่ใส่ก็ได้

1.3) น้ำยาซักผ้า

น้ำ 2 กิโลกรัม กวนตัวยาให้เข้ากันก่อนแล้วค่อยเทน้ำ 2 กิโลกรัม แล้วกวนซ้ำอีกครั้ง

2) สูตรที่พัฒนา

2.1) การเตรียมสมุนไพร

2.1.1) วิธีการเตรียมสารสกัดสมุนไพรสำหรับสบู่กลีเซอรีนและสบู่เหลว

(1) สารสกัดขมิ้นชัน เตรียมโดยนำขมิ้นชันไปปอกเปลือกแล้วล้างให้สะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปชั่งน้ำหนัก 120 กรัม แล้วปั่นรวมกับน้ำ 240 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้น นำไปต้ม 10 นาที แล้วเก็บไว้ในขวดแก้ว

(2) สารสกัดมะขาม เตรียมโดยนำมะขามเปียกที่เอาเมล็ดออกแล้ว ชั่งน้ำหนัก 120 กรัม ผสมกับน้ำ 480 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนให้มะขามละลายจนหมด จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้น นำไปต้ม 10 นาที แล้วเก็บไว้ในขวดแก้ว

2.1.2) วิธีการเตรียมสารสกัดสมุนไพรสำหรับน้ำยาล้างจาน และน้ำยาล้างห้องน้ำ

สารสกัดผิวมะกรูด เตรียมโดยนำมะกรูดมาล้างน้ำให้สะอาด ใส่ตะแกรงพักให้สะเด็ดน้ำ นำมะกรูดมาเฉือนเฉพาะผิว แล้วหั่นผิวมะกรูดให้ละเอียด ชั่งผิวมะกรูดหั่นละเอียด ประมาณ 100 กรัม เติมน้ำพอท่วมผิวมะกรูด นำไปต้มบนไฟอ่อนๆ ให้เดือด แล้วต้มต่ออีก 5 นาที จึงนำมากรองด้วยผ้าขาวบางที่สะอาดทบหลายๆ ชั้น แล้วเก็บในขวดแก้ว

2.2) สูตรใหม่ที่พัฒนาขึ้นของผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 ผลิตภัณฑ์

โดยนำสูตรเดิมมาปรับปรุงและปรับส่วนผสมโดยกำหนดสูตรผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดจากสูตรทั่วไปขึ้น 2 สูตร โดยสบู่กลีเซอรีนใช้สบู่กลีเซอรีนเป็นส่วนผสมหลัก และปรับเปลี่ยนสารสกัดที่เติมลงไปดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของสูตรสบู่กลีเซอรีนสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2

ส่วนผสม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
สบู่กลีเซอรีน	100 กรัม	100 กรัม
สารสกัดขมิ้น	5 ลูกบาศก์เซนติเมตร	3 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารสกัดมะขาม	-	4 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำผึ้ง	4 ลูกบาศก์เซนติเมตร	2 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สำหรับส่วนผสมของสบู่เหลวจะใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทแอนไอออนิกชนิดอ่อนโยน คือ แอมโมเนียม ลอริล ซัลเฟต เป็นส่วนผสมหลัก ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของสูตรสบู่เหลวสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2

ส่วนผสม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
น้ำ	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
แอมโมเนียม ลอริล ซัลเฟต	40 ลูกบาศก์เซนติเมตร	40 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารสกัดขมิ้น	3 ลูกบาศก์เซนติเมตร	3 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารสกัดมะขาม	4 ลูกบาศก์เซนติเมตร	4 ลูกบาศก์เซนติเมตร
น้ำผึ้ง	2 ลูกบาศก์เซนติเมตร	2 ลูกบาศก์เซนติเมตร
โคคาไมด์ ไดเอทาโนลาไมด์	-	2 ลูกบาศก์เซนติเมตร
เกลือละเอียด	2.5 กรัม	1 กรัม

สำหรับส่วนผสมของน้ำยาล้างจาน น้ำยาซักผ้า และน้ำยาล้างห้องน้ำ จะใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทแอนไอออนิก 2 ชนิด คือ ลิเนียร์ อัลคิล เบนซีน ซัลโฟเนต และ โซเดียม ลอริล อีเทอร์ ซัลเฟต เป็นส่วนผสมหลัก และปรับปริมาณดังแสดงในตารางที่ 3 - 5

ตารางที่ 3 ส่วนผสมของสูตรน้ำยาล้างจานสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2

ส่วนผสม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
น้ำ	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
ลิเนียร์ อัลคิล เบนซีน ซัลโฟเนต	15 ลูกบาศก์เซนติเมตร	20 ลูกบาศก์เซนติเมตร
โซเดียม ลอริล อีเทอร์ ซัลเฟต	15 ลูกบาศก์เซนติเมตร	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารสกัดผิวมะกรูด	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
เกลือละเอียด	2 กรัม	2 กรัม

ตารางที่ 4 ส่วนผสมของสูตรน้ำยาซักผ้าสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2

ส่วนผสม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
น้ำ	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร	50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
ผงเพิ่มฟอง	0.2 กรัม	0.2 กรัม
โซเดียม ลอริล อีเทอร์ ซัลเฟต	12.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร	20 ลูกบาศก์เซนติเมตร
ลิเนียร์ อัลคิล เบนซีน ซัลโฟเนต	12.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร	5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
เกลือละเอียด	1.5 กรัม	1.5 กรัม

ตารางที่ 5 ส่วนผสมของสูตรน้ำยาล้างห้องน้ำสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2

ส่วนผสม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
น้ำ	65 ลูกบาศก์เซนติเมตร	65 ลูกบาศก์เซนติเมตร
โซเดียม ลอริล อีเทอร์ ซัลเฟต	12.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
ลิเนียร์ อัลคิล เบนซีน ซัลโฟเนต	12.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร	15 ลูกบาศก์เซนติเมตร
สารสกัดผิวมะกรูด	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร	10 ลูกบาศก์เซนติเมตร
เกลือละเอียด	2 กรัม	2 กรัม

2.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม

นำสูตรที่ได้จากข้อ 2.2) สูตรที่พัฒนา มาทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) วัดค่าความหนืด และทดสอบความคงสภาพของผลิตภัณฑ์

2.4 ทดสอบผลิตภัณฑ์โดยอาสาสมัครและแบบสอบถาม

เป็นการทดสอบโดยการนำผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่ผลิตขึ้น จากข้อ 2.2) นำไปให้อาสาสมัครรวม 30 คน ทดลองใช้ แล้วทำแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้ผลิตภัณฑ์

2.5 ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

เลือกสูตรของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบความพึงพอใจมากที่สุดในแต่ละผลิตภัณฑ์มาทำการทดสอบตามวิธีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ตัวแปรที่ทำการทดสอบแสดงดังในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การทดสอบผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด	ตัวแปรที่ทำการทดสอบ
สบู่กลีเซอรีน	กลีเซอรีน, ไฮดรอกไซด์อิสระ, คลอไรด์ และจุลินทรีย์
สบู่เหลว	ไฮดรอกไซด์อิสระ, ความเป็นกรด-ด่าง, จุลินทรีย์ และ การคงสภาพ
น้ำยาล้างจาน	สารลดแรงตึงผิว, ความเป็นกรด-ด่าง และ โลหะเป็นพิษทั้งหมด
น้ำยาซักผ้า	ความเป็นกรด-ด่าง, สารที่ละลายในแอลกอฮอล์ และฟอสเฟตทั้งหมด
น้ำยาล้างห้องน้ำ	สารลดแรงตึงผิว และ ความเป็นกรด-ด่าง

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการศึกษาบริบทชุมชน

จากการสำรวจและลงพื้นที่ศึกษาบริบทชุมชนตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม พบว่าชุมชนแห่งนี้เป็นพื้นที่ราบลุ่ม มีแม่น้ำท่าจีนไหลผ่าน พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นสีเขียวมีความอุดมสมบูรณ์ ประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพหลักด้านการเกษตร การแจกแบบสอบถามจากกลุ่มผู้สูงอายุที่รวมตัวกันที่เทศบาลตำบลบางระกำ ทุกๆ วันที่ 10 ของเดือนซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มเป้าหมาย ได้ผลดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตัวแทนกลุ่มเป้าหมายแบ่งเป็นเพศชาย คิดเป็น 52.50% และเพศหญิง คิดเป็น 47.50% อายุตั้งแต่ 36 ปีขึ้นไป อาชีพส่วนใหญ่คืออาชีพเกษตรกรรม คิดเป็น 67.50% สำหรับรายได้เฉลี่ยครอบครัวต่อเดือนเนื่องจากอาชีพส่วนใหญ่เป็นอาชีพเกษตรกรรมมีรายได้ไม่แน่นอน จึงทำให้ชาวบ้านส่วนใหญ่มีรายได้น้อยกว่า 10,000 บาท ซึ่งคิดเป็น 60.00%

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการใช้สินค้าอุปโภคในครอบครัว

สำหรับจำนวนสมาชิกในครอบครัวส่วนใหญ่อยู่ที่ 4-6 คน ซึ่งคิดเป็น 42.50% สินค้าอุปโภคส่วนใหญ่ที่ใช้ประจำในครอบครัว ได้แก่ สบู่ก้อน คิดเป็น 100.00% รองลงมาคือยาสีฟัน 97.50%, ยาสระผม 95.00%, น้ำยาล้างจาน 92.50%, น้ำยาซักผ้า 92.50%, น้ำยาล้างห้องน้ำ 82.50% ค่าใช้จ่ายในการซื้อสินค้าอุปโภคเฉลี่ยต่อเดือนส่วนใหญ่ในการซื้อน้อยกว่า 1,000 บาท 35.00% รองลงมาคือ 1,000-2,000 บาท ซึ่งชาวบ้านส่วนใหญ่ซื้อสินค้าอุปโภคจากร้านค้าทั่วไปคิดเป็น 77.50% รองลงมาคือห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ เมื่อสอบถามความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์อุปโภคที่มีส่วนผสมของสมุนไพรหรือไม่ ชาวบ้านส่วนใหญ่ต้องการใช้ผลิตภัณฑ์อุปโภคที่มีส่วนผสมของสมุนไพร 92.50% และชาวบ้านส่วนใหญ่ต้องการทำผลิตภัณฑ์อุปโภคใช้เองเพื่อลดรายจ่ายในครัวเรือน 77.50%

จากแบบสอบถาม ชาวบ้านต้องการที่จะทำผลิตภัณฑ์อุปโภคใช้เองเพื่อลดรายจ่ายในครัวเรือนและต้องการนำสมุนไพรที่มีในท้องถิ่นเพิ่มเข้าไปด้วย

3.2 ผลการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

3.2.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความหนืด และเสถียรภาพการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้ผล ดังแสดงในตารางที่ 7

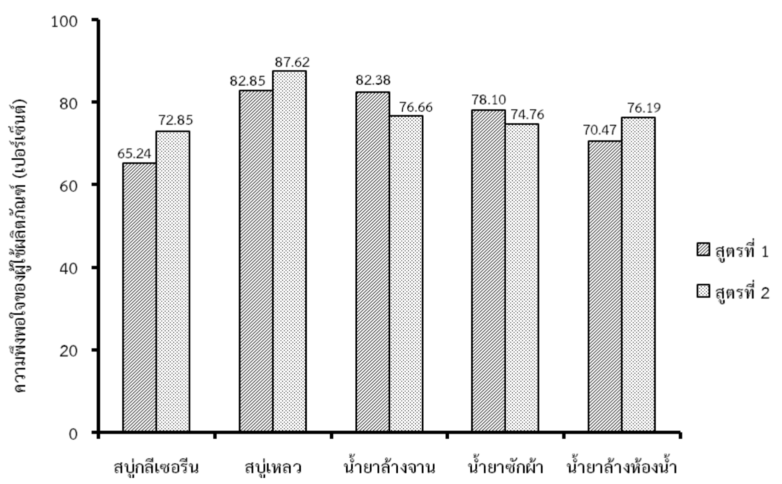
ตารางที่ 7 ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง ความหนืด และเสถียรภาพการเก็บของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด	ค่าความเป็นกรด-ด่าง		ความหนืด (cp)		เสถียรภาพการเก็บ	
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
สบู่กลีเซอรีน	8.90	8.50	-	-	-	-
สบู่เหลว	6.23	6.17	335.2	334.8	ไม่มีตะกอน ไม่แยกชั้น	
น้ำยาล้างจาน	6.28	6.39	214.4	212.8	ไม่มีตะกอน ไม่แยกชั้น	
น้ำยาซักผ้า	7.74	8.14	126.8	125.6	ไม่มีตะกอน ไม่แยกชั้น	
น้ำยาล้างห้องน้ำ	5.46	6.46	117.2	118.8	ไม่มีตะกอน ไม่แยกชั้น	

จากตารางที่ 7 จะพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความหนืด และเสถียรภาพการเก็บของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด 5 ผลิตภัณฑ์ โดยค่าแต่ละสูตรของผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกัน

3.2.2 ผลการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด

เป็นการทดสอบโดยการนำผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่ผลิตขึ้น นำไปให้อาสาสมัครรวม 30 คน ทดลองใช้ แล้วทำแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้ผลิตภัณฑ์ ผลการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดทั้ง 5 ผลิตภัณฑ์ แสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพเปรียบเทียบผลการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดทั้ง 5 ผลิตภัณฑ์

3.3 ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

จากการนำผลข้อมูลที่ได้จากหัวข้อ 3.2 มาวิเคราะห์ และได้คัดเลือกสูตรที่มีผลความพึงพอใจมากที่สุดในแต่ละผลิตภัณฑ์ มาทำการทดสอบตามวิธีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

รายการทดสอบ	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (ค่ามาตรฐาน)				
	สบู่กลีเซอรีน (สูตร 2)	สบู่เหลว (สูตร 2)	น้ำยาล้างจาน (สูตร 1)	น้ำยาซักผ้า (สูตร 1)	น้ำยาล้างห้องน้ำ (สูตร 2)
กลีเซอรีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	27.737 (ไม่น้อยกว่า 20)	-	-	-	-
ไฮดรอกไซด์อิสระ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่พบ (ไม่เกิน 0.05)	ไม่พบ (ไม่เกิน 0.05)	-	-	-
คลอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.643 (ไม่เกิน 0.8)	-	-	-	-
จุลินทรีย์	ไม่พบ	ไม่พบ	-	-	-
ความเป็นกรด-ด่าง	-	6.17 (ระหว่าง 5.0-8.0)	6.28 (ระหว่าง 5.0-9.5)	7.74 (ระหว่าง 5.5-10.5)	6.46 (ระหว่าง 5.5-10.5)
โลหะเป็นพิษทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	-	-	Not Available (ไม่เกิน 30)	-	-

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (ต่อ)

รายการทดสอบ	ค่าที่วิเคราะห์ได้ (ค่ามาตรฐาน)				
	สบู่กลีเซอรีน (สูตร 2)	สบู่เหลว (สูตร 2)	น้ำยาล้างจาน (สูตร 1)	น้ำยาซักผ้า (สูตร 1)	น้ำยาล้างห้องน้ำ (สูตร 2)
สารลดแรงตึงผิว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	-	16.0 (ไม่น้อยกว่า 15)	-	8.3 (ไม่น้อยกว่า 3)
สารที่ละลายในแอลกอฮอล์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	-	-	26.284 (ไม่น้อยกว่า 10)	-
ฟอสเฟตทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	-	-	0.0876 (ไม่เกิน 13)	-
ความคงสภาพ	-	ไม่ตกตะกอน ไม่แยกชั้น	-	-	-

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาบริบทชุมชนโดยใช้แบบสอบถาม สรุปได้ว่าชาวบ้านต้องการที่จะทำผลิตภัณฑ์อุปโภคใช้เองเพื่อลดรายจ่ายในครัวเรือนและต้องการนำสมุนไพรที่มีในท้องถิ่นเพิ่มเข้าไปด้วย สำหรับการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดของกลุ่มแม่บ้านบางระกำทั้งหมด 5 ผลิตภัณฑ์ได้เพิ่มส่วนผสมในส่วนของพืชสมุนไพรลงไป 4 ผลิตภัณฑ์ คือ สบู่กลีเซอรีน สบู่เหลว น้ำยาล้างจาน และน้ำยาล้างห้องน้ำ สมุนไพรที่เติมลงไปเพื่อบำรุงผิวพรรณ ได้แก่ ขมิ้น มะขาม และน้ำผึ้ง โดยเติมลงในสบู่กลีเซอรีน และสบู่เหลว ส่วนสมุนไพรที่เติมลงไปเพื่อยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ มะกรูด โดยเติมลงไปในน้ำยาล้างจาน และน้ำยาล้างห้องน้ำ สำหรับอีก 1 ผลิตภัณฑ์ ที่ไม่สามารถนำสมุนไพรเติมลงไปในส่วนประกอบได้ คือ น้ำยาซักผ้า เพราะไม่มีสมุนไพรพื้นบ้านที่มีส่วนเพิ่มสารชำระล้าง และเป็นความต้องการของชาวบ้านที่ไม่ต้องการจะเพิ่มสารสมุนไพรในน้ำยาซักผ้า สำหรับสารทำความสะอาดหลักในการศึกษาคือ สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ 2 ชนิดคือ โซเดียม ลอริล อีเทอร์ ซัลเฟต และ ลิเนียร์ อัลคิล เบนซีน ซัลโฟเนต เนื่องจากมีคุณสมบัติการชำระล้าง ขจัดคราบสกปรกได้ดี โดยนำไปเป็นส่วนผสมหลักของสารผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำยาล้างจาน น้ำยาซักผ้า และน้ำยาล้างห้องน้ำ ส่วนผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดร่างกายสบู่กลีเซอรีน และสบู่เหลว ใช้สบู่กลีเซอรีน และสารลดแรงตึงผิวประเภทประจุลบชนิดอ่อน คือ แอมโมเนียม ลอริล ซัลเฟต เป็นองค์ประกอบหลัก ตามลำดับ

ในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดจะคำนึงถึงต้นทุนในการผลิต ดังนั้นผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดในครัวเรือน 3 ชนิด คือ น้ำยาล้างจาน น้ำยาซักผ้า และน้ำยาล้างห้องน้ำ จะใช้สารหลักในการทำความสะอาดเหมือนกันแต่จะปรับปริมาณตามคุณสมบัติการใช้งาน โดยพบว่าน้ำยาล้างจาน และน้ำยาซักผ้า ใช้อัตราส่วนของสารขจัดคราบลิเนียร์อัลคิล เบนซีน ซัลโฟเนต และสารชำระล้างโซเดียม ลอริล อีเทอร์ ซัลเฟต ในสัดส่วนเท่ากันซึ่งมีประสิทธิภาพในการขจัดคราบและชำระล้างได้ดีเป็นที่น่าพอใจ ส่วนน้ำยาล้างห้องน้ำพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารขจัดคราบลิเนียร์ อัลคิล เบนซีน ซัลโฟเนต จะให้ผลความพึงพอใจมากกว่า และจากการนำผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 ชนิดไปวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนพบว่า ค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

ข้อเสนอแนะ

การเลือกแหล่งจำหน่ายสารเคมีก็มีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ค่ามาตรฐานต่างๆ เพราะแต่ละแหล่งก็จะมีเกรดสารเคมีไม่เหมือนกัน ดังนั้นควรเลือกซื้อสารเคมีในร้านที่น่าเชื่อถือมีมาตรฐาน และในการผลิตผลิตภัณฑ์ควรคำนึงถึงความสะอาดของสถานที่ผลิตด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ประจำปีการศึกษา 2554

6. เอกสารอ้างอิง

[1] “**บางระกำ อ.บางเลน**” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.bangrakam-sao.go.th/default.php?modules= fckeditor&fck_id=5&view_id=56&orderby=1 (9 พฤศจิกายน 2554)

[2] กาญจนา ศิรินภาพงษ์. (2551). **การพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจาน.** ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. นครปฐม.

[3] “สารชำระล้าง” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://family.most.go.th/index.php?option=com_ content&task=view&id=17&Itemid=2 (26 ตุลาคม 2552)

[4] “สารเคมีในชีวิตประจำวัน” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.pharm.su.ac.th/ cheminlife/cms/ index.php/bath-room/ethoxylated-nonyl-phenol (10 พฤศจิกายน 2554)

[5] ภกญ. รศ. ดร. อรัญญา มโนสร้อย และ ภก. รศ. ดร. จีรเดช มโนสร้อย**. น้ำมันหอมระเหยและสารสกัดจากสมุนไพรไทย : การใช้ทางยาและเครื่องสำอาง**. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: โรงพิมพ์ครองช่าง, 2548.

[6] ไชยยง รุจจนเวท และคณะ. (มปป.)**. 20 ปีสวนสมุนไพร สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี**. หน้า 200.

[7] กชวรรณ กำสิน. (2551). **การพัฒนาสูตรตำรับสบู่เหลวสมุนไพรเพื่อการฆ่าเชื้อ.** ปริญญาเภสัชศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

[8] ณัฐพันธุ์ ตันตินฤพงษ์ และตุลาภรณ์ ม่วงแดง. (2543). **การพัฒนาสบู่สมุนไพรต้านเชื้อ Propionibacterium acne.** ปริญญา เภสัชศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

[9] สุมนทิพย์ คงตัน. (2549). **การพัฒนาตำรับสบู่เหลวจากสมุนไพรไทยในการต้านเชื้อแบคทีเรียที่ผิวหนัง.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

[10] ภาควิชาจุลชีววิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. **จุลชีววิทยาปฏิบัติการ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัท เอส เค 07 จำกัด, 2538.

[11] “มผช. ๖๖๕/๒๕๕๓ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน สบู่ก้อนกลีเซอรีน” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://app.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps665_53.pdf (23 พฤศจิกายน 2554)

[12] “มอก. 1403-2551 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสบู่เหลว” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2551/E/078/9.PDF (23 พฤศจิกายน 2554)

[13] “มผช. ๑๗๗/๒๕๕๓ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดภาชนะที่ใช้ในครัว” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://app.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps177_53.pdf (23 พฤศจิกายน 2554)

Calculation of Radiation Attenuation Coefficients for Cement Containing with $BaCO_3$ and PbO

Jureeporn Chinhagow[1], Keerati Kirdsiri[1,2*], Nattapon Srisittipokakun[1,2] and Jakrapong Kaewkhao[1,2,3]

[1]*Science program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000 Thailand*

[2]*Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand*

[3]Thailand Center of Excellence in Physics, CHE, Ministry of Education, Bangkok 10400, Thailand

[*]*E-mail: keyrati@hotmail.com*

Abstract

The total and the partial attenuation coefficients have been calculated for cement containing $BaCO_3$ and PbO by using WinXCom in the photon energy region of 1 keV to 100 GeV. The elemental composition of cement samples were analyzed by using an energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer (EDXRF). Variations of the total mass attenuation coefficients with photon energy and weight percent of chemical composition in cement have been discussed.

Keyword: mass attenuation coefficients, cement, shielding

1. Introduction

The literature in works dealing with total mass attenuation coefficients of materials studied in various fields viz glass systems and biological materials [1-4] which are based on theory and experiment. Also, a number of works dealing with total mass attenuation coefficients of different building materials such as cement and cement mixed with different additives have been carried out [5-6]. There is a considerable interest in understanding the attenuation of radiation in building materials, so more works on this subject are required [5]. Cement is an important binding agent for construction. It is the most active component of concrete and usually has the greatest unit cost, its selection and proper use are important in obtaining most economically the balance of properties desired for any particular concrete mixture. [6]. Photon attenuation coefficient is an important parameter for characterizing the penetration X- and gamma-rays in the multielement materials. The scattering and absorption of gamma radiations are related to density and effective atomic numbers of material; knowledge of the mass attenuation coefficients is of prime importance [7]. Hubbell and Seltzer [8] reported the tables of mass attenuation coefficients for elements, mixtures and compounds for energy ranges from 1 keV to 100 GeV. For this purpose, a computer program have been developed by Berger and Hubbell, the XCOM computer program, for calculating cross-section and attenuation coefficient for elements, compounds and mixtures for photon energy from 1 keV to 100 GeV. Further, Gerward et al. [9-10] updated and transformed the XCOM to Window platform, is being called WinXCom [7].

In the present study, the mass attenuation coefficient of cement containing with $BaCO_3$ and PbO have been calculated by theoretical approach using WinXCom program for total and partial interactions in the energy range 1 keV to 100 GeV.

2. Material and Method

The equipment used in this work to analyze the elemental composition of samples is Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDXRF: PANalytical MiniPal4), which can be analyzed elemental composition in the concentration range from 100% down to the sub-ppm-level The elemental compositions of cement containing with $BaCO_3$ and PbO are enlisted in Table 1.

The photon mass attenuation coefficient (μ/ρ) for any chemical compound or mixture of elements is given by well-known mixture rule [2]:

$$(\mu/\rho) = \sum_i w_i (\mu/\rho)_i \qquad (1)$$

where w_i and $(\mu/\rho)_i$ are the fraction by weight and photon mass attenuation coefficient of i^{th} constituent element, respectively. For a chemical compound the fraction by weight, w_i, is given by:

$$w_i = \frac{n_i A_i}{\sum_j n_j A_j} \qquad (2)$$

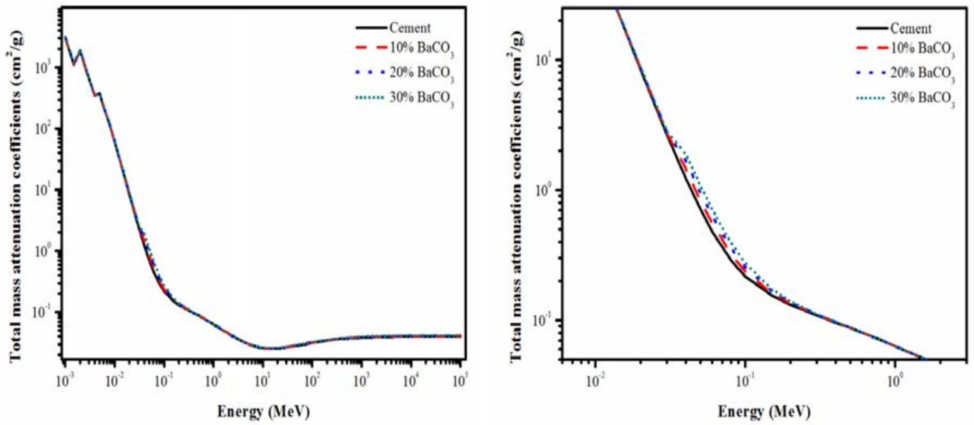
where n_i and A_i are the number of formula units and the atomic weight of the i^{th} element, respectively.

Table 1: The elemental composition of cement containing with $BaCO_3$ and PbO

Elements	10%$BaCO_3$	20%$BaCO_3$	30%$BaCO_3$	10%PbO	20%PbO	30%PbO
C	0.0009	0.0017	0.0026	-	-	-
O	0.0035	0.0070	0.0104	0.0010	0.0021	0.0031
Mg	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077
Al	0.0850	0.0847	0.0845	0.0849	0.0847	0.0845
Si	0.4705	0.4697	0.4690	0.4705	0.4697	0.4690
S	0.0012	0.0010	0.0009	0.0012	0.0010	0.0009
K	0.0520	0.0520	0.0520	0.0520	0.0520	0.0520
Ca	0.3266	0.3135	0.3004	0.3266	0.3135	0.3004
Ti	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058
Mn	0.0008	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008
Fe	0.0357	0.0357	0.0356	0.0357	0.0357	0.0356
Cu	0.0004	0.0003	0.0003	0.0004	0.0003	0.0003
Ba	0.0099	0.0200	0.0299	-	-	-
Pb	-	-	-	0.0133	0.0266	0.0399

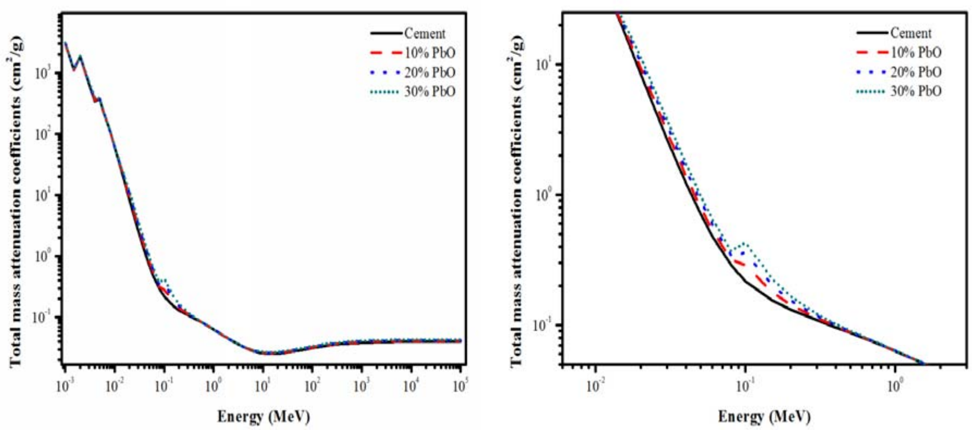
3. Results and Discussion

In the present work, the variations of total mass attenuation coefficients (μ/ρ) with widely range of photon energy for cement containing $BaCO_3$ and PbO in different proportions were studied. The results are shown graphically in Figure 1(a) and 2(a). Whereas Figure 1(b) and 2(b) are shown the variation of (μ/ρ) for cement containing with $BaCO_3$ and PbO in the energy range of 10 keV to 1 MeV. From Figure 1(a) and 2(a), the results are seen that variation in (μ/ρ) with chemical composition is large below 100 keV and negligible between 0.1–10 MeV and further there is a significant variation again in (μ/ρ) up to 100 MeV. These are due to the partial processes in three energy regions: (i) photoelectric absorption which varies as Z^{4-5} and occurs at low energy regions, (ii) incoherent scattering is the dominant process at intermediate energies and (iii) at high energy region, the variation in (μ/ρ) is due to the pair production process. While Compton scattering never plays any significant role since it occurs mainly at low energy region, where photoelectric process is the most important interaction process.



(a) (b)

Figure 1: The variation of total mass attenuation coefficients for cement containing with $BaCO_3$ in different proportions against photon energy for (a) total photon interactions (with coherent); (b) low-energy region with given K absorption edges of Ba



(a) (b)

Figure 2: The variation of total mass attenuation coefficient for cement containing with PbO in different proportions against photon energy for (a) total photon interactions (with coherent); (b) low-energy region with given K absorption edges of Pb

The partial interactions of the total mass attenuation coefficients versus photon energy, which are at the range of 1 keV -100 GeV, are plotted for 30%BaCO3 and 30%PbO and are shown graphically in Figure 3 and Figure 4, respectively.

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

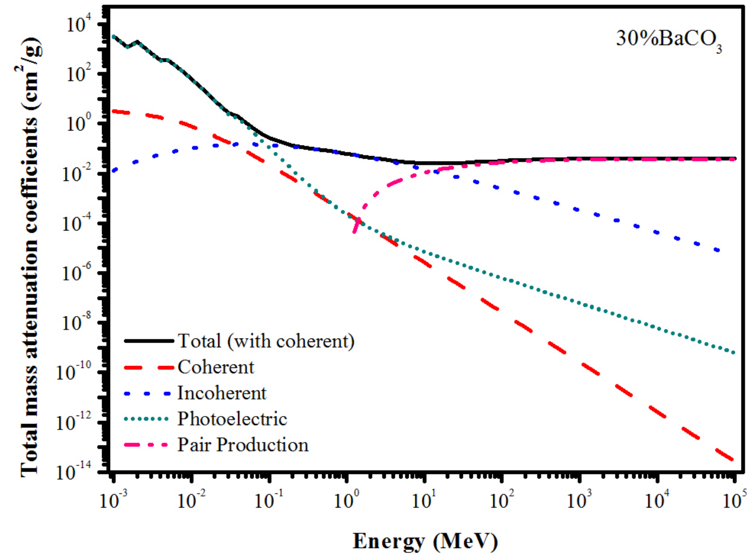


Figure 3: The variation of total mass attenuation coefficients of cement containing with 30%$BaCO_3$ against to photon energy for total and partial photon interactions (with coherent)

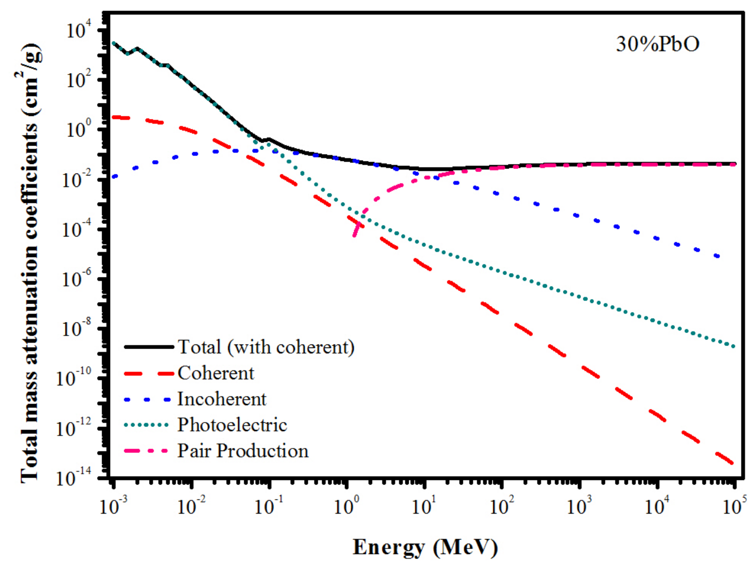


Figure 4: The variation of total mass attenuation coefficients for cement containing with 30%PbO against to photon energy for total and partial photon interactions (with coherent)

The maximum value of total mass attenuation coefficients (μ/ρ) is found at low energies (1 to 100 keV), where the $Z^{4\text{-}5}$ dependence of the photoelectric absorption cross-section gives a heavy weight to the highest atomic number of the material. The minimum value of (μ/ρ) is found at intermediate energies (100 keV to 10 MeV). At high energies (10 MeV to 100 GeV), pair production is dominant interaction. It has a weaker Z^2 dependence and gives less weight to the higher-Z elements than photoelectric absorption. Therefore the (μ/ρ) for photon energy absorption varies from a higher value at low energies to a lower value at higher energies and composition of cement containing with $BaCO_3$ and PbO. Below 100 keV, the variation of (μ/ρ) has discontinuities which arise from photoelectric effect around the M-, L- and K-absorption edge of element that shown in Table 2.

Table 2: K-absorption edges of element above 1 keV

Elements	Z	M5	M4	M3	M2	M1	L3	L2	L1	K
C	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	12	-	-	-	-	-	-	-	-	1.305
Al	13	-	-	-	-	-	-	-	-	1.560
Si	14	-	-	-	-	-	-	-	-	1.839
S	16	-	-	-	-	-	-	-	-	2.472
K	19	-	-	-	-	-	-	-	-	3.607
Ca	20	-	-	-	-	-	-	--	-	4.038
Ti	22	-	-	-	-	-	-	-	-	4.966
Mn	25	-	-	-	-	-	-	-	-	6.539
Fe	26	-	-	-	-	-	-	-	-	7.112
Cu	29	-	-	-	-	-	-	-	1.096	8.979
Ba	56	-	-	1.062	1.137	1.293	5.247	5.624	5.989	37.441
Pb	82	2.484	2.586	3.066	3.554	3.851	13.035	15.200	15.861	88.005

4. Conclusion

From this work, the total mass attenuation coefficients (μ/ρ) have been found to change with photon energy and proportion of $BaCO_3$ and PbO in cement. It can be explained on the basis of dominance of photon absorption process in the lower (photoelectric) which results in higher values for (μ/ρ), whereas in the and higher energy regions, pair production the dominant photon interaction process, which only degrades the photon energy and hence, results in the lower values for (μ/ρ). Moreover, the non-uniform variation of this parameter, below 100 keV, has discontinuous jumps which arise from M-, L- and K-edge effect.

5. Acknowledgement

The authors also gratefully acknowledge to Professor Gerward, L. for providing the WinXCom software. Kirdsiri, K. would like to acknowledge to Research Center, NPRU for financial support.

6. References

[1] Kaewkhao J., Laopaiboon J. and Chewpraditkul W., “Determination of Effective Atomic Numbers and Effective Electron Densities for Cu/Zn Alloy*”, JQSRT.* 109, 2008, pp.1261-1265.

[2] Manohara S.R. and Hanagodimath S.M., “Studies on effective atomic numbers and electron densities of essential amino acids in the energy range 1 keV–100 GeV” *Nucl. Instr. and Meth. B.* 258, 2007, pp.321-328.

[3] Singh K., Singh H., Sharma V., Nathuram R., Khanna A., Kumar R., Bhatti S.S. and Sahota H.S., “Gamma-ray attenuation coefficients in bismuth borate glasses”, *Nucl. Instr. and Meth. B.* 194, 2002, pp.1-6.

[4] Singh H., Singh K., Gerward L., Singh K., Sahota H.S. and Nathuram R., “ZnO–PbO–B_2O_3 glasses as gamma-ray shielding materials”, *Nucl. Instr. and Meth. B.* 207, 2003, pp.257-262.

[5] Kurudirek M., Turkmen I. and Ozdemir, Y., “A study of photon interaction in some building materials: High-volume admixture of blast furnace slag into Portland cement”, *Radiation Physics and Chemistry*, 78, 2009, pp.751–759.

[6] Chanthima N., Prongsamrong P., Kaewkhao J. and Limsuwan P., “Simulated radiation attenuation properties of cement containing with BaSO4 and PbO”, Procedia Engineering, 32, 2012.

[7] Erdem E., Baykara O., Dogru M. and Fatih Kuluozturk F., “ A novel shielding material prepared from solid waste containing lead for gamma ray”, Radiation Physics and Chemistry, 79, 2010, pp. 917-922.

[8] Hubbell J.H. and Seltzer S.M., “Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy absorption coefficients 1 keV to 20MeV for elements Z = 1-92 and 48 additional substances of dosimetric interest”, NISTIR, 5632, 1995.

[9] Gerward L., Guilbert N., Jensen K.B. and Levring H., “X-ray absorption in matter. Reengineering XCOM”, Radiat. Phys. Chem., 60, 2001; pp.23-24.

[10] Gerward L., Guilbert N., Jensen K.B. and Levring H., “WinXCom- a program for calculating X-ray attenuation coefficients”, Radiat. Phys. Chem., 71, 2004, pp.653-654.

Effect of Gd_2O_3 Doping on the Physical and Optical Properties of Soda Lime Silicate Glass

L. Nuwan[1], N. Srisittipokakun[1,2*], K. Kirdsiri[1,2], P. Chimalawong[3] and J. Kaewkhao[1,2,4]

[1]Science Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

[2]Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

[3]Physics Program, Faculty of Science and Technology, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok 10900, Thailand

[4]Thailand Center of Excellence in Physics, CHE, Ministry of Education, Bangkok 10400, Thailand

**E-mail address: Nattapon_g@hotmail.com, manasak_bird@hotmail.co.th, keyrati@hotmail.com, pitakpong12@hotmail.com, mink110@hotmail.com*

Abstract

Gd_2O_3 doped in soda lime silicate glasses have effect for optical properties of glass. This paper studied effect of mol% Gd_2O_3 doped on physical and optical properties of soda lime silicate glasses, which were prepared from reagent grade powders of SiO_2, CaO, Na_2O and Gd_2O_3. The glasses containing chemical in (65-x)SiO_2 : 10CaO : 25Na_2O : xGd_2O_3 where x = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 mol%. The density has been increased with the increase of Gd_2O_3 content. This indicates that increasing the molecular weight of oxide ions used in the glass was due to the replacing SiO_2 by Gd_2O_3. The molar volume depended on both the rates of change of density and molecular weight. However, the molar volume has been decreased when the concentration of Gd_2O_3 increased due to the decrease in the bond length or inter-atomic spacing between the atoms. This indicates that the structure becomes more compact. The refractive index was increased with increasing concentration of Gd_2O_3.

Keyword: soda lime silicate glass, optical properties, physical properties, Gd_2O_3

1. Introduction

Glasses containing gadolinium ions (Gd^{3+}) have attracted a great deal of interest due to their important physical and chemical properties. Such glasses are heat and mechanically resistant, chemically stable and show interesting optical and magnetic properties. This class of glasses has been widely studied for their possible applications in optical communications, laser technology, optical storage devices and immobilization of radioactive materials. These properties are determined by the environment of Gd^{3+} ions as well as by the Gd_2O_3 content and its distribution in the glass matrix [1,2].

A large number of commercial glasses are based on alkali borosilicate systems, with a majority of these glasses primarily containing Na_2O instead of any of the other alkali oxides. Most of the commercial glasses are actually phase separated with very fine scale morphology. The soda lime borosilicate glass consists of Na_2O, CaO, B_2O_3 and SiO_2 and widely studied is investigated in many field [3].

Therefore, the aim of the present study is to prepare the Gd_2O_3 doped soda lime borosilicate glass with different Gd_2O_3 concentrations and the effect of Gd_2O_3 content on the density, molar volume, refractive index and optical absorption have been studied.

2. Experimental

2.1 Glasses Preparation.

Gd_2O_3 doped in soda-lime-silicate glass samples were prepared with chemical composition (65-x)SiO_2 : 10CaO : 25Na_2O : xGd_2O_3 where x = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 mol%. All chemical composition was finely powder and then mixed in whole of composite. Each batch composition (about 30 g) was filled in high alumina crucibles and melted in an electrical furnace for 3 hours, at 1,500 °C. Afterwards, the melts were quickly poured onto a preheated stainless steel mould. Finally, the glass samples were cut and finely polished to a thickness of 3 mm for further investigation. The Gd_2O_3 doped glasses have been found to be colorless. Figure 1 presents the photographs of Gd_2O_3 doped glass samples in this work. The chemical compositions of the glasses are summarized in Table 1.

Gd_2O_3 (mol%)	Glass composition (mol%)
0.0	65.0SiO_2 : 10CaO : 25Na_2O
0.5	64.5SiO_2 : 10CaO : 25Na_2O : 0.5Gd_2O_3
1.0	64.0SiO_2 : 10CaO : 25Na_2O : 1.0Gd_2O_3
1.5	63.5SiO_2 : 10CaO : 25Na_2O : 1.5Gd_2O_3
2.0	63.0SiO_2 : 10CaO : 25Na_2O : 2.0Gd_2O_3
2.5	62.5SiO_2 : 10CaO : 25Na_2O : 2.5Gd_2O_3

Table 1. Chemical compositions of the glasses

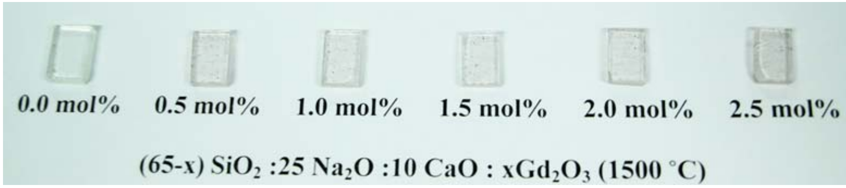


Figure 1. Undoped and different SrO doped in soda lime borosilicate glasses samples

2.2 Density and Molar Volume.

The densities of glass samples were measured with xylene as an immersion liquid. The density, ρ was calculated by applying Archimedes principle [4],

$$\rho = (W_a \times \rho_b)/(W_a - W_b), \qquad [1]$$

where W_a and W_b are the weight of glass in air and xylene, respectively, and ρ_b is the density of xylene (ρ_b = 0.863 g/cm^3). All weight measurements used a sensitive microbalance. The corresponding molar volume (V_M) were calculated with the relation [4],

$$V_M = M_T/\rho \qquad [2]$$

where M_T is the total molecular weight of the multi - component glass system given by

$$M_T = x_{SiO_2} Z_{SiO_2} + x_{Na_2O} Z_{Na_2O} + x_{CaO} Z_{CaO} + x_{Gd_2O_3} Z_{Gd_2O_3} \qquad [3]$$

where x_{SiO_2}, x_{Na_2O}, x_{CaO} and $x_{Gd_2O_3}$ are the mole fractions of the constituent oxides, and Z_{SiO_2}, Z_{Na_2O}, Z_{CaO} and $Z_{Gd_2O_3}$ are the molecular weight of the different oxides.

2.3 Optical absorption.

The optical absorption spectra were recorded at room temperature using a UV–Vis spectrophotometer (Shimadzu UV 3600), in the wavelength of 200 – 1,100 nm at room temperature. The refractive index was measured at room temperature by using an Abbe refractometer (ATAGO-3T) and monobromonaphthalene as an adhesive coating.

2.4 Refractive index.

The refractive index were measured by using an Abbe refractometer (ATAGO) with a sodium vapor lamp as the light source emitting wavelength, λ, of 589.3 nm (D line) and having mono-bromonaphthalene as the contact layer between the sample and prism of the refractometer.

3. Results and discussions

3.1 Physical properties.

The measured densities and molar volume of these glasses are shown in Figure 2 and Figure 3, respectively. When addition of Gd_2O_3 into soda lime borosilicate glasses, the density has been increased with the increase of Gd_2O_3 contents. This indicate that increasing the molecular weight of oxide ions used in the glass was increased

due to the replacing SiO_2 by Gd_2O_3, resulting in the increase of density of these glasses. The density of glass samples are between 2.5406 – 2.7618 g/cm^3.

The molar volume depends on both the rates of change of density and molecular weight. However, the molar volume has been decreased when the concentration of Gd_2O_3 was increased which is due to the decrease in the bond length or inter-atomic spacing between atoms. This indicates that the structure becomes more compact. The molar volume of glass samples are between 22.0558 – 23.6787 cm^3/mol.

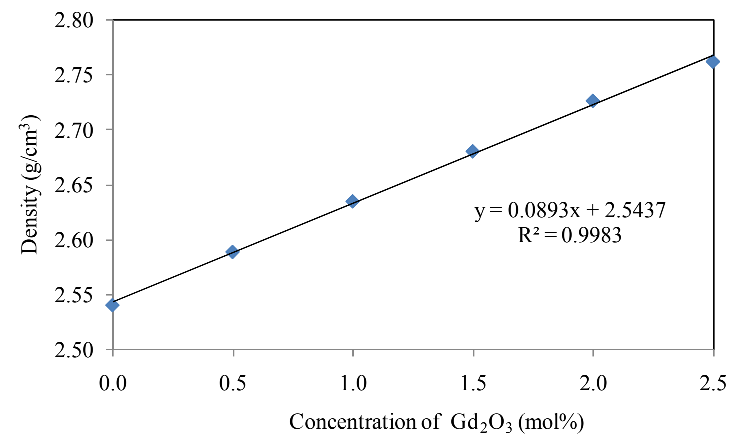


Figure 2. The density of Gd_2O_3 doped in soda lime borosilicate glasses

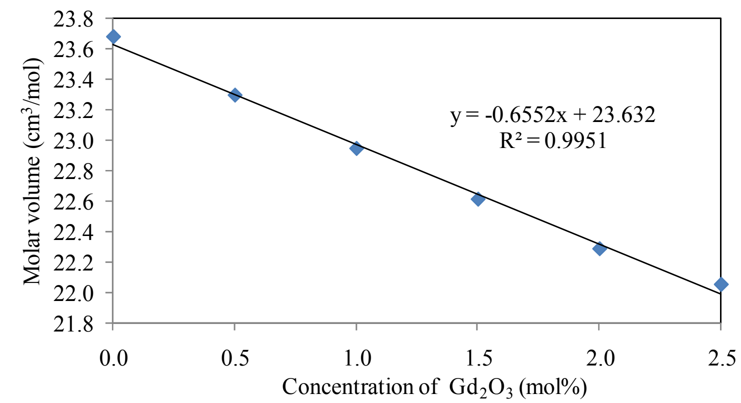


Figure 3. The molar volume of Gd_2O_3 doped in soda lime borosilicate glasses

The refractive index (Figure 4) was measured by an Abbe refractometer, which permits the measurement of refractive indices up to 1.7 with an accuracy of 0.0002. The refractive index of glass samples are between 1.5245 – 1.5454. It was observed that the refractive index increases with increasing concentration of Gd_2O_3. This result shows similar trend with density result.

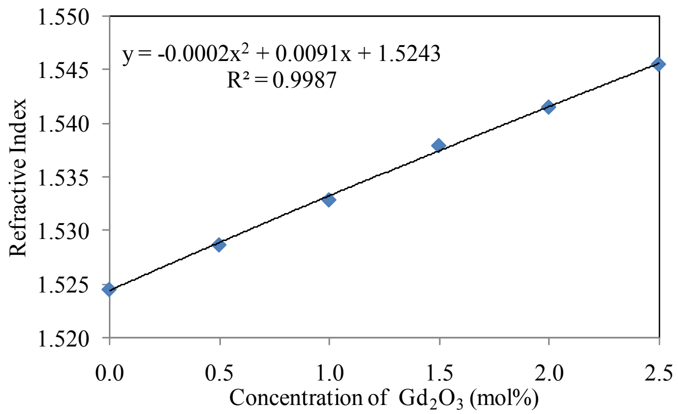


Figure 4. The refractive index of Gd_2O_3 doped in soda lime borosilicate glasses

3.2 Optical absorption.

Optical absorption spectra of undoped and different Gd_2O_3 doped soda lime borosilicate glasses in wavelength range 200 – 1,100 nm are shown in Figure 5. The absorption edge occurred at a wavelength of around 320 nm for all Gd_2O_3 concentration. It can be observed that the absorption edge was slightly shifted to the longer wavelength with increasing of Gd_2O_3 concentration.

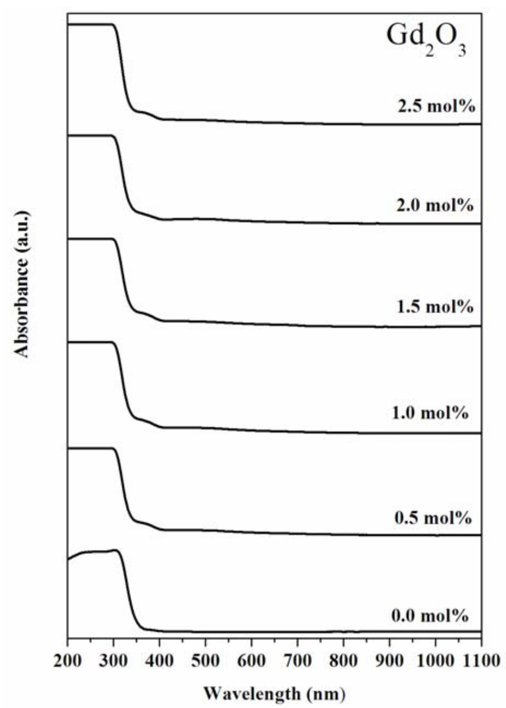


Figure 5. Optical absorption spectra of Gd_2O_3 doped soda lime borosilicate glasses

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

Summary

All samples were soda lime silicate glass system which they chemical composite in percent mole; (65-x)SiO_2 : 10CaO : 25Na_2O : xGd_2O_3 where x = 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 mol%. The density has been increased with the increase of Gd_2O_3 content. This indicate that increasing the molecular weight of oxide ions used in the glass was due to the replacing SiO_2 by Gd_2O_3. The molar volume depended on both the rates of change of density and molecular weight. However, the molar volume has been decreased when the concentration of Gd_2O_3 was increased due to the decrease in the bond length or inter-atomic spacing between the atoms. This indicates that the structure becomes more compact. The refractive index has been increased with increasing concentration of Gd_2O_3.

Acknowledgements

The authors wish to thank National Research Council of Thailand (NRCT) funding this research. Thanks are also due to Research and Development Institute, NPRU for facilities.

References

[1] P. Pascuta, E. Culea, “Effect of gadolinium ions on the structure and magnetic properties of zinc-borate glasses and glass ceramics”, J Mater Sci, 47, 2012, pp. 2345-2351.

[2] P. Pascuta, “Structural investigations of some bismuth–borate–vanadate glasses doped with gadolinium ions”, J Mater Sci: Mater Electron, 21, 2010, pp. 338–342.

[3] Jayshree Ramkumar, et al., “Barium borosilicate glass as a matrix for the uptake of dyes”, Journal of Hazardous Materials, 172, 2009, pp. 457-464.

[4] Ali, A.A., “Optical properties of Sm^{3+}-doped CaF_2 bismuth borate glasses”, Journal of Luminescence, 129, 2009, pp. 1314–1319.

Development of the Spa Products in Bangrakam Subdistrict, Banglen District, Nakhon Pathom Province: Primary Case Study of Derris Scandens, Cryptolepis Buchanani and Curcuma Aromatica in Herbal Compress

Arunrat Sunthitikawinsakul

Program of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University,
Nakhon Pathom 73000, Thailand
E-mail: arunrat28@npru.ac.th

Abstract

The preliminary phytochemical analysis of Derris scandens, Cryptolepis buchanani and Curcuma aromatica aqueous extracts showed free radical scavenging activity and only D. scandens was found that containing flavonoids. The herbal compress, comprising of D. scandens, C. buchanani and C. aromatica as an active ingredient, was studied on relieving of muscular pains and aches in the purposive sampling using a 5-Heidonic scale satisfactory questionnaire with an opening comment. For the results, it was found that the volunteers perceived to relieve a muscular tension after treatment of the herbal compress formula that containing D. scandens and C. buchanani with a statistical difference at 0.05 (p<0.05). While the formulae containing C. aromatica / D. scandens and C. aromatica / C. buchanani trended to be a synergism as a tendolysis activity. Moreover, C. aromatica also exhibited as a skin softener and a moisturizer. Generally, all volunteers pleased with the quality of the herbal compress formula that comprising entirely D. scandens, C. buchanani and C. aromatica. However, this activity should be further confirmed by using an electromyogram as the scientific equipment for determination of muscular contractility.

Keywords: herbal compress; *Derris scandens*; *Cryptolepis buchanani*; *Curcuma aromatica*; Bangrakam subdistrict, Banglen district, Nakhon Pathom Province

1. INTRODUCTION

Bangrakam subdistrict is located in Banglen district, Nakhon Pathom Province and also has 15 villages which cover about 30 square kilometers. The landscape is a low plan area and there is the Ta Jeen River flowing through. The principal career of people who inhabit in the community is an agriculturist, and also an employee and an owner are subordination [1]. Some housewife and older have gotten together the united groups, such as a spa group, following their attention and aptitude to propose for main or supply earning. In addition, major customers of the spa group are inhabitants who have pains and aches after routine. After our group has organized the spa group's workshop, we found that many products which were used for massage and distributions have been mostly available from elsewhere. This affect gets them to have a little income. Thus,

the members have required the manual preparation of the spa products and the herbal compress is the first choice product.

The herbal compress is a spa product containing a variety of fresh or dried herbs that are known to remedy deformed tendon, ached and a tired muscle, to relieve a swell and inflammation, and also to treat dermatitis. All herbs are mixed and packed in a calico as a ball, after steamed, and it's taken to compress on the organ. The action of remedy is the releasing of active compounds from herbs *via* a stored heat inside a ball [2]. Probably, three herbs, *Derris scandens*, *Cryptolepis buchanani* and *Curcuma aromatica*, could be interestingly used as an important ingredients in the herbal compress.

Derris scandens (Roxb.) Bent. (family: Legumminosae), knew as Thao Wan Priang, is one of the alternative medicinal plants commonly used in Thailand [3], [4]. *D. scandens* is a woody vine growing throughout Southeastern Asia. Its natural leaves are similarly sorted as a feather. The flower is a pale pink likely as a bean flower. The fruit of *D. scandens* is a sheath. There are two kinds of *D. scandens*, red and white, that show similar properties. Normally, the white kind is popular used because the red one is difficultly available. In Thai traditional medicine [5], *D. scandens* stem was widely used instead of tea leaves for drinking with treatment of expectorant, antitussive, diuretic, antidysentery, ache, beriberi and cachexia. Biologically, *D. scandens* aqueous extract displayed anti-inflammatory activity both *in vivo* and *in vitro* experiments [6], anti-free radical scavenging activity [7], [8], anticancer [9] and diabetes [10]. In addition, it was found that a 400 mg/day dosing of *D. scandens* extract was used for immunostimulating activity [11]. Recently, the Department of Medicinal Sciences has successfully research of the *D. scandens* extract to cure back and joint pains [12]. Moreover, it would be further promoted to be an inflammatory medicine instead of a steroidal drug from the foreign countries. Most chemical constituents, which had been reported, were free and glycoside isoflavones [13], [14], [15], such as chadalone (**1**), derriscandenoside A-E (**2-6**), derriscannoside A-B (**7-8**) and *etc* (Figure 1).

Cryptolepis buchanani Roam. & Schult (family: Asclepiadaceae) are commonly called in Thai name as Thao En On. It is distributed throughout hot deciduous forests of Southeastern Asia including Thailand. Its botany is a woody vine with inner white latex, a yellow flower, a double sheath and a single leaf [3]. Ethnologically, *C. buchanani* was used as a medicine [16] for anti-diarrhoeal, anticulcerative, anti-inflammation, cough treatment and antibacterial activity, by drinking of the stems or leaves aqueous extracts. Its pharmacology had been reported such as anti-inflammatory activity [17], [18], whose cause was muscular and joint pains and arthritis, immune stimulating activity [16], [19], [20], antifungal activity against a human dermatophytic fungi [21], antibacterial [22], [23] and cardiac [24] activities. The major chemical constituents [22], [25], [26], [27] were found in this plant, were cardenolide glycosides i.e. cryptosin (**9**) and cryptanosides A (**10**), and alkaloids such as buchananine (**11**) together with keto fatty acids [28] (Figure 2).

Curcuma aromatica Salisb, commonly known as Wann Naang Kham (or wild tumeric), belongs to the family Zingiberaceae. It is an erect perennial species herb scattering throughout the tropical and subtropical regions of the world and is widely cultivated in Asia countries including Thailand. Its rhizome is a light yellow and possesses a camphoraceous odour [3]. Historically, *C. aromatica* rhizome was used as an antibiotic against various microbial infections, tonic, carminative, rash, infected and blued skin and improvement of complexion. The root of *C. aromatica* has been also used as expectoration and chronic gonorrhea. The bioactive potential activities were reported to exert various activities such as antibacterial and antifungal activities [29], healing for wound, inflammation [30] and muscular contraction [31]. The active compounds were found in *C. aromatica* rhizome contained largely curcuminoids, curcumin (**12**), demethoxycurcumin (**13**) and bis-demethoxycurcumin (**14**) (Figure 2) as antioxidant and whitening agents [32]. Mainly, volatile oil composed of camphor, borneol, caryophyllene oxide, camphene, curcumadione and curcumol [33], [34], [35], [36].

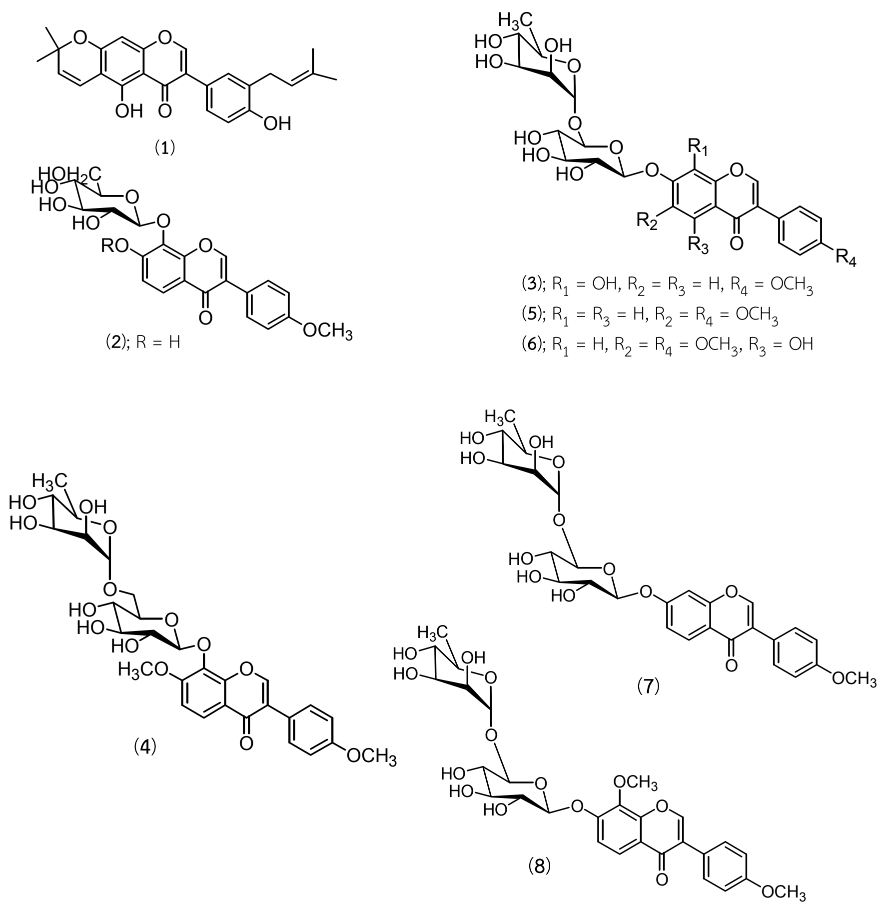
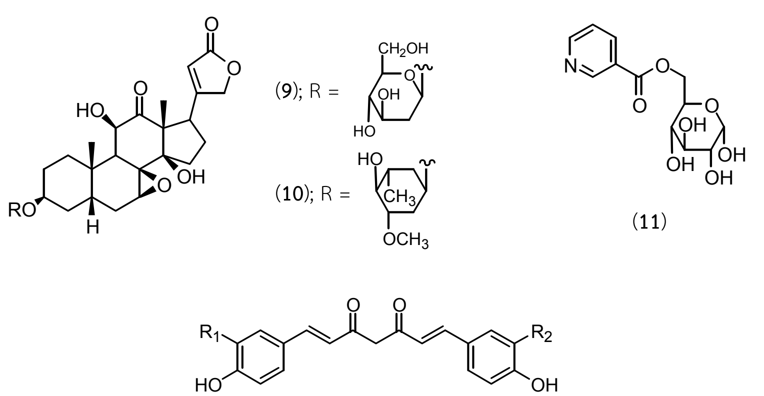


Figure 1: Active constituents from *D. scandens*



(**12**); $R_1 = R_2 = OCH_3$
(**13**); $R_1 = H$, $R_2 = OCH_3$
(**14**); $R_1 = R_2 = H$

Figure 2: Active constituents from *C. buchanani* and *C. aromatica*

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

As according to, people have currently preferred to use the herbal compress for relieving muscular aches and pains. Also, many formulae have been prepared depend on herbs in each area [37]. However, its specification must contain at least three herbs, *Zingiber cassumunar* (or Plai), *Curcuma longa* (or Kha Min Chan) and *Cymbopogon citratus* (or Ta Krai), that has been assigned by the Thai Community Product Standard (TCPS) no. 176/2003 [38]. Therefore, the aim of this research is to study and develop the herbal compress formulae, containing *D. scandens*, *C. buchanani* and *C. aromatica* that could be used in following their properties. The useful of this research, we hope that it would be increasing of their efficacy and added product value. Additionally, the local people would have more earn corresponding to the local development planning of Bangrakam subdistrict in 1998 [39] that has been assigned to inhabitants for learning of a research methodology by themselves and to live on one’s own toil for sustainable.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 Plant materials

All fresh herbs, *D. scandens* stems, *C. buchanani* stems, *C. aromatica* rhizomes, *Z. cassumunar* rhizomes, *C. longa* rhizomes, *C. citratus* aerial part, *Citrus hystrix* peels, *Tamarindus indica* old leaves and *Acorus calamus* rhizomes, were collected surrounding Nakhon Pathom Province.

2.2 General procedures

The dried and ground *D. scandens or C. buchanani or C. aromatica*, 20 g, was macerated with water at 60-70 °C during 6 hrs. Then, it was filtered to afford the aqueous extracts of *D. scandens* or *C. buchanani or C. aromatica*, respectively.

The R_f value was carried out on TLC aluminum sheet as Kiesel gel 60 (SiO_2), F_{254} (230-400 mesh) of Merck.

2.3 Phytochemical screening methods

1. ***Flavonoids screening*** as follows: [40]
   - *Flavones, Flavonols and Flavonones*:

     A testing method was usually called as a cyanidin reaction. Three or four small pieces of magnesium metal following by 10 drops of *conc.* HCl were added into the extract. The color of solution was observed in order to classify the presence of flavonoids that would specifically display their color, a yellow to a red as flavones, a crimson as flavonols, a green or a blue as a flavonones and a magenta as flavonone glycosides.
   - *Anthocyanidins*:

     1% HCl was added into the extract and then heated to appear an orange to a bluish red solution as a positive test.
   - *Leucoanthocyanidins*:

     2 M HCl and 1-propanol were added into an extract and then heated for 15-30 min to afford a red or purple solution as a positive test.

2. ***Anti-free radical scavenging screening*** as follows:

Each extract was spotted on TLC and then developed in a chamber containing a suitable mobile phase of each aqueous extract, 75% ethanol/ethyl acetate for *D. scandens* extract, 75% ethanol/H_2O for *C. buchanani* and 75% methanol/H_2O for *C. aromatica*, until the mobile phase reached to the solvent front. Then, it was carried off to give a chromatogram and the position of the spot was marked after detection with $UV_{254 \text{ and } 366 \text{ nm}}$ lamps and further sprayed over with 1.2×10^{-4} M DPPH. A positive test showed an off-purple spot whose R_f value was calculated as follow:

$$R_f = \text{A distance of compound spot / A distance of solvent front}$$

2.4 Preparation of the herbal compress

All herbs were cleaned and then sliced into the smaller pieces before incubating at 60-70 °C until dry. Each ingredient of herbal compress formula was weighed following the ratio (Table 1) and then mixed together. A mixture was filled into a calico and tightly packed with a rope yarn to afford the herbal compress as a ball with a diameter of 9 cm.

The efficacy of the tested herbal compress, was steamed for 5 min before using, was compared to a control that were performed by a 5-Heidonic scale satisfactory questionnaire with an opening comment. Statistical data analysis was evaluated by Microsoft office Excel 2007. The sampling method was a purposive sampling [41] for using 10-15 volunteers/formula who had aches and pains.

Table 1: Weight of active ingredients in a variety of herbal compress

Ingredients	Weight (g) / formula						
	control	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Z. cassumunar rhizomes	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5
C. longa rhizomes	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
C. citratus aerial part	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Citrus hystrix peels	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
Tamarindus indica old leaves	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Acorus calamus rhizomes	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
camphor	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
***D. scandens* stems**	**-**	**7.5**	**-**	**-**	**7.5**	**-**	**7.5**
***C. buchanani* stems**	**-**	**-**	**7.5**	**-**	**-**	**7.5**	**7.5**
***C. aromatica* rhizomes**	**-**	**-**	**-**	**7.5**	**7.5**	**7.5**	**7.5**

3. RESULTS AND DISCUSSION

The qualities of *D. scandens*, *C. buchanani* and *C. aromatica* were identified by the preliminary phytochemical testing for flavonoids and free radical scavenging activity. Consequently, it was found that the flavonoids screening was only appeared in *D. scandens* aqueous extract [21], [42], while all extracts showed the free radical scavenger constituents (Table 2). We expected that they contained flavonoids and/or phenolic compounds. Mechanically, these compounds (Ar-OH) were reacted with DPPH radical to give the most stable

radical (Ar-O˙). In addition, the radical on the oxygen atom could be delocalized, commonly called as a resonance effect (Figure 3).

Table 2: Preliminary phytochemical analysis of *D. scandens*, *C. buchanani and C. aromatica* aqueous extracts

Active constituents	Tested results		
	D. scandens	*C. buchanani*	*C. aromatica*
Flavones, Flavonols and Flavonones	+	-	-
Anthocyanidins	+	-	-
Leucoanthocyanidins	-	-	-
Anti-free radical scavengers	+ (R_f = 0.45-0.55)	+ (R_f = 0.7-0.85)	+ (R_f = 0.6-0.8)

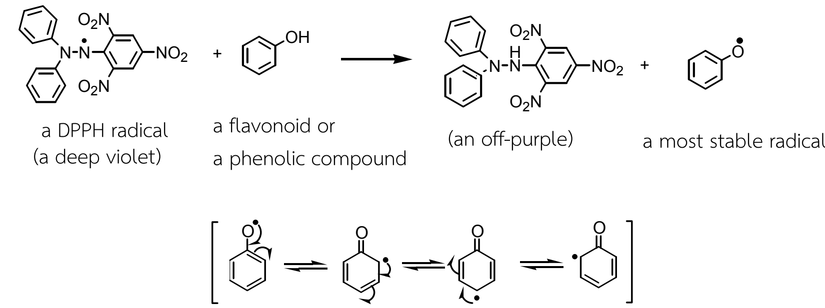


Figure 3: Reaction between DPPH radical and anti-free radical compound

Comparatively, the herbal compress (formulae 1-6) consisting of *D. scandens*, *C. buchanani* and *C. aromatica* were tested for their effects with the control formula containing rhizomes of *Z. cassumunar* [43] and *C. longa* [44] with anti-inflammation and relieving for aches and pains, *C. citrus* peels for treatment of nausea [45], *T. indica* leaves for anti-itching [46] and camphor [44], *A. calamus* rhizomes and *C. citratus* aerial part [47] for an aroma. The effects were tested with the specified volunteers and then evaluated by using the 5-Heidonic scale satisfactory questionnaire with an opening opinion. For the results (Table 3), it was found that both formulae 1 (3.50 score) and 2 (3.48 score) comprising *D. scandens* and *C. buchanani*, respectively, showed to relieve muscular aches and pains with a statistical difference at 0.05 ($p<0.05$). The volunteers preferred the formulae 4 (3.10 score) and 5 (3.40 score), containing *C. aromatica/D. scandens* and *C. aromatica/ C. buchanani*, respectively, by comparison with the formula 3 (3.07 score) that included only *C. aromatica*. This means that *C. aromatica* could be inclined to a synergism of *D. scandens* and *C. buchanani*. In addition, *C. aromatica* also provided a good skin softening and moisturizing effects. In general, the herbal compress composing of *D. scandens*, *C. buchanani* and *C. aromatica* especially formula 6 ($p<0.05$), that had three herbal components, which showed higher quality than control.

Table 3: Satisfactions of the herbal compress formulae using a 5-Heidonic scale questionnaire

Items	Satisfactions / the herbal compress formula						
	control	1	2	3	4	5	6
to relieve aches and pains	3.00[a, b]	3.50[a]	3.48[b]	3.07	3.10	3.40	3.33
aroma	3.07[c]	3.10	3.07	3.83[c]	3.33	3.40	3.40
skin moisturizer	3.26	3.47	3.10	3.33	3.40	3.27	3.54
skin softener	3.38[d]	3.47	3.69	3.26	3.50	3.20	3.83[d]
average	**3.18**	**3.39**	**3.34**	**3.37**	**3.33**	**3.32**	**3.53**

[a, b, c, d] were a statistical difference of 0.05 ($p<0.05$)

4. CONCLUSION

D. scandens and *C. buchanani* in herbal compress should be used for a muscular relaxation, while *C. aromatica* trended to be a synergism including skin moisturizer and softener. Unfortunately, these results were evaluated from small amounts of the available volunteers. Thus, it should be accurately confirmed by using an electromyogram which is the scientific equipment. Furthermore, we have continually attempted for research to develope the herbal compress which leading to its standard in the future.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was financially supported by Nakhon Pathom Rajabhat University. Some stems of *D. scandens* were given by Ban Samoonpai Jaidee.

REFERENCES

[1] “บางระกำ” Retrieved October, 2000, from http://www.bangrakam-sao.go.th

[2] เพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ, “การแพทย์แผนไทย สายใยแห่งชีวิตและวัฒนธรรม”, นนทบุรี: องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก, 2540.

[3] เต็ม สมิตินันท์, “ส่วนพฤกษศาสตร์ป่าไม้, ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย” (พิมพ์ครั้งที่ 2), ประชาชน: กรุงเทพฯ, 2544.

[4] Ikegami F., “Active Constituents in Chinese, Ayuvedic, and Thai Herbal Medicines: Applicable Separation Procedures”, Thai Journal of Health Research, 19 (1), 2005, pp. 1-12.

[5] Tiangburanatham W., “Dictonary of Thai Medicinal Plants”, Bannkok: Prachumtong Printing, 1996, pp. 349-350.

[6] Ganapaty S., Josaphine J. S. and Thomas, P. S., “Anti-inflammatory Activity of *Derris scandens*”, Journal of Remedies, 6 (1), 2006, pp. 73-76.

[7] Laupttarakasem P., Houghton P. J. and Hoult, J. R. S., “Anti-inflammatory Isoflavonoids from the Stems of *Derris scandens*”, Planta Medica, 70 (6), 2004, pp. 496-501.

[8] Roa S. A. and et al., “Isolation Characterization and Chemobiology Quantification of (-)-Glucsodase Enzyme Inhibitory and Free Radical Scavenger Constituents from *Derris scandens* Benth.”, Journal of Chromatography, B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Science, 855 (2), 2007, pp. 166-172.

[9] Saetung A. and et al., “Cytotoxic Activity of Thai Medicinal Plants for Cancer Treatment”, Songklanakarin Journal of Science Technology, 27 (2), 2005, pp.469-478.

[10] Jansakul C., Srichanbarn A. and Saelee A., “Some Pharmacological Studies of a Hypotensive Fraction from *Derris scandens*”, Journal of Science Society of Thailand, 23 (4), 1997, pp. 323-334.

[11] Sriwanthana B. and Chavalittumong P., “In Vitro Effect of *Derris scandens* on Normal Lymphocyte Proliferation and Its Activities on Natural Killer Cells in Normals and HIV-1 Infected Patients”, Journal of Ethnopharmacology, 76 (1), 2001, pp. 125-129.

[12] “เถาวัลย์เปรียง” Retrieved October, 2000, from http://www.pknation.net/blog.print/php?id=40283 and http://www.radompon.com/board/knowlage/data/0049.html

[13] Falshaw C. P. and et al., “Natural Occurrence of 3-Aryl-4-hydroxycoumarins. Part II. Phytochmeical Examination of *Derris scandens* (Roxb.) Benth.”, Journal of Chemical Society (C), 1969, pp. 374-382.

[14] Rukachaisirikul V. and et al., “Isoflavone Glycosides from *Derris scandens*”, Phytochemistry, 60 (8), 2002, pp. 827-834.

[15] Sekine T. and et al., “Six Diprenylisoflavonones, Derrisisoflavones A-F, *Derris scandens*”, Phytochemistry, 52 (1), 1999, pp. 87-94.

[16] Kaul A. and et al., “Immunopotentiating Properties of *Cryptolepis buchanani* Root Extract”, Phytotherapy Research, 17 (10), 2003, pp. 1140-1144.

[17] Laupattarakasem P. and et al., “An Evaluation of the Activity Related to Imflammation of Four Plants Used in Thailand to Treat Arthritis”, Journal of Ethnopharmacology, 85 (2-3), 2003, pp. 207-215.

[18] Laupattarakasem P. and et al., “In Vitro and in Vivo Anti-inflammatory Potential of *Cryptolepis buchanani*”, Journal of Ethnopharmacology, 108 (3), 2006, pp. 349-354.

[19] Maurya R. and et al., “A Process for Preparation of Pharmaceutical Composition Useful for Treatment Immunodeficiency”, Indian Patent Application, IN no 2003-DE176, 2007.

[20] Maurya R. and et al., “Pharmaceutical Composition Comprising Extract from Plant *Cryptolepis buchanani* for Treating Inmmodeficiency”, Indian Patent Application, IN no. 2003-DE176 and US patent no. 2001-24401, 2007.

[21] Vinayaka K. S., Kekuda T. R., Mallikiarjum N. and Sateesh, V., “Anti-dermatophyte Activity of *Cryptolepis buchanani* Roem. & Schult”, Pharmacognosy Journal, 2 (7), 2010, pp. 170-172.

[22] Vasanth S., Gopal R. H. and Rao R. B., “Antibacterial Activity of *Cryptolepis buchanani*”, Fitoterapia, 68 (5), 1997, pp. 463-464.

[23] Sittiwet C. and Puangpronpitag, D., “Anti-bacterial Activity of *Cryptolepis buchanani* Aqueous Extract”, International Journal of Biological Chemistry, 3, 2009, pp. 90-94.

[24] Rao V. R. and Banning J. W., “Interactions of Cryptosin with Mammalian Cardiac (-)-Adrenoceptors”, Drug and Chemical Toxicology, 13 (2-3), 1990, pp. 173-194.

[25] Purushothaman K. K. and et al., “New Sarverogenin and Isosarverogenin glycosides from *Cryptolepis buchanani*”, Revista Latinoamericana de Quimica, 19 (1), 1988, pp. 28-31.

[26] Venkateswara R., Nerendra N., Viswamitra M. A. and Vaidyanathan C. S., “Cryptosin, a Cardenolide from the Leaves of *Cryptolepis buchanani*”, Phytochemistry, 28 (4), 1989, pp. 1203-1205.

[27] Dutta S. K., Sharma B. N. and Sharma P. V., “Buchanamine, a Novel Pyridine Alkaloid from *Cryptolepis buchanani*”, Phytochemistry, 17 (11), 1980, pp. 2047-2048.

[28] Daulatabad C. D. and et al., “*Cryptolepis buchanani* Seed Oil: a Rich Source of Keto Acid”, Journal of the American Oil Chemists’ Society, 69 (2), 1992, pp. 188-189.

[29] Sharif M. A.-R. and et al., “Essential Oil Composition and Antioxidant Activities of *Curcuma aromatica* Salisb.”, Food and Chemical Toxicology, 48, 2010, pp. 1757-1760.

[30] Wangsrimomgkol T., “Anti-inflammatory effect of *Cryptolepis buchanani* and *Derris scandens*”, Doctor of Philosophy in Phamacology, Khon Kaen University, 2006.

[31] He B. and et al., “Effect of Regulating qu to Dissipate Blood Stasis and Phlegm on Relieving Lipid Peroxidation Injury in Rats with Nonalcoholic Steatohepatitis and Its Mechanism”, Zhongguo Ahongxiyi Jiehe Xiaohua Zazhi, 14 (4), 2006, pp. 242-245.

[32] Xue L., Lin X., Zhang H. and Zhu C., “Separation and Determination of Curcumin in *Curcuma aromatica* Salisb by Capillary Zone”, Huaxue Yanjiu Yu Yingyong, 18 (4), 2006, pp. 368-371.

[33] Kuroyanagi M. and et al., “Structures of Sesquiterpenes from *Curcuma aromatica* Salisb”, Ibid, 35 (1), 1990, pp. 53-59.

[34] Kuroyanagi M. and et al., “Structures of Sesquiterpenes of *Curcuma aromatica* Salisb. II. Studies on Minor Sesquiterpenes”, Chemical Pharmaceutical Bulletin, 38 (1), 1990, pp. 55-58.

[35] Rao J. T. and Nigam S. S., “Essential Oil from the Rhizomes of *Curcuma aromatica*”, Flavour Indian, 5, 1974, p. 234.

[36] Yusuda K. and et al., “Multiplicatin of *Curcum*a Species by Tissue Culter”, Planta Medica, 54 (1), 1988, pp. 75-79.

[37] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, “มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนลูกประคบสมุนไพร มผช. 176/2546”, กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดไทยเจริญ, 2546.

[38] สุนีย์ จันทร์สกาวและคณะ, “รายงานการวิจัยเรื่อง มาตรฐานและการควบคุมลูกประคบล้านนา”, คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548, หน้า 5-8.

[39] “แผนชุมชน ต.บางระกำ อ.บางเลน จ.นครปฐม” (อัดสำเนา), 2551, หน้า 5-12.
[40] รัตนา อินทรานุปกรณ์, “การตรวจสอบและการสกัดแยกสาระสำคัญจากสมุนไพร” (พิมพ์ครั้งที่ 2), กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550, หน้า 63-79.
[41] ณรงค์ โพธิ์พฤกษานันท์, “ระเบียบวิธีวิจัย” (พิมพ์ครั้งที่ 5), กรุงเทพฯ: เอ็กซเปอร์เน็ท, หน้า 173-177.
[42] Kumar A. R. and et al., “Phytochemical Screening of Selected Medicinal Plants of Asclepiadaceae”, Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences, 9 (1), 2007, pp. 177-180.
[43] สมพร ภูติยานันต์, “สมุนไพรเกี่ยวกับชีวิตประจำวัน เคมีในชีวิตประจำวัน”, วารสารเคมีน่ารู้, 2 (1), 2546, หน้า 55-59.
[44] สถาบันวิจัยสมุนไพร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, “ขมิ้นชันมาตรฐานสมุนไพรไทย เล่ม 2”, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ ร. ส. พ., 2544, หน้า 5-19.
[45] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, “สมุนไพรสวนสิรีรุกขชาติ”, กรุงเทพฯ: อัมรินทร์ พริ้นติ้ง กรุ๊ฟ, 2525.
[46] Faculty of Pharmacy, Mahidol University, “Specification of Thai Medicine Plant volume 1”, Bangkok: Aksornsamparn Press, 1996.
[47] พรรนิภา ชุมศรี และคณะ, “สวนนานา พฤกษสมุนไพร. โครงการวิจัยปลูกและรวบรวมพันธุ์พืชสมุนไพร”, มหาวิทยาลัยมหิดล, 2545.

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

ไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายตะกั่วในเส้นใยมะพร้าวแปรสภาพ

The Adsorption Isotherm of Lead Solutions in Pretreatment Coconut Fibers

จตุพล ลิ้มทุติเนตร[1], ธัญลักษณ์ หยกคล้อย[1], ณัฐกานต์ สว่างเนตร[1], ภาวดี แก้วสระแสน[1] และ สุวิมล เรืองศรี[1,2]

[1]โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม อ. เมือง จ. นครปฐม

E-mail: lipton-9@hotmail.com

[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศด้านแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม อ. เมือง จ. นครปฐม

E-mail: suwimonn@live.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายตะกั่วในเส้นใยมะพร้าวแปรสภาพ โดยแบ่งเส้นใยมะพร้าวเป็น 4 กลุ่ม คือกลุ่มที่ไม่ผ่านการแปรสภาพทางเคมี ผ่านการแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4 แปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4 + 2M NaOH และแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4 + 2M KOH นำไปแช่ในสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 10-320 ppm วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพื่อวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่เหลือ ไอโซเทอร์มของการดูดซับศึกษาจากแบบจำลองแลงเมียร์และฟรุนด์ลิช พบว่าการดูดซับของเส้นใยมะพร้าวแปรสภาพสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของฟรุนด์ลิช โดยเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4 + 2M KOH มีความสามารถในการดูดซับดีที่สุด

คำสำคัญ: เส้นใยมะพร้าว การดูดซับ ไอโซเทอร์มของฟรุนด์ลิช สารละลายตะกั่ว

Abstract

The objective of this research was to study the adsorption isotherm of lead solutions in the coconut fibers. Coconut fibers were divided into 4 groups: non treatment, pretreatment with 2M H_2SO_4, pretreatment with 2M H_2SO_4 + 2M NaOH, and pretreatment with 2M H_2SO_4 + 2M KOH, then immersed in lead solutions. Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) was used to determine the remaining concentrations of lead solutions. The Langmuir and Freundlich adsorption models were applied to describe the adsorption. The Freundlich isotherm is better in describing the adsorption process of pretreatment coconut fibers. The pretreatment coconut fibers of 2M H_2SO_4 + 2M KOH showed the highest adsorption ability.

Keyword: Coconut fiber, adsorption, Freundlich isotherm, lead solution

1. บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมรถยนต์ ทอผ้า ฟอกย้อม ชุบโลหะ หรือ ผลิตสี ส่วนใหญ่เป็นปัญหาน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตซึ่งมีการปนเปื้อนด้วยโลหะตะกั่ว ปรอท โครเมียม สารหนู ทองแดง หรือ แบเรียม ถ้าโลหะเหล่านี้แพร่กระจายสู่แหล่งน้ำสาธารณะ จะสามารถสะสมอยู่ได้เป็นเวลานานทั้งในแหล่งน้ำและในสัตว์น้ำ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคอย่างมาก โดยเฉพาะโลหะ ตะกั่ว ปรอท และสารหนู การลดความเป็นพิษของน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะลดการปนเปื้อนของโลหะเหล่านี้

วิธีการกำจัดโลหะหนักมีหลายวิธี เช่น การตกตะกอน การกรองผ่านแผ่นเยื่อกรอง การแลกเปลี่ยนไอออน การดูดซับ และการตกตะกอน-การดูดซับร่วมกัน [1] ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป การดูดซับเป็นกระบวนการหนึ่งที่นิยมใช้ เนื่องจากมีข้อดีคือ ไม่ต้องมีการเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสีย ใช้เงินลงทุนน้อย ใช้เวลาในการบำบัดไม่นาน ใช้สถานที่ไม่มาก นอกจากนั้นสามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ [2]

วัสดุที่ใช้ในการดูดซับมีหลายชนิด ได้แก่ (ก) สารอนินทรีย์ เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ ซิลิกากัมมันต์ อะลูมิเนียมกัมมันต์ ถ่านกระดูก สินแร่จำพวกอะลูมิโนซิลิเกต มีพื้นที่ผิวประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม (ข) ถ่านกัมมันต์ มีพื้นที่ผิวประมาณ 500-1400 ตารางเมตรต่อกรัม (ค) สารอนินทรีย์สังเคราะห์ เช่น เรซิน สารแลกเปลี่ยนไอออน มีพื้นที่ผิวประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม (ง) วัสดุชีวภาพหรือวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ได้แก่ แกลบ ขี้เลื่อย ซังข้าวโพด เปลือกของพืช เปลือกหรือกระดองสัตว์ ฟางข้าว กากถั่ว กากกาแฟ ผักตบชวา เถ้าแกลบดำ ใยมะพร้าว และ (จ) สารดูดซับชีวภาพ ได้แก่ เซลล์จุลินทรีย์ สาหร่าย เป็นต้น [3]

เส้นใยมะพร้าว (coconut fiber) เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีราคาถูกและมีปริมาณมาก จากการศึกษาของ H.P.S.A. Khalil [4] พบว่ามีองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่เป็น โฮโลเซลลูโลส (56.3%) α-เซลลูโลส (44.2%) และลิกนิน (32.8%) เส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุที่ไม่ละลายในน้ำ มีความต้านทานต่อสารเคมี และมีความต้านทานต่อแรงกระแทก โดยปกติแล้วจะถูกนำไปใช้ในการผลิตที่นอนใยมะพร้าว หรือนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดขี้เถ้าที่เป็นมลพิษทางอากาศและส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ ทางเลือกใหม่ของการใช้กากเหลือทิ้งเหล่านี้เป็นวัตถุดิบเพื่อนำมาปรับใช้เป็นตัวดูดซับโลหะหนักในน้ำเสีย จึงนับว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายตะกั่วในเส้นใยมะพร้าวแปรสภาพ

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายตะกั่วมาตรฐานความเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.25, 2.75, 3.25, 3.75, 4.25, 4.75, 5.25, 5.75, 6.25, 6.75, 7.25 และ 8.0 ml ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml

2. ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ให้ได้ปริมาตร 25 ml เขย่า จะได้สารละลายความเข้มข้น 10, 20, 30, 40, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170, 190, 210, 230, 250, 270, 290 และ 320 ppm ตามลำดับ

2.2 การเตรียมเส้นใยดูดซับโลหะหนัก

1. ชุดที่ 1: นำเส้นใยมะพร้าวมาอบที่อุณหภูมิ 105°C จนแห้ง ชั่งน้ำหนัก 1 g แช่ลงในสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 10 – 320 ppm ความเข้มข้นละ 1 g ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยสำลีและกระดาษกรองเบอร์ 42 และนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอออนตะกั่วที่เหลือหลังการดูดซับด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

2. ชุดที่ 2: นำเส้นใยมะพร้าวมาอบที่อุณหภูมิ 105°C จนแห้ง แช่ในสารละลาย 2 M H_2SO_4 เป็นเวลา 30 นาที ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน นำมาอบจนแห้ง ชั่ง 1 g แช่ลงในสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 10 – 320 ppm ความเข้มข้นละ 1 g ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมากรองด้วยสำลีและกระดาษกรองเบอร์ 42 และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

3. ชุดที่ 3: นำเส้นใยมะพร้าวมาอบที่อุณหภูมิ 105°C จนแห้ง แช่ 2 M H_2SO_4 เป็นเวลา 30 นาที ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน และแช่ต่อด้วย 2 M NaOH เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน นำมาอบจนแห้ง ชั่ง 1 g แช่ลงในสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 10 – 320 ppm ความเข้มข้นละ 1 g ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมากรองด้วยสำลีและกระดาษกรองเบอร์ 42 นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

4. ชุดที่ 4: นำเส้นใยมะพร้าวมาอบที่อุณหภูมิ 105°C จนแห้ง แช่ 2 M H_2SO_4 เป็นเวลา 30 นาที ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน และแช่ต่อด้วย 2 M KOH เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน นำมาอบจนแห้ง ชั่ง 1 g แช่ลงในสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ความเข้มข้น 10 – 320 ppm ความเข้มข้นละ 1 g ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมากรองด้วยสำลีและกระดาษกรองเบอร์ 42 และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

2.3 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในตอนที่ 2.2 จะนำไปศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) และฟรุนด์ลิช (Freundlich Isotherm) ความสามารถในการดูดซับ (q_e) คำนวณจากปริมาณตะกั่วที่ถูกดูดซับต่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวดังสมการ (1)

สมการ $$q_e = \left(\frac{C_o - C_e}{W}\right) \times V \qquad (1)$$

โดยที่ C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm)

C_e = ความเข้มข้นสุดท้าย (ppm)

W = น้ำหนักของตัวดูดซับ (g)

สมการไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ [5] แสดงได้ดังสมการ (2)

$$q_e = \frac{q_m K C_e}{1 + K C_e} \qquad (2)$$

จัดรูปสมการ ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้ดังสมการ (3)

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_{qm} C_e} \qquad (3)$$

เมื่อ q_e = ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถในการดูดซับ) (mg/g)

q_m = ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (mg/g)

K_{qm} = ค่าคงที่การดูดซับ

C_e = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (mg/l)

สมการไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนด์ลิช [6] แสดงดังสมการ (4)

$$q_e = Kc_e^{1/n} \qquad (4)$$

เมื่อ K และ n เป็นค่าคงที่ของฟรุนด์ลิช (freundlich constant)

จัดรูปให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงจะได้สมการ (5)

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n}\log C_e \qquad (5)$$

เมื่อ q_e = ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (mg/g)

K = ค่าคงที่การดูดซับของฟรุนด์ลิช

1/n = ความชันของกราฟ

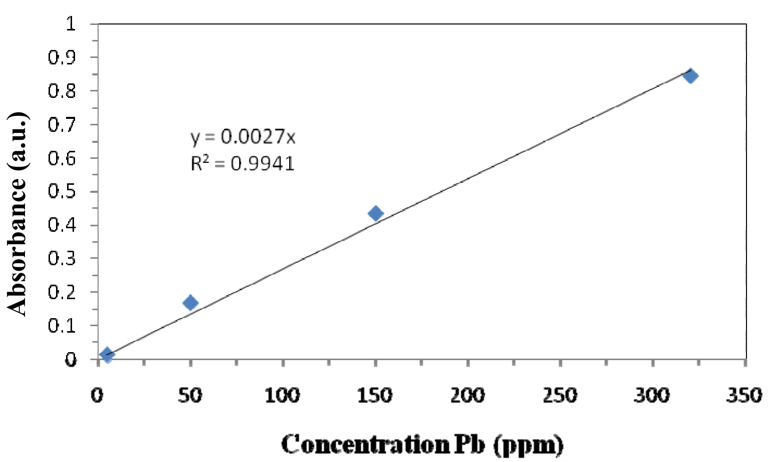
C_e = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (mg/l)

Alkan และคณะ [7] ได้อธิบายค่าคงที่ n ในสมการฟรุนด์ลิชนี้ว่าสามารถบอกได้ 3 กรณี ได้แก่ เมื่อ n = 1 แสดงให้เห็นว่ามีสิ่งขวางกั้นระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ โดยไม่ขึ้นกับความเข้มข้น เมื่อ 1/n น้อยกว่าหนึ่ง แสดงว่าการดูดซับเป็นไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ และเมื่อ 1/n มากกว่าหนึ่ง แสดงว่าการดูดซับเกิดขึ้นร่วมกัน

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการเตรียมสารละลายมาตรฐาน

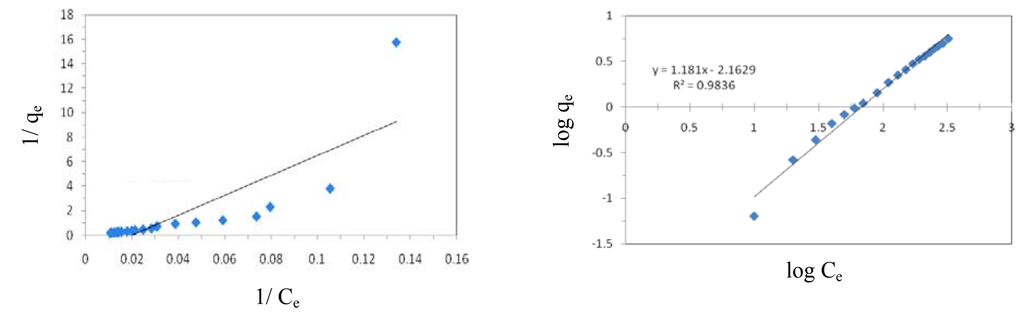
จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่ว แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) นำมาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว ได้กราฟดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานตะกั่วกับค่าการดูดกลืนแสง

3.2 ผลการวิเคราะห์การดูดซับ

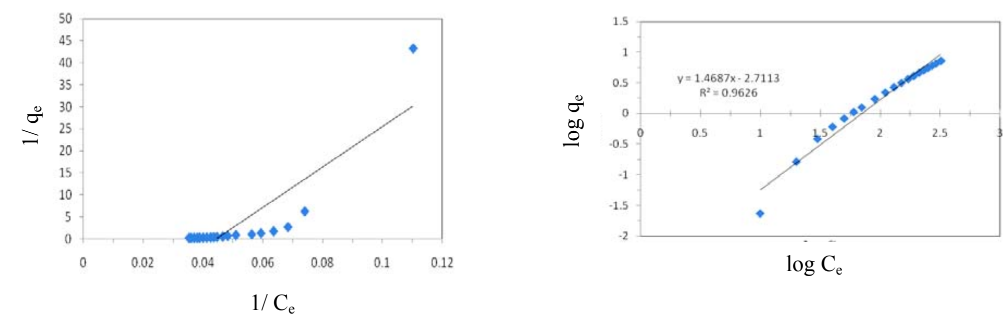
จากการนำเส้นใยมะพร้าวทั้ง 4 กลุ่มคือ กลุ่มที่ไม่ผ่านการแปรสภาพ ผ่านการแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4 ผ่านการแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4 + 2M NaOH และผ่านการแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4 + 2M KOH นำไปแช่ในสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 10 - 320 ppm แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงของไอออนตะกั่วที่เหลือหลังการดูดซับด้วยเครื่อง AAS จากนั้นนำมาคำนวณและสร้างกราฟระหว่าง $1/C_e$ และ $1/q_e$ (ตามสมการของแลงเมียร์) และสร้างกราฟระหว่าง $\log C_e$ และ $\log q_e$ (ตามสมการของฟรุนด์ลิช) ได้กราฟดังภาพที่ 2 - 5 ตามลำดับ



(ก) (ข)

ภาพที่ 2 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/C_e$ และ $1/q_e$ ของเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ผ่านการแปรสภาพ

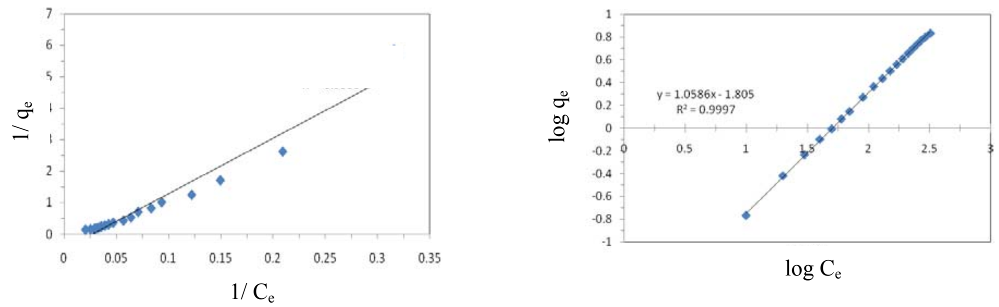
(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log C_e$ และ $\log q_e$ ของเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ผ่านการแปรสภาพ



(ก) (ข)

ภาพที่ 3 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/C_e$ และ $1/q_e$ ของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4

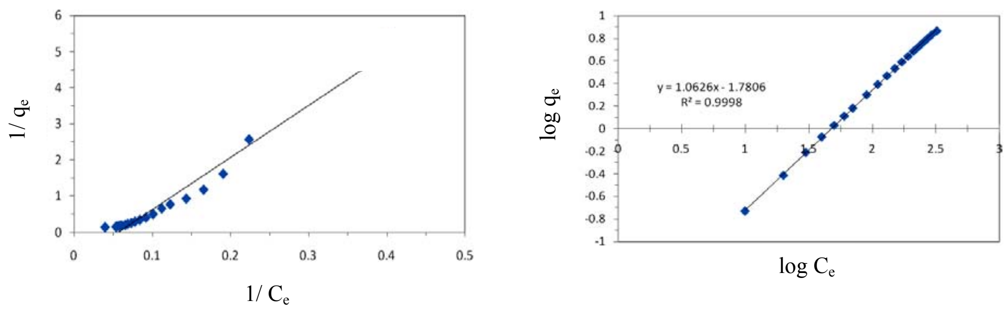
(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log C_e$ และ $\log q_e$ ของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4



(ก) (ข)

ภาพที่ 4 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/C_e$ และ $1/q_e$ ของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4+2M NaOH

(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log C_e และ log q_e ของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแปรสภาพด้วย ด้วย 2M H_2SO_4+2M NaOH



(ก) (ข)

ภาพที่ 5 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/C_e$ และ $1/q_e$ ของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4 +2M KOH

(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log C_e และ log q_e ของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแปรสภาพด้วย ด้วย 2M H_2SO_4+2M KOH

จากภาพที่ 2-5 เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพัทธ์ซึ่งมีความใกล้เคียง 1 มากที่สุด พบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับของสารละลายตะกั่วด้วยเส้นใยมะพร้าว สอดคล้องกับสมการฟรุนด์ลิชมากกว่าสมการแลงเมียร์ อธิบายได้ว่าเป็นการดูดซับบนผิวหน้าของเส้นใยมากกว่า 1 ชั้น โดยมีค่า K, 1/n, n, R^2 และ q_e แสดงดังตารางที่ 1 โดยค่า q_e คำนวณจากสมการที่ (5) โดยการแทนค่า c_e ที่ 150 ppm

จากตารางที่ 1 เส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4+2M KOH มีค่าคงที่ (K) ในการดูดซับสูงที่สุด มีค่า n ใกล้เคียง 1 และมีค่า q_e ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดูดซับสูง

เส้นใยมะพร้าวซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลส และลิกนิน เมื่อทำการแปรสภาพด้วยกรดซัลฟิวริก ทำให้เซลลูโลสละลายออก ในขณะที่ยังมีลิกนินเคลือบอยู่ที่ผิว แต่เมื่อทำการแปรสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกแล้วตามด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีผลทำให้ลิกนินและเซลลูโลสละลายออกมา รวมทั้งทำให้เกิดการพองตัว (swelling) ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ [8-10] นอกจากนี้

ตารางที่ 1 ไอโซเทอร์มของฟรุนด์ลิชเมื่อทำการดูดซับสารละลายตะกั่วด้วยเส้นใยมะพร้าว

ตัวดูดซับ	ไอโซเทอร์มของฟรุนด์ลิช				
	K	1/n	n	R^2	q_e
เส้นใยมะพร้าวไม่แปรสภาพ	6.87×10^{-3}	1.1810	0.88	0.9836	2.65
เส้นใยมะพร้าวแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4	1.95×10^{-3}	1.4687	0.68	0.9626	3.05
เส้นใยมะพร้าวแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4 +2M NaOH	1.57×10^{-2}	1.0580	0.94	0.9997	3.15
เส้นใยมะพร้าวแปรสภาพด้วย 2M H_2SO_4 +2M KOH	1.65×10^{-2}	1.0626	0.94	0.9998	3.40

ยังทำให้เส้นใยมะพร้าวมีผิวหน้าเป็นประจุลบ ส่งผลให้มีความสามารถในการดูดซับที่ดีขึ้น แต่เมื่อเทียบกับการแปรสภาพด้วยกรดซัลฟิวริกแล้วตามด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีความสามารถในการดูดซับที่ดีกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ขนาดอะตอมของโพแทสเซียม (K) ใหญ่กว่าอะตอมของโซเดียม (Na) ทำให้โครงสร้างของเส้นใยมะพร้าวซึ่งเป็นตัวดูดซับขยายตัว ส่งผลให้ไอออนบวกของตะกั่ว (Pb^{2+}) เข้าไปแทนที่ประจุบวกที่ถูก OH^- ดึงออกไปได้มากกว่า ทำให้เส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมทางเคมีด้วย 2M H_2SO_4 + 2M KOH เป็นตัวดูดซับที่ดีที่สุด

4. สรุปผลการทดลอง

การดูดซับไอออนตะกั่วโดยใช้เส้นใยมะพร้าวในการดูดซับ พบว่า เส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมทางเคมีด้วยกรดซัลฟิวริกและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 2 M มีความสามารถในการดูดซับสารละลายตะกั่วได้สูงที่สุด และมีไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบฟรุนด์ลิช โดยมีค่าคงที่ K ตามสมการฟรุนด์ลิชเป็น 1.65×10^{-2}, n มีค่า 0.94 และความสามารถในการดูดซับ (q_e) มีค่า 3.40 mg/g

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Kadirvelu K.,Thamaraiselvi K. and Namasivayam C., "Removal of heavy metals from industrial wastewaters by adsorption onto activated carbon prepare from an agricultural solid waste", Bioresource Technology, 76, 2001, pp. 63-65.

[2] ฑวินทร์ สุทธะนันท์ และ โกวิทย์ ปิยะมังคลา, "จลนศาสตร์และเทอร์โมไดนามิกส์การดูดซับเมททิลีนบลูโดยใช้เปลือกถั่วลิสง", วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., 31(4), 2551, หน้า 751-763.

[3] ฑวินทร์ สุทธะนันท์ และ โกวิทย์ ปิยะมังคลา, "จลนศาสตร์และเทอร์โมเคมีการดูดซับเมททิลีนบลูโดยใช้แกลบดัดแปร", วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 21(2), 2554 หน้า 337-348.

[4] Khalil H.P.S.A., Alwani M. S. and Omar A.K.M., "Chemical composition, anatomy, lignin distribution, and cell wall structure of Malaysian plant waste fibers", Bioresources, 1(2),2006, pp. 220-232.

[5] Langmuir I., "The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass, Mica and Platinum", Journal of the American Chemical Society, 40, 1918, pp. 1361-1403.

[6] Freundlich H., "Über die adsorption in Lösungen", Z. Phy. Chem., 57, 1906, pp. 385-470.

[7] Alkan M., çelikçapa S., Demirbaş Ö. and Doğan M., "Removal of reactive blue 221 and acid blue 62 anionic dyes from aqueous solutions by sepiolite", Dyes and Pigments, 65, 2005, pp. 251-259.

[8] จินตนา จุลอุล, "การเตรียมตัวดูดซับจากผักตบชวาในการกำจัดสีย้อมไดเรกท์จากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ", วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.

[9] Reddy N. and Yang Y., "Biofibers from agricultural by products for industrial applications", Trends in Biotechnology, 2007, pp. 22–27.

[10] John M.J. and Thomas S., "Biofibres and biocomposites", Carbohydrate Polymers, 71, 2008, pp. 343–364.

การศึกษาค่าเลขอะตอมยังผลของทัวร์มาลีน
Study of the Effective Atomic Numbers of Tourmaline

Pruittipol Limkitjaroenporn[1,2], Saksakun Klangchanang[2], Smit Insiripong[3] and Jakrapong Kaewkhao[1,2]

[1]Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakorn Pathom 73000, Thailand

[2]Science Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

[3]Physics Program, Faculty of Science and Technology, Muban Chombueng Rajabhat University, Ratchaburi 70150, Thailand

[1]E-mail: golfpo@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับการดูดกลืนรังสีของทัวร์มาลีน ในช่วงพลังงาน 224.9 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ถึง 634 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์โดยใช้เทคนิคการกระเจิงคอมป์ตันในการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 (พลังงาน 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์) ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลทางทฤษฎีคำนวณจากโปรแกรม WinXCom พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลทางทฤษฎีและการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน สะท้อนให้เห็นถึงระบบวัดคอมป์ตันมีความแม่นยำสูง ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมีค่าลดลงเมื่อพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น ค่าเลขอะตอมยังผลซึ่งคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล พบว่าค่าเลขอะตอมยังผลมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: การกระเจิงคอมป์ตัน, ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล, ค่าเลขอะตอมยังผล

Abstract

The mass attenuation coefficients of tourmaline were measured at the different energy of γ-rays using the Compton scattering technique from Cs-137 (662 keV) γ-rays source. The theoretical value of mass attenuation coefficients were calculated from WinXCom program. The results show that, the experimental values of mass attenuation coefficient are in good agreement with the theoretical values, reflecting the validation of Compton scattering system setup. The mass attenuation coefficients decrease with the increase in gamma rays energies. The effective atomic numbers were calculated from the data of mass attenuation coefficients. The result showed that the values of effective atomic numbers were slightly decreased when the gamma rays energies were increased.

Keyword: Compton scattering, Mass attenuation coefficients, Effective atomic number.

1. Introduction

In Thailand, the gemstone and jewelry industry is an industry that is responsible for the development of country. With a total value of 15,777 and 7,749 households with a total value of approximately 1.1 million workers in Bangkok and its perimeter 25% and 75% across all regions. The workers at mining gems and gem cutting work force of about five hundred people can be considered an important part in generating jobs and income to the country [1-3].

Current techniques to improve the quality of gems by radiation to modify the structure and color of the gemstones to added value and are widely used. There are three type of irradiation technique were used; high-energy electron irradiation, neutron irradiation and gamma irradiation. There are no guarantees of success. Radiation will have to change the position of the electron to be in a position that fits to the desired color. Some gems can easily change the color. But some are more complicated, such as when to add value by using gamma rays from Co-60 or Cs-137 is effective for beryl (Beryl), change in color from clear to bright yellow, tourmaline is a deep red, quartz is brown color, also known as the usual smoked topaz stones of various kinds. Try to be a little earlier. Irradiation on the color changed. It is made in large quantities. In Thailand the irradiated gems are available at the Institute of Nuclear Technology in Topaz) and tourmaline and so on [4-5].

That said the study had an idea to measured the key parameters in the absorption spectra is the mass attenuation coefficient and the effective atomic number at different energies in tourmaline, which is preferable to improve the quality of gamma irradiation. The gamma ray energies can be changed by Compton scattering technique.

2. Theory

The mass attenuation coefficient is written as [6]

$$\mu_m = \frac{\ln(I_0/I)}{\rho t} \tag{1}$$

Where ρ is the density of material (g/cm^3), I_0 and I are the incident and transmitted intensities and t is the thickness of absorber (cm).

Theoretical values of the mass attenuation coefficients of mixture or compound have been calculated by WinXCom, base on mixture rule [7]

$$\mu_m = \sum_i w_i (\mu_m)_i \tag{2}$$

where w_i is weight fraction of element in tourmaline, $(\mu_m)_i$ is mass attenuation coefficient for individual element in tourmaline. The value of mass attenuation coefficients can be used to determine the total atomic cross-section ($\sigma_{t,a}$) by the following relation [6]

$$\sigma_{t,a} = \frac{(\mu_m)_{alloy}}{N_A \sum_i^n (w_i / A_i)} \quad (3)$$

where N_A is Avogradro's number, A_i is atomic weight of constituent element of tourmaline. Also the total electronic cross-section ($\sigma_{t,el}$) for the element is expressed by the following formula [6]

$$\sigma_{t,el} = \frac{1}{N_A} \sum_i^n \frac{f_i A_i}{Z_i} (\mu_m)_i \quad (4)$$

where f_i is the number of atoms of element i relative to the total number of atoms of all elements in tourmaline, Z_i is the atomic number of the i^{th} element in tourmaline. Total atomic cross-section and total electronic cross-section are related to effective atomic number (Z_{eff}) of the compound through the formula [6]

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,el}} \quad (5)$$

3. Methodology

The compositions of tourmaline were analyzed by energy dispersive x-rays fluorescence spectrometer (Panalytical Minipal-4). The density of the sample at room temperature is measured by the Archimedes's principle using a sensitive microbalance with xylene as the immersion liquid. The density is calculated according to the formula,

$$\rho = \frac{W_a}{W_a - W_b} \times \rho_b \quad (6)$$

where W_a and W_b is the weight of sample in air and xylene, respectively, and ρ_b is the density of xylene (ρ_b = 0.863 g/cm^3). All weight measurements were used a sensitive microbalance.

The experimental arrangement is shown in Fig. 1. The source system was mounted on a composite of adjustable stands. This setup can move in the transverse direction for proper beam alignment. The ^{137}Cs radioactive source of 15 mCi (555 MBq) strength was obtained from the Office of Atom for Peace (OAP), Thailand. The aluminium rod was used the scattering rod. The Compton scattered γ-rays were measured on a rotatable scintillator detector in the scattering plane by using the 2″×2″ NaI(Tl) detector having an energy resolution of 8% at 662 keV (BICRON model 2M2/2), with CANBERRA photomultiplier tube base model 802-5. The optimum distance between the source and the scatterer was chosen to be 20 cm and that between the scatterer and detector, 20 cm. The spectra were recorded using a CANBERRA PC-based multi-channel analyzer (MCA).

The spectrum on the MCA of detector gave instance counts in each of 1024 bins divided by voltage. To measure the angular dependence of Compton scattering, we first perform a calibration relating the channel number of the MCA spectrum to the energy of known gamma-ray sources. We vary the angle of the scatter

detector and acquire measurements on the MCA. The different angles (θ) were used to produce the different gamma rays energies.

An optimum sample thickness ($0.5 \leq \mu x \leq 5.0$) was selected in this experiment on the basis of the Nordfors criteria [8]. To measure mass attenuation coefficient, we placed the sample between the scattering rod and detector, and detected the acquired MCA spectra of the scattered gamma rays photopeak through sample thickness at different angles. Integrated count rates were determined from Gaussian fits and used to determine an attenuation coefficient.

The statistical error in this experiment calculated from the standard error of 3 items (i) ray-sum measurement, which calculated from experiment, the ray-sum is product of linear attenuation coefficient (μ) with thickness (x), (ii) density measurement and (iii) thickness measurement [6]. Finally, the total standard error has been determined by combining errors for the ray-sum measurement, density measurement and thickness measurement in quadrature.

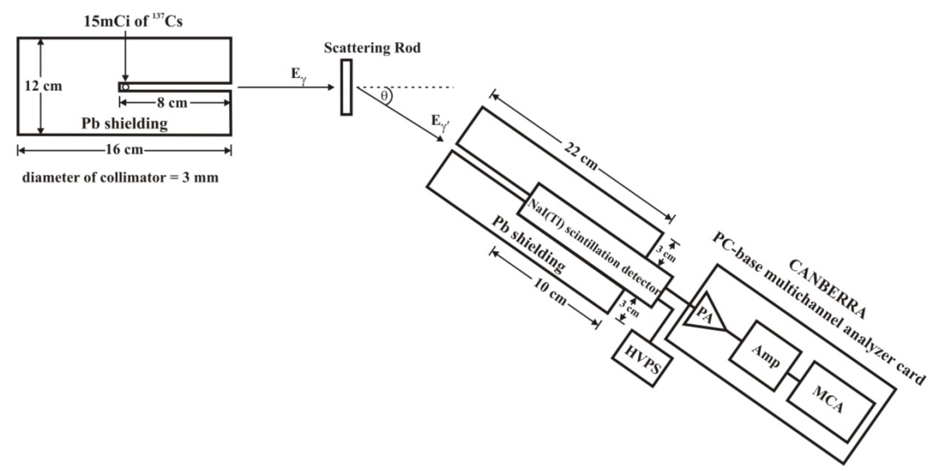


Figure 1 Schematic of the Compton scattering experiment

4. Results, Discussion and Conclusion

The chemical compositions of tourmaline in oxide form are shown in Table 1. It was seen that the major composition of all tourmaline is SiO_2 and Al_2O_3.

Table 1 Chemical composition of tourmaline

Composition	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	CuO	ZnO	Ga_2O_3	As_2O_3
% by Weight	48.700	40.453	0.430	0.196	4.930	4.910	0.087	0.056	0.128	0.110

The mass attenuation coefficients of tourmaline as shown in Table 2 were evaluated from incident (I_0) and transmitted (I) intensities of each gamma rays energies and compare with theoretical values were calculated by WinXCom program [4]. It has been found that the total mass attenuation coefficients were decreased with increasing of gamma rays energy, which indicates the total interaction is decreased. The experimental values of mass attenuation coefficient are in good agreement with the theoretical values as shown in Fig. 2.

The effective atomic numbers (Z_{eff}) have been determined using Eq. (5) and are given in Table 3. It was found that the effective atomic numbers were slightly decreased with increasing of gamma ray energies in this energy range for tourmaline, which this results can be assume that the effective atomic numbers of tourmaline not depend on gamma rays energy in this range.

Table 2 Comparison the mass attenuation coefficients between theoretical value with experimental value

θ (Degree)	$E'_{\gamma,(exp)}$ (keV)	$\mu_{m,(exp)}$ (cm^2/g)	$\mu_{m,(theo)}$ (cm^2/g)	% RD
15	634.665 ± 0.039	0.0775 ± 0.0002	0.0778	0.4617
30	564.035 ± 0.031	0.0829 ± 0.0003	0.0820	1.1070
45	478.270 ± 0.035	0.0878 ± 0.0002	0.0879	0.1241
60	404.613 ± 0.039	0.0987 ± 0.0007	0.0947	4.2099
75	337.010 ± 0.046	0.1070 ± 0.0005	0.1018	5.1100
90	289.587 ± 0.057	0.1088 ± 0.0003	0.1085	0.2816
105	251.245 ± 0.037	0.1194 ± 0.0004	0.1146	4.2018
120	224.002 ± 0.034	0.1115 ± 0.0005	0.1199	7.0116

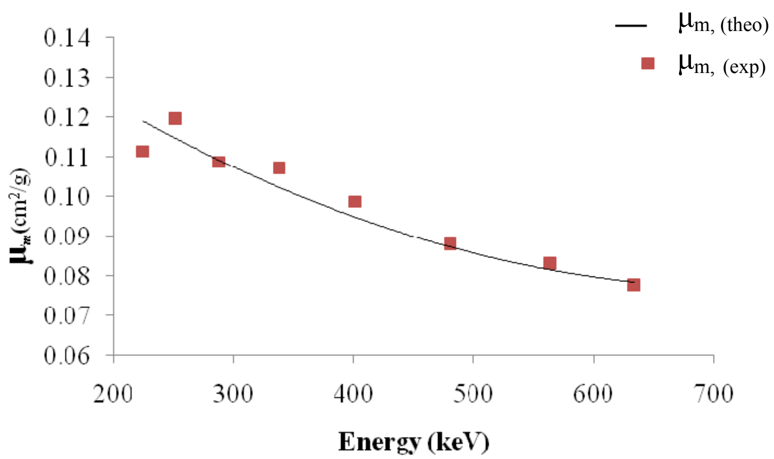


Figure 2 Comparison the mass attenuation coefficients between theoretical value with experimental value

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

Table 3 Comparison the effective atomic numbers between theoretical value with experimental value

θ (Degree)	$E'_{\gamma,(exp)}$ (keV)	$Z_{eff,(theo)}$ (e^-/atom)	$Z_{eff,(exp)}$ (e^-/atom)	% RD
15	634.665 ± 0.039	10.4076	10.3596 ± 0.0001	0.4617
30	564.035 ± 0.031	10.4105	10.5258 ± 0.0001	1.1070
45	478.270 ± 0.035	10.4174	10.4046 ± 0.0001	0.1241
60	404.613 ± 0.039	10.4286	10.8677 ± 0.0006	4.2099
75	337.010 ± 0.046	10.4478	10.9817 ± 0.0002	5.1100
90	289.587 ± 0.057	10.4565	10.4860 ± 0.0001	0.2816
105	251.245 ± 0.037	10.4864	10.9271 ± 0.0001	4.2018
120	224.002 ± 0.034	10.5119	9.7749 ± 0.0002	7.0116

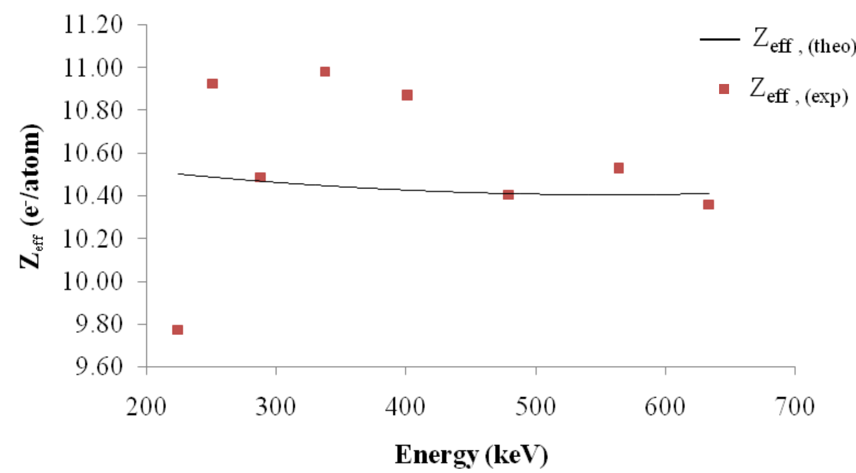


Figure 3 Comparison the effective atomic numbers between theoretical value with experimental value

5. Conclusion

The compositions of tourmaline were analyzed by energy dispersive x-rays fluorescence spectrometer, the result found that major composition of tourmaline is SiO_2 and Al_2O_3. The mass attenuation coefficients of tourmaline were measured at the different energy of gamma rays using the Compton scattering technique. There are corresponding of scattered gamma rays energies between theoretical value and experimental value, reflecting the validation of Compton scattering system setup. The results show that mass attenuation coefficients decrease with the increase in gamma rays energies reflected to the interaction probability were decreased. The effective atomic numbers were slightly decreased with increasing gamma rays energies that can be assumed the effective atomic numbers of tourmaline not depend on gamma rays energy in this range.

6. References

[1] สุกัลยา ธรรมรักษา, วิไลพร เสน่หา และ สุดารัตน์ อภิราชกมล, "**โครงการจัดทำสำมะโนอุตสหกรรมเครื่องประดับไทย**", วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ปีที่ 30 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - มีนาคม 2553

[2] **"ภาวะธุรกิจอุตสาหกรรมพลอยสีไทยปี 2553"** ศูนย์ข้อมูลอัญมณีและเครื่องประดับ สถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ

[3] **"ภาวะการส่งออกสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับ"** กลุ่มงานวิเคราะห์สารสนเทศ ศูนย์สารสนเทศการค้าระหว่างประเทศ กันยายน 2552

[4] **"การเพิ่มคุณค่าอัญมณีโดยวิธีนิวเคลียร์"** ศูนย์ฉายรังสีอัญมณี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน) http://www.tint.or.th/gems/gems5102.html

[5] ศิวาพร สหวัฒน์ " **อัญมณีศาสตร์** " ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2549

[6] P. Limkitjaroenporn , J. Kaewkhao , P. Limsuwan ,W. Chewpraditkul, J. Phy. Chem. Solids **72**, 245(2011).

[7] L. Gerward, N. Guilbert, K.B. Jensen and H. Levring, , Rad. Phys. Chem. **71**, 653 (2004).

[8] B. Nordfors, , Ark. Fys.**18**, 37(1960).

การวัดสมบัติทางกลของวัสดุโดยเทคนิคการใช้คลื่นอัลตราโซนิก ตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

Measurement of Mechanical Properties of Materials by Ultrasonic Nondestructive Technique

ศุภรัตน์ ทัศน์เจริญ[1,2] ภิรญา ขัตติยะ[1] และ จักรพงษ์ แก้วขาว[1,2]

[1]โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

E-mail: zalapaokimji@hotmail.com

[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบสมบัติทางกลของวัสดุด้วยวิธีการตรวจสอบทางเสียงแบบไม่ทำลาย วัสดุที่ใช้ในการตรวจสอบประกอบด้วยโลหะ 4 ชนิด คือ เหล็กกล้า อลูมิเนียม ทองเหลือง และทองแดง โดยทำการวัดหาค่าความหนาแน่น ความเร็วคลื่นตามยาวและตามขวาง จากนั้นนำมาคำนวณหาค่ายังมอดูลัส มอดูลัสเฉือน มอดูลัสเชิงปริมาตร และอัตราส่วนปัวร์ซอง ผลที่ได้พบว่าค่าที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฏี

คำสำคัญ: คลื่นอัลตราโซนิก สมบัติเชิงกล การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

Abstract

This research measured the mechanical properties of materials by means of non- destructive inspection. The materials consists of four types of metal are stell, aluminum, brass and copper. These materials were measured by density, longitudinal, transverse velocity and then calculated to Young's modulus, Shear modulus, bulk modulus and Poisson's ratio. The results showed that the calculated value is in good agreement with the theoretical value.

Keyword: Ultrasonic, Mechanical properties, Nondestructive Testing

1.ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านวัสดุศาสตร์มีการขยายตัวมากขึ้น ทำให้อุตสาหกรรมต่างๆ เร่งพัฒนาคิดค้นวัสดุใหม่ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์และที่จะกล่าวถึงก็คือ ชิ้นงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากวัสดุโลหะผสม (Metal matrix composites: MMCS) ซึ่งเป็นวัสดุทางวิศวกรรม ซึ่งในปัจจุบันวัสดุชนิดนี้ได้เข้ามามีบทบาทมากในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ยานอวกาศ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ แต่ก่อนการนำวัสดุมาใช้งานจริง ต้องอาศัยการตรวจสอบสมบัติทางกลต่างๆ เช่น ความเค้น ความเครียด ความยืดหยุ่น เป็นต้น [1]

เดิมการตรวจสอบสมบัติของวัสดุนิยมใช้วิธีการตรวจสอบแบบทำลายเนื้อวัสดุ อันก่อให้เกิดความเสียหายต่อเนื้อวัสดุจึงไม่เป็นที่นิยม ปัจจุบันจึงได้มีการตรวจสอบชิ้นงานแบบใหม่ เป็นวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย และยังสามารถค้นหาสิ่งบกพร่องในเนื้อวัสดุได้ จากการตรวจสอบสมบัติทางกลนั้นส่วนใหญ่จะเป็นการตรวจสอบโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก ดังนั้นก่อนที่จะทำให้การทดสอบเป็นที่ยอมรับเพิ่มมากขึ้น จึงต้องตรวจสอบวัสดุพื้นฐานเสียก่อน

จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนี้ ทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดที่จะทำงานวิจัยเรื่อง การหาสมบัติยืดหยุ่นของโลหะโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเพื่อที่จะสามารถตรวจสอบความถูกต้องระหว่างการวัดกับทางทฤษฎีต่อไป

2.ทฤษฎีและวิธีการทดลอง

ธรรมชาติของคลื่นเสียง จะมีสมบัติยืดหยุ่น (Elastic waves) สามารถผ่านได้ทั้งในของเหลว และ ของแข็ง คลื่นอัลตรา โซนิกเป็นคลื่นเสียงความถี่สูงกว่า 20,000 Hz ซึ่งหูมนุษย์ไม่สามารถได้ยิน การวัดความเร็วของคลื่นจะใช้หลักการสะท้อนกลับของคลื่นในเนื้อวัสดุ ความถี่ที่ใช้ในการทดสอบ ประมาณ 0.5 MHz ถึง 20 MHz เมื่อคลื่นอัลตราโซนิกเกิดการสะท้อน จะเกิดคลื่นสะท้อนอยู่ 2 ลักษณะ คือ

1. คลื่นตามยาว (Longitudinal wave) คลื่นที่ทำให้อนุภาคของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านมีการเคลื่อนที่ไปกลับในทิศทางที่เดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนของคลื่น
2. คลื่นตามขวาง (Transverse wave) อนุภาคตัวกลางจะเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศของคลื่น ซึ่งจะเกิดขึ้นเฉพาะในของแข็ง

ค่าสภาพยืดหยุ่นของของแข็งไอโซโทรปิกนิยมระบุไว้เป็นปริมาณมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น(Modulus of elasticity) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความเค้นกับความเครียดในช่วงขีดจำกัดของสัดส่วน

มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น = ความเค้น/ความเครียด

มอดุลัสของยัง (Young's modulus:Y) เป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นแบบดึงกับความเครียดแบบดึง ตามสมการ

$$Y = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_t} = \frac{F_N / A}{\Delta l / l} \qquad (1)$$

ค่ามอดูลัส Y จึงเป็นปริมาณที่วัดความต้านทานการเปลี่ยนแปลงความยาวของวัสดุ วัสดุที่มีค่า Y สูง เช่น เหล็กกล้าหรือทังสเตน จึงยืดได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุซึ่งมีค่า Y ต่ำ เช่น ตะกั่วและยางเป็นต้น ซึ่งในทางเสียงสามารถคำนวณหาค่ามอดูลัสของยังได้จากสมการ [1]

$$E = \frac{\rho V_L^2}{\langle 1-V \rangle} \langle 1-2V \rangle \langle 1+V \rangle \qquad (2)$$

มอดูลัสเฉือน (Shear modulus: S) เป็นอัตราส่วนระหว่างความเครียดเฉือนกับความเค้นเฉือน ดังสมการ

$$S = \frac{\sigma_s}{\varepsilon_s} = \frac{F_P / A}{\Delta x / H} \qquad (3)$$

ค่ามอดูลัส S จึงเป็นปริมาณที่วัดความต้านทานการบิดของวัตถุ ตามปกติ ของแข็งที่มีค่า Y สูง มักมีค่า S สูงด้วยเช่นกัน ซึ่งในทางเสียงสามารถคำนวณหาค่ามอดูลัสเฉือนได้จากสมการ [1]

$$G = \rho V_S^2 \qquad (4)$$

มอดูลัสเชิงปริมาตร (Bulk modulus: B) เป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นเชิงปริมาตร (หรือความดัน) กับความเครียดเชิงปริมาตร

$$B = -\frac{F_n / A}{\Delta V / V} = -\frac{\Delta p}{\Delta V / V} \qquad (5)$$

มอดูลัส B จึงเป็นปริมาณที่วัดความต้านทานการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของของแข็ง ของเหลว และ แก๊ส วัตถุใดมีค่ามอดูลัส B สูง แสดงว่าวัตถุนั้นถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลงได้ยากกว่าวัตถุที่มีค่า B ต่ำกว่า ซึ่งในทางเสียงสามารถคำนวณหาค่ามอดูลัสเชิงปริมาตรได้จาก [1]

$$K = \rho V_L^2 - \frac{3}{4} G \qquad (6)$$

อัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's ratio: ν) เป็นอัตราส่วนการหดสั้นสัมพัทธ์ คือ ความเครียด หรือความเครียดตามขวาง (ตั้งฉากกับแรงที่กระทำ) หารด้วยความเครียดที่ขยายออกสัมพัทธ์ (ในทิศเดียวกับแรงที่กระทำ) ซึ่งในทางเสียงสามารถคำนวณหาค่ามอดูลัสเชิงปริมาตรได้จาก[1]

$$\nu = 1 - 2\langle \frac{V_S}{V_L} \rangle^2 / 2 - 2\langle \frac{V_S}{V_L} \rangle^2 \qquad (7)$$

3.วิธีการทดลอง

3.1 การหาค่าความหนาแน่นของวัสดุ

1. นำวัสดุที่ต้องการวัดมาชั่งน้ำหนักแห้ง (dry weight) ของชิ้นงานก่อน แล้วบันทึกผล
2. นำชิ้นงานจุ่มลงในน้ำและวัดน้ำหนักแขวนลอยของวัตถุในน้ำ
3. นำข้อมูลของน้ำหนักที่ชั่งได้มาคำนวณหาความหนาแน่นของวัสดุตามสมการ

3.2 การวัดความเร็วของคลื่นในเนื้อวัสดุ

1. นำวัสดุที่ต้องการตรวจสอบคือ แท่งเหล็กกล้า อลูมิเนียม ทองเหลืองและทองแดง มาวัดหาความเร็วของคลื่นตามยาวโดยใช้หัววัด Straight Beam Transducer (4 MHz, $\Phi 10$)

2. นำวัสดุที่ต้องการตรวจสอบคือ แท่งเหล็กกล้า อลูมิเนียม ทองเหลืองและทองแดง มาวัดหาความเร็วของคลื่นตามขวางโดยใช้หัววัด Angle Beam Transducer (4 MHz, 8 x 9 mm, 60°)

3. นำค่าความเร็วตามยาวและตามขวางของวัสดุที่วัดได้มาคำนวณหาค่าYoung's modulus, Shear modulu, Bulk modulus, Poisso's ratio โดยคำนวณได้จากสมการ [1]

$$E = \frac{\rho V_L^2}{\langle 1-V \rangle} \langle 1-2V \rangle \langle 1+V \rangle$$

$$G = \rho V_S^2$$

$$K = \rho V_L^2 - \frac{3}{4} G$$

$$V = 1 - 2\langle \frac{V_S}{V_L} \rangle^2 / 2 - 2\langle \frac{V_S}{V_L} \rangle^2$$

4.ผลการทดลอง

4.1 การวัดค่าความหนาแน่น

จากการวัดความหนาแน่นของโลหะทั้ง 4 ชนิด ด้วยวิธีการของอาร์คีมีดีสพบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 4 ชนิด

ชนิดวัสดุ	ค่าทฤษฎี (kg/m^3)	ค่าที่วัดได้ (kg/m^3)	% error
เหล็กกล้า	7.83×10^3	7.85×10^3	0.36
อลูมิเนียม	2.73×10^3	2.70×10^3	0.98
ทองเหลือง	8.60×10^3	8.48×10^3	1.39
ทองแดง	8.90×10^3	8.94×10^3	0.51

4.2 การวัดความเร็วของคลื่นตามยาว

จากการวัดความเร็วของคลื่นตามยาวของโลหะทั้ง 4 ชนิด ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก โดยใช้หัววัด Straight Beam Transducer (4 MHz, Φ10) พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเร็วของคลื่นตามยาวของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 4 ชนิด

ชนิดวัสดุ	ค่าทฤษฎี (m/s)	ค่าที่วัดได้ (m/s)	% error
เหล็กกล้า	5,810	5,890	1.37
อลูมิเนียม	6,190	6,379	3.05
ทองเหลือง	4,369	4,398	0.66
ทองแดง	4,600	4,608	0.17

4.3 การวัดความเร็วของคลื่นตามขวาง

จากการวัดความเร็วของคลื่นตามขวางของโลหะทั้ง 4 ชนิด ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก โดยหัววัดใช้หัววัด Angle Beam Transducer (4 MHz, 8 x 9 mm, 60°) พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเร็วของคลื่นตามขวางของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 4 ชนิด

ชนิดวัสดุ	ค่าทฤษฎี (m/s)	ค่าที่วัดได้ (m/s)	% error
เหล็กกล้า	3,251	3,181	2.15
อลูมิเนียม	3,073	3,351	9.04
ทองเหลือง	2,108	2,148	1.89
ทองแดง	2,337	2,380	1.83

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

4.4 การหาค่า Young's modulus

จากการวัดความเร็วของคลื่นตามยาวของโลหะทั้ง 4 ชนิด โดยการคำนวณโดยใช้ค่าความหนาแน่น ความเร็วตามยาวและค่า Poisson's ratio ตามสมการ E= $\frac{\rho V_L^2}{\langle 1-V \rangle}\langle 1-2V \rangle \langle 1+V \rangle$ พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า Young's modulus ของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 4 ชนิด

ชนิดวัสดุ	ค่าทฤษฎี (Pa)	ค่าที่คำนวณได้ (Pa)	% error
เหล็กกล้า	20.0×10^{10}	20.7×10^{10}	3.5
อลูมิเนียม	7.0×10^{10}	7.9×10^{10}	12.8
ทองเหลือง	9.1×10^{10}	10.7×10^{10}	17.6
ทองแดง	11.0×10^{10}	13.2×10^{10}	20.0

4.5 การหาค่า Shear modulus

จากการวัดความเร็วของคลื่นตามยาวของโลหะทั้ง 4 ชนิด โดยการคำนวณโดยใช้ค่าความหนาแน่น ความเร็วตามขวางตามสมการ G = ρV_S^2 พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Shear modulus ของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 4 ชนิด

ชนิดวัสดุ	ค่าทฤษฎี (Pa)	ค่าที่คำนวณได้ (Pa)	% error
เหล็กกล้า	8.4×10^{10}	7.92×10^{10}	5.71
อลูมิเนียม	2.5×10^{10}	3.03×10^{10}	21.20
ทองเหลือง	3.5×10^{10}	3.91×10^{10}	11.71
ทองแดง	4.2×10^{10}	5.06×10^{10}	20.47

4.6 การหาค่า bulk modulus

จากการวัดความเร็วของคลื่นตามยาวของโลหะทั้ง 4 ชนิด โดยการคำนวณโดยใช้ค่า ความหนาแน่น ความเร็วตามยาวและค่า Shear modulus ตามสมการ K = $\rho V_L^2 - \frac{3}{4}G$ พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า bulk modulus ของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 4 ชนิด

ชนิดวัสดุ	ค่าทฤษฎี (Pa)	ค่าที่คำนวณได้ (Pa)	% error
เหล็กกล้า	16×10^{10}	16.64×10^{10}	4.00
อลูมิเนียม	7.0×10^{10}	6.96×10^{10}	0.57
ทองเหลือง	6.1×10^{10}	11.19×10^{10}	83.44
ทองแดง	14×10^{10}	12.16×10^{10}	13.14

4.7 การหาค่า Poisson's ratio

จากการวัดความเร็วของคลื่นตามยาวของโลหะทั้ง 4 ชนิด โดยการคำนวณโดยใช้ค่า ความเร็วตามขวาง และความเร็วตามยาว ตามสมการ V = $1-2\langle\frac{V_S}{V_L}\rangle^2/2-2\langle\frac{V_S}{V_L}\rangle^2$ พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีจะได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า Poisson's ratio ของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 4 ชนิด

ชนิดวัสดุ	ค่าทฤษฎี	ค่าที่คำนวณได้	% error
เหล็กกล้า	0.33	0.29	12.12
อลูมิเนียม	0.31	0.31	0
ทองเหลือง	0.30	0.34	13.33
ทองแดง	0.33	0.32	3.03

5.สรุปผลการวิจัย

ในการวัดจากการวัดความหนาแน่นของโลหะทั้ง 4 ชนิด โดยวิธีการของอาร์คีมีดีสพบว่าค่าที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีดังนี้

- เหล็กกล้าค่าทฤษฎีคือ 7.83x10^3 ค่าที่วัดได้คือ 7.85 x10^3 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 0.36%
- อลูมิเนียมค่าทฤษฎีคือ 2.73 x10^3 ค่าที่วัดได้คือ 2.70 x10^3 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 0.98%
- ทองเหลืองค่าทฤษฎีคือ 8.60 x10^3ค่าที่วัดได้คือ 8.48 x10^3 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 1.39%
- ทองแดงค่าทฤษฎีคือ 8.90 x10^3 ค่าที่วัดได้คือ 8.94 x10^3 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 0.51%

จากการวัดความเร็วของคลื่นตามยาวของโลหะทั้ง 4 ชนิด ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก ใช้หัววัด Straight Beam Transducer (4MHz,) พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีดังนี้

- เหล็กกล้าค่าทฤษฎีคือเหล็กกล้า 5,810 ค่าที่วัดได้คือ 5,890เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 1.37%
- อลูมิเนียมค่าทฤษฎีคือ 6,190 ค่าที่วัดได้คือ 6,379 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 3.05%
- ทองเหลืองค่าทฤษฎีคือ 4,369 ค่าที่วัดได้คือ 4,398 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 0.66%
- ทองแดงค่าทฤษฎีคือ 4,600 ค่าที่วัดได้คือ 4,608 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 0.17%

จากการวัดความเร็วของคลื่นตามขวางของโลหะทั้ง 4 ชนิด โดยเครื่องอัลตราโซนิก ใช้หัววัด Angle Beam Transducer (4 MHz, 8 x 9 mm, 60°) พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีดังนี้

- เหล็กกล้าค่าตามทฤษฎี คือ 3,251 ค่าที่วัดได้คือ 3,181 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 2.15%
- อลูมิเนียมค่าตามทฤษฎีคือ 3,073 ค่าที่วัดได้คือ 3,351 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 9.04%
- ทองเหลืองค่าตามทฤษฎีคือ 2,108 ค่าที่วัดได้คือ 2,148 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 1.89%
- ทองแดงค่าตามทฤษฎีคือ 2,337 ค่าที่วัดได้คือ 2,380 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 1.83%

การหาค่า Young's modulus จากการวัดความเร็วของคลื่นตามยาวของโลหะทั้ง 4 ชนิด โดยการคำนวณ พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีดังนี้

- เหล็กกล้าค่าทฤษฎีคือ 20.0 x 10^{10} ค่าที่คำนวณได้คือ 20.7 x 10^{10} เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน คือ 3.5%
- อลูมิเนียมค่าตามทฤษฎีคือ 7.0 x 10^{10} ค่าที่คำนวณได้คือ 7.9 x 10^{10} เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 12.8%
- ทองเหลืองค่าตามทฤษฎีคือ 9.1 x 10^{10} ค่าที่คำนวณได้คือ 10.7 x 10^{10} เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 17.6%
- ทองแดงค่าตามทฤษฎีคือ 11.0 x 10^{10} ค่าที่คำนวณได้คือ 13.2 x 10^{10} เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 20.0%

การหาค่า Shear modulus จากการวัดความเร็วของคลื่นตามยาวของโลหะทั้ง 4 ชนิด โดยการคำนวณ พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี

- เหล็กกล้าค่าตามทฤษฎี 8.40 x 10^{10} ค่าที่คำนวณได้คือ 7.92 x 10^{10} เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 5.71%
- อลูมิเนียมค่าตามทฤษฎีคือ 2.50 x 10^{10} ค่าที่คำนวณได้คือ 3.03 x 10^{10} เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 21.20%
- ทองเหลืองค่าตามทฤษฎีคือ 3.50 x 10^{10} ค่าที่คำนวณได้คือ 3.91 x 10^{10} เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 11.71%
- ทองแดงค่าตามทฤษฎีคือ 4.20 x 10^{10} ค่าที่คำนวณได้คือ 5.06 x 10^{10} เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 20.47%

การหาค่า Bulk modulus จากการวัดความเร็วของคลื่นตามยาวของโลหะทั้ง 4 ชนิด โดยการคำนวณ พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีดังนี้

- เหล็กกล้าค่าตามทฤษฎีคือ 1.60x10^{10} ค่าที่วัดได้คือ 16.64x 10^{10} เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 4.00%
- อลูมิเนียมค่าตามทฤษฎีคือ 7.0 x 10^{10} ค่าที่คำนวณได้คือ 6.96 x 10^{10} เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 0.57%
- ทองเหลืองค่าตามทฤษฎีคือ 6.10 x 10^{10} ค่าที่คำนวณได้คือ 11.19 x 10^{10} เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 83.44%
- ทองแดงค่าตามทฤษฎีคือ 14.0 x 10^{10} ค่าที่คำนวณได้คือ 12.16 x 10^{10} เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 13.14%

การหาค่า Poisson's ratio จากการวัดความเร็วของคลื่นตามยาวของโลหะทั้ง 4 ชนิด โดยการคำนวณ พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีดังนี้

- เหล็กกล้าค่าตามทฤษฎีคือ 0.33 ค่าที่คำนวณได้คือ 0.29 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ12.12%
- อลูมิเนียมค่าตามทฤษฎีคือ 0.31 ค่าที่คำนวณได้คือ 0.31 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 0%
- ทองเหลืองค่าตามทฤษฎีคือ 0.30 ค่าที่คำนวณได้คือ 0.34 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 13.33%
- ทองแดงค่าตามทฤษฎีคือ 0.33 ค่าที่คำนวณได้คือ 0.32 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนคือ 3.03%

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ศุภรัตน์ ทัศน์เจริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำและปรึกษาเรื่องต่างๆ ทั้งทางด้านเทคนิค การคำนวณ ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ในการทดลองต่างๆ และศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแล้วและวัสดุศาสตร์ที่อนุเคราะห์สถานที่ทำการทดลองจนการวิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่สนับสนุนทุนการวิจัยโครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นเลิศทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2555

เอกสารอ้างอิง

[1] M. Hrairi, M. Ahmed and Y. Nimir, "Compaction of fly ash-aluminium alloy composites and evaluation of their mechanical and acoustic properties", Advance Powder Technology (2009) 20: 548–553.

[2] J. H. Lee and Y. C. Park, "Nondestructive characterization of metal matrix composite by ultrasonic measurement", Pergamon (1995) 5: 1426–143.

[3] P. Li, J. Hao, J. Tan and Q. Wang "The effect of Al on the elastic properties of $(Cu_{0.56}Zr_{0.44})_{100-x}Al_x$ bulk metallic glasses", Materials Science and Engineering A (2009) 518: 16–18.

[4] L. G. Hwa and W. C. Chao, "Velocity of sound and elastic properties of lanthanum gallo-germanate glasses", Materials Chemistry and Physics (2005) 94: 37–41 .

การดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้วัสดุเหลือใช้

Absorption of Methylene Blue Using Waste Materials

กิ่งกาญจน์ แสนสุข[1], อานนท์ อางนานนท์[1], วัชรพงศ์ ทัศนบรรจง[1], จันทิมา ภาคภูลภัย[1], จริยา ผดุงพัฒโนดม[1]
และ สุวิมล เรืองศรี[1,2]

[1]โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม อ. เมือง จ. นครปฐม
E-mail: kingkan_net@hotmail.com
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศด้านแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม อ. เมือง จ. นครปฐม
E-mail: suwimonn@live.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวัสดุดูดซับ 3 ชนิด ได้แก่ ชานอ้อย ฟางข้าว และหญ้าแพงโกลา เพื่อใช้ในการดูดซับสีเมทิลีนบลู เพื่อหาความสามารถในการดูดซับ โดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลือด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิล โฟโตมิเตอร์(UV-Vis) และนำวัสดุดูดซับที่มีค่าการดูดซับดีที่สุดมาหาไอโซเทอร์มของการดูดซับ ผลการศึกษาพบว่า หญ้าแพงโกลามีความสามารถในการดูดซับที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุดูดซับชนิดอื่น ไอโซเทอร์มของการดูดซับศึกษาจากแบบจำลองแลงเมียร์และฟรุนด์ลิช พบว่า การดูดซับของหญ้าแพงโกลาเป็นไปตามไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ โดยมีค่าคงที่ K ตามสมการของแลงเมียร์เป็น 0.826 และความสามารถในการดูดซับ (q_m) มีค่า 2.22 mg/g

คำสำคัญ: การดูดซับ, เมทิลีนบลู, ชานอ้อย, ฟางข้าว, หญ้าแพงโกลา

Abstract

The objective of this research was to study three types of adsorbents: bagasse, rice straw and Pangola grass for the methylene blue adsorption and to determine their abilities to absorb. UV-Visible Spectrophotometer (UV-Vis) was used to determine the remaining concentrations of methylene blue. The Langmuir and Freundlich adsorption models were applied to describe the adsorption. The adsorption followed Langmuir adsorption isotherm, with has Langmuir constant, k =0.826 and the adsorption capacity, q_m = 2.22 mg/g

Keyword: adsorption, methylene blue, bagasse, rice straw, Pangola grass

1. บทนำ

สีย้อมมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อสร้างสีสันให้เกิดความสวยงามแก่เส้นใย สีย้อมที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมเมื่อจำแนกตามวิธีการใช้งาน สามารถแบ่งได้ 8 ประเภท ดังนี้ (1) สีไดเรกส์ (Direct Dyes (2) สีรีแอคทีฟ (Reactive Dyes) (3) สีเบสิค (Basic Dyes) (4) สีแอสิค (Acid Dyes) (5) สีมอร์แดนท์หรือสีโครม (Mordant Dyes) (6) สีวัต (Vat Dyes) (7) สีซัลเฟอร์ (Sulfer Dyes) (8) สีดิสเพิร์ส (Disperse Dyes) [1]

น้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยส่วนใหญ่ จะเป็นการใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อใช้ในการฟอกย้อม ภายหลังจากการฟอกย้อมพบว่างานเหล่านี้จะก่อให้เกิดน้ำเสียในกระบวนการผลิต ซึ่งมาจาก 2 แหล่งใหญ่ [2] ได้แก่ น้ำเสียที่ใช้ในการฟอกย้อม น้ำเสียในส่วนนี้จะมีปริมาณน้อยแต่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง และน้ำเสียที่ใช้ในการซักล้าง หลังการฟอกย้อม น้ำเสียในส่วนนี้มีปริมาณมาก แต่ความเข้มข้นมีค่าต่ำกว่าน้ำเสียประเภทแรกค่อนข้างมาก

การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่เกิดขึ้นจากการใช้สีในการย้อมผ้าสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้แบคทีเรียย่อยสลาย การใช้สารเคมีช่วยตกตะกอนหรือการออกซิเดชัน การแลกเปลี่ยนไอออน และการแยกโดยใช้เยื่อแผ่น แต่ละวิธีที่กล่าวมาพบว่า มีข้อกำจัดในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้แก่ การย่อยสลายโดยแบคทีเรีย จะใช้เวลานานในการบำบัด สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการก่อสร้าง การใช้สารเคมีและออกซิเดชันจะต้องมีการเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสีย ทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้นมาก การแลกเปลี่ยนไอออนจะมีค่าตัวแลกเปลี่ยนค่อนข้างสูง ทำให้เพิ่มเงินลงทุนการก่อสร้างและการแยกโดยใช้เยื่อแผ่น พบปัญหาการอุดตันของสีที่ผิวของเยื่อแผ่น ทำให้ต้องใช้สารเคมีในการล้างทำความสะอาด [3]

ในขณะที่การดูดซับเป็นอีกทางหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ พบว่ามีข้อดีได้แก่ ไม่ต้องมีการเติมสารเคมีลงไปในน้ำเสีย ใช้เงินลงทุนน้อย ใช้เวลาในการบำบัดไม่นาน ใช้สถานที่ไม่มาก สามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ตัวดูดซับที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้แก่ ถ่านกัมมันต์ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวปริมาณมาก เป็นผลให้ประสิทธิภาพสูง ในการกำจัดสีจากน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ในทางปฏิบัติพบว่า การใช้ถ่านกัมมันต์อาจไม่มีความเหมาะสมมากนักสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงๆ เนื่องจากถ่านกำมันต์ยังมีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นวัสดุที่มีราคาถูกหรือวัสดุธรรมชาติที่เป็นของเหลือทิ้ง จึงมีความเหมาะสมมากกว่าที่จะนำมาใช้ในการดูดซับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงนำชานอ้อย ฟางข้าว และหญ้าแพงโกลา ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่เหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตร มาดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู โดยทำการศึกษาผลของเวลาในการดูดซับสีย้อม นอกจากนั้นยังมีการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสีย้อมโดย ชานอ้อย ฟางข้าว และหญ้าแพงโกลาอีกด้วย

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวดูดซับ

นำหญ้าแพงโกลา ฟางข้าว และ ชานอ้อยมาล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก อบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง นำมาลดขนาดด้วยเครื่องปั่น นำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้นร้อยละ 40 ปริมาตรต่อปริมาตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำกลั่น 3-4 ครั้ง นำมาคัดขนาดให้ได้ 0.2 มิลลิเมตร นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วเก็บฟางข้าว ชานอ้อย และหญ้าแพงโกลาที่ใช้เป็นตัวดูดซับไว้ในโถเก็บความชื้น

2.2 การดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของเวลาต่อการดูดซับ

ชั่งตัวอย่างหญ้าแพงโกลา ชานอ้อย และฟางข้าว อย่างละ 0.8 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นใส่สารละลายเมทิลีนบลูปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ แช่ตัวดูดซับกับสารละลายเมทิลีนบลูที่อุณหภูมิห้องตั้งทิ้งไว้ที่เวลา 10-300 นาที (เว้นระยะตัวอย่างละ 10 นาที) จากนั้นนำสารละลายเมทิลีนบลูหลังการดูดซับ มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-vis

Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร นำผลการทดลองที่ได้ มาคำนวณหาความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู ตามสมการ (1)

สมการ $$q_e = \left(\frac{C_0 - C_e}{W}\right) \times V \qquad (1)$$

เมื่อ q_e คือ ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)

C_o คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเมทิลีนบลู(mg/g)

C_e คือ ความเข้มข้นสมดุลของสารละลายเมทิลีนบลู(mg/g)

V คือ ปริมาตรของสารละลายเมทิลีนบลู (mL)

W คือ น้ำหนักของตัวดูดซับ (g)

ตอนที่ 2 ศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ชั่งตัวอย่างตัวดูดซับที่ดีที่สุดจากตอนที่ 1 มา 0.05 กรัม แช่ในสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องตั้งทิ้งไว้ที่เวลา 10 นาที ถึงเวลาที่สมดุลที่ได้จากตอนที่ 1 (เว้นระยะตัวอย่างละ 10 นาที) จากนั้นนำสารละลายเมทิลีนบลูหลังการดูดซับ มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer (UV-Vis)ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร นำผลการทดลองที่ได้ มาคำนวณหาความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู

ไอโซเทอร์มของการดูดซับเมทิลีนบลูเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณของเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ กับความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิที่คงที่ เพื่อหาไอโซเทอร์มที่เหมาะสมและใช้อธิบายลักษณะการดูดซับเมทิลีนบลูของตัวดูดซับ แบบจำลองไอโซเทอร์มสมการเส้นตรงของการดูดซับแบบแลงเมียร์ หรือ ฟรุนด์ลิช โดยสมการไอโซเทอร์มการดูดซับของแลงเมียร์ [4] แสดงได้ดังสมการ (2)

$$q_e = \frac{q_m K C_e}{1 + K C_e} \qquad (2)$$

จัดรูปสมการ ให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะได้ดังสมการ (3)

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_{qm} C_e} \qquad (3)$$

เมื่อ q_e = ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถในการดูดซับ) (mg/g)

q_m = ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (mg/g)

K_{qm} = ค่าคงที่การดูดซับ

C_e = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (mg/l)

สมการไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนด์ลิช [5] แสดงดังสมการ (4)

$$q_e = K c_e^{1/n} \qquad (4)$$

เมื่อ K และ n เป็นค่าคงที่ของฟรุนด์ลิช (freundlich constant)

จัดรูปให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงจะได้สมการ (5)

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \qquad (5)$$

เมื่อ q_e = ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (mg/g)

K = ค่าคงที่การดูดซับของฟรุนด์ลิช

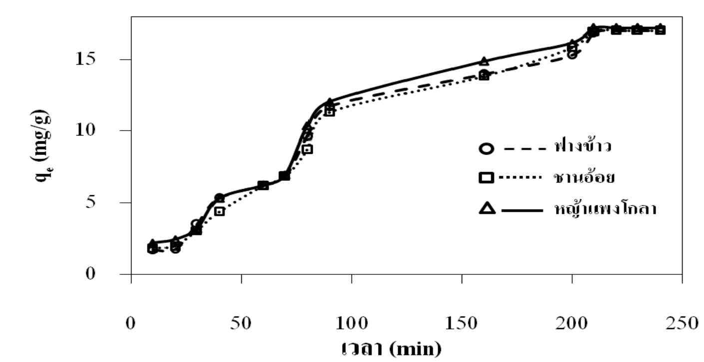
1/n = ความชันของกราฟ

C_e = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (mg/l)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลของเวลาต่อการดูดซับ

เมื่อนำหญ้าแพงโกลา ชานอ้อย และฟางข้าวปริมาณ 0.8 กรัมแช่ในสารละลายเมทิลีนบลู pH 5 ที่เวลา 0-300 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงของเมทิลีนบลูที่เหลือหลังการดูดซับด้วยเครื่อง UV-Vis ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 1 จากภาพพบว่าทุกตัวดูดซับมีสมดุลการดูดซับที่เวลาที่เวลา 220 นาที โดยความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูของหญ้าแพงโกลา ฟางข้าว และชานอ้อยมีค่า 17.2, 17.0 และ 17.0 mg/g ตามลำดับ



ภาพที่ 1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับของเมทิลีนบลูกับเวลาของตัวดูดซับต่างๆ กันคือ ○ ฟางข้าว □ ชานอ้อย △ หญ้าแพงโกลา

3.2 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลู

เมื่อนำหญ้าแพงโกลาไปดูดซับเมทิลีนบลู ความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 10-220 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงของเมทิลีนบลูที่เหลือหลังการดูดซับด้วยเครื่อง UV-Vis จากนั้นนำมาคำนวณตามสมการแล้วนำมาสร้างกราฟระหว่าง 1/C และ $1/q_e$(ตามสมการของแลงเมียร์) และสร้างกราฟระหว่าง log C_e และ log q_e (ตามสมการของฟรุนด์ลิช) ได้กราฟดังภาพที่ 2 (ก) และ(ข) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพัทธ์ซึ่งมีความใกล้เคียง 1 มากที่สุด พบว่าไอโซเทอร์มการดูดซับของหญ้าแพงโกลา สอดคล้องกับสมการแลงเมียร์มากกว่าสมการฟรุนด์ลิช

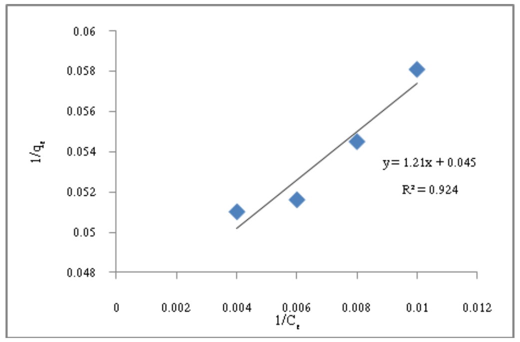
หญ้าแพงโกลา (*Digitaria eriantha*) มีส่วนประกอบหลักเป็นเซลลูโลส ซึ่งถือเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ประกอบด้วยกลูโคสมาเรียงต่อกันเป็นสายยาว การเพิ่มความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาให้กับเซลลูโลสสามารถทำได้โดยการทำให้การบวมตัว การเปลี่ยนตัวทำละลาย หรือการใส่ตัวเติมที่ทำให้โครงสร้างขยายตัว[6] ในการทดลองนี้เป็นการทำให้โครงสร้างเซลลูโลสของหญ้า

แพงโกลาเกิดการบวมตัว ทำให้การดูดซับเกิดขึ้นจากแรงดึงดูดทางฟิสิกส์ที่สามารถผันกลับได้ เมทิลีนบลูสามารถดูดซับบนผิวหญ้าแพงโกลาได้หนึ่งชั้น โดยสามารถอธิบายขั้นตอนการดูดซับที่เกิดอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับ [7] ได้ดังนี้

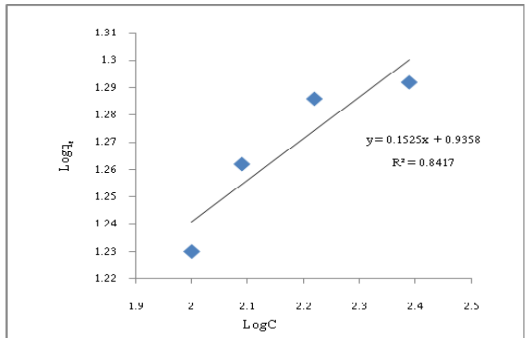
ก) การเคลื่อนที่ของเมทิลีนบลูจากสารละลาย ผ่านชั้นของเหลวไปสู่ผิวภายนอกของหญ้าแพงโกลา

ข) เมทิลีนบลูแพร่เข้าไปภายในรูของหญ้าแพงโกลา

ค) การดูดซับของเมทิลีนบลูภายในรูพรุนของหญ้าแพงโกลา



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/C_e$ และ $1/q_e$ ของการดูดซับด้วยหญ้าแพงโกลา

(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log C_e$ และ $\log q_e$ ของการดูดซับด้วยหญ้าแพงโกลา

สำหรับค่าต่างๆ ตามไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนด์ลิช แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ตามไอโซเทอร์มของแลงเมียร์และฟรุนด์ลิช เมื่อใช้หญ้าแพงโกลาเป็นตัวดูดซับเมทิลีนบลู

ไอโซเทอร์มของแลงเมียร์			**ไอโซเทอร์มของฟรุนด์ลิช**		
K	q_m	R^2	K	1/n	R^2
0.826	2.22	0.924	8.626	0.1525	0.8417

จากตารางพบว่า ค่าคงที่ตามสมการของแลงเมียร์มีค่า 0.826 และความสามารถในการดูดซับ (q_m) มีค่า 2.22 mg/g หญ้าแพงโกลา

4. สรุป

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงความสามารถในการดูดซับสีเมทิลีนบลู โดยใช้ฟางข้าว ชานอ้อย และหญ้าแพงโกลาเป็นวัสดุดูดซับที่ได้จากธรรมชาติ พบว่าหญ้าแพงโกลาเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับดีที่สุด และมีไอโซเทอร์มของการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์ โดยมีค่าคงที่ K ตามสมการของแลงเมียร์เป็น 0.826 และความสามารถในการดูดซับ (q_m) มีค่า 2.22 mg/g

5. เอกสารอ้างอิง

[1] ก้องเกียรติ์ เจริญธีรวงศ์, “**การปรับปรับปรุงโครงสร้างของเซลลูโลสธรรมชาติด้วยวิธีเคมีเพื่อใช้บำบัดสีในน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม**”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543

[2] รวินทร์ สุทธะนันท์ และ โกวิทย์ ปิยะมังคลา, “จลนศาสตร์และเทอร์โมเคมีการดูดซับเมททิลีนบลูโดยใช้แกลบดัดแปร”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 21(2), 2554 หน้า 337-348.

[3] เบจมาภรณ์ ชำกรม, “**การใช้เรซินชานอ้อยบำบัดสีจากน้ำเสียย้อมผ้า**” วิทยานิพนธ์สาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2546.

[4] Langmuir I., “The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass, Mica and Platinum”, Journal of the American Chemical Society, 40, 1918, pp. 1361-1403.

[5] Freundlich H., “Über die adsorption in Lösungen”, Z. Phy. Chem., 57, 1906, pp. 385-470.

[6] พอตา ประสานนาม, “การกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนที่ผลิตจาก Hydroxyethyl cellulose”, ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.

[7] El-khaiary M.I., “Kinetics and mechanism of adsorption of methylene blue from aqueous solution by nitric-acid treated water-hyacinth,” Journal of Hazardous Materials, 147, 2007, pp. 28-36.

ผลของ SnO_2 ต่อสมบัติของแก้วที่เติมอนุภาคทองคำ
Effects of SnO_2 on Properties of Glass Doped with Gold Particles

ยศกิต เรืองทวีป[1,2*], สุวิมล เรืองศรี[3], พีรพงศ์ อนุพันธ์[3] และ จักรพงษ์ แก้วขาว[1,2,4]

[1]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000
[2]โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000
[3]โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000
[4]ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ ถนนศรีอยุธา กระทรวงศึกษาธิการ กรุงเทพมหานคร 10400
อีเมลล์: djone283@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมแก้วสีแดงจากอนุภาคทองคำโดยวิธีการหลอมแล้วทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางแสงของแก้วตัวอย่าง โดยแก้วถูกเตรียมในอัตราส่วน $11Na_2O$: $9CaO$: $9K_2O$: $0.005SeO_2$: 0.02Au: (70.9795-X)SiO_2: $xSnO_2$ เมื่อ x = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 w% ผลที่ได้พบว่าแก้วมีสีแดงที่ความเข้มข้นของ SnO_2 ที่ 0.1, 0.2 และ 0.5 w% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและค่าโคออดิเนตสีในระบบ CIE L*a*b* จากเครื่องยูวี – วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สำหรับค่าความหนาแน่นและดรรชนีหักเหมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ SnO_2

คำสำคัญ: แก้ว, สีแดง, ค่าดรรชนีหักเห, สเปกตรัมการดูดกลืนแสง, ค่าความหนาแน่น

Abstract

*In this work, red glasses from gold particles have been fabricated by melted quenching technique and investigate physical and optical properties. The glasses were prepared in formula $11Na_2O$: $9CaO$: $9K_2O$: $0.005SeO_2$: 0.02Au: (70.9795-X)SiO_2: $xSnO_2$, where x = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 w%. The result found that, the glasses shows red color at 0.1, 0.2 and 0.5 % of SnO_2, correspond with optical absorption spectra and color coordinate in CIEL*a*b* from uv-visible spectrophotometer. The density and refractive index were increased with increasing of SnO_2 concentration.*

Keyword: Glass, Red color, Refractive Index, Absorption Spectra, Density

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

1. บทนำ

ปัจจุบันแก้วสี (Color glass) มีบทบาทอย่างมากในวงการเครื่องประดับและของตกแต่ง ซึ่งมียอดการส่งสินค้าหลายร้อยล้านบาทต่อปี [1] และมีโรงงานทั้งขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก อยู่หลายโรงงานในประเทศไทย ซึ่งเป็นฐานการผลิตให้อุตสาหกรรมแก้วยี่ห้อดังๆทั่วโลก เช่น Swarovski เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญที่พบกันเสมอในทุกๆโรงงานก็คือการเกิดสีในเนื้อแก้วมีความเพี้ยนไป ไม่สามารถควบคุมคุณภาพการผลิตได้ ซึ่งการเกิดสีนี้มีความละเอียดอ่อนและเพี้ยนได้ง่ายมากโดยขึ้นกับ บรรยากาศในการหลอม อุณหภูมิ เวลา และสารที่ใช้ ตลอดจนความชื้นในโรงงาน ซึ่งสีที่เพี้ยนบ่อยมากในการผลิตแก้วคือสีแดง แก้วสีแดงนี้สามารถเตรียมได้จากอนุภาคของทองคำ [2, 3] ทองแดง [4] และที่นิยมใช้ที่สุดคือ แคดเมียมซัลไฟด์ร่วมกับผงโลหะเซเลเนียม [4]

อย่างไรก็ตามพบว่าแก้วสีแดงจากอนุภาคทองคำ เป็นที่นิยมที่สุด เนื่องจากมีสีสวย โดยเรียกกันในวงการว่า Ruby Red Gold Glass ซึ่งจากรายงานวิจัยพบว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดสีแดงจากอนุภาคทองคำได้แก่ ขนาดของตัวอนุภาคทองคำ ซึ่งหากเล็กกว่า 50 nm [3] จะทำให้แก้วมีสีแดง และสวยตามที่ตลาดต้องการ นักวิจัยและวิศวกรในโรงงานแก้วจึงพยายามมีกระบวนการต่างๆ เพื่อลดขนาดอนุภาค โดยกระบวนการประกอบด้วยปัจจุยต่างๆเหล่านั้นได้แก่ สูตรแก้ว (Glass Formula) อุณหภูมิในการหลอม (Melting Temperature) เวลาที่ค้าง (Soaking time) การอบซ้ำ (Heat Treatment) และสารเคมีที่เติมลงไปเช่น SeO_2 หรือ/และ SnO_2 เป็นต้น

ปัจจุบันมีรายงานวิจัยพบว่า SnO_2 ที่เติมลงไปในแก้ว ส่งผลต่อขนาดอนุภาคของทองคำให้เล็กลงอย่างชัดเจน [5] ดังนั้นหากทราบองค์ความรู้และผลกระทบของ SnO_2 ต่อการเกิดแก้วสีแดงโดยอนุภาคทองคำก็จะให้ให้ผู้ประกอบการสามารถควบคุมคุณภาพของแก้วสีแดงชนิดนี้ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงศึกษาการเกิดสีแดงในแก้ว โดยอนุภาคทองคำ โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณ SnO_2 ที่จะมีผลต่อขนาดอนุภาคทองคำที่ใส่ลงไป จากนั้นวัดคุณสมบัติต่างๆของแก้ว และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเกิดสีแดงในแก้ว เพื่อเป็นประโยชน์ในวงการอุตสาหกรรมแก้วและเศรษฐกิจของประเทศต่อไป

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การหลอมแก้ว

เตรียมส่วนผสมในการหลอมแก้วจากร้อยละโดยน้ำหนักของสารเคมีต่างๆ ในสูตร $11Na_2O$: $9CaO$: $9K_2O$: $0.005SeO_2$: 0.02Au: (70.9795-X)SiO_2: $xSnO_2$ โดยที่ x คือปริมาณ SnO_2 ที่ใส่ลงไปในปริมาณต่างๆกัน คือ 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 w% ตามลำดับ จากนั้นผสมสารทั้งหมดให้เป็นเนื้อเดียวกันลงในเบ้าหลอมอลูมินา (Alumina) และนำเข้าเตาหลอมไฟฟ้า โดยให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิ 1,500 °C ค้างไว้เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อให้สารประกอบหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกันจะได้น้ำแก้วเหลว หลังจากนั้นเปิดฝาเตานำเอาเบ้าหลอมออกจากเตาเผาและเทน้ำแก้วเหลวลงในแม่พิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิม ทิ้งไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อแก้วที่เย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิห้อง นำไปขัดให้มีขนาด 1.0×1.5×0.3 cm^3 เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่างๆ ของแก้ว

2.2 การวัดคุณสมบัติแก้ว

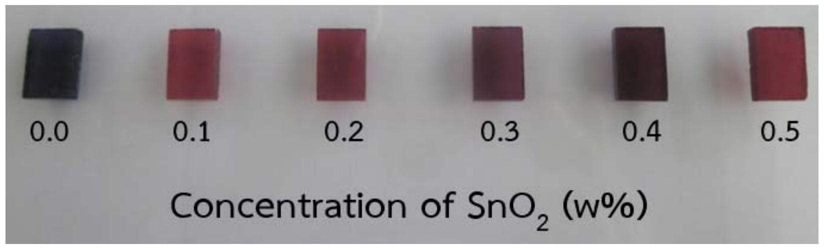
งานวิจัยได้ทำการวัดค่าดรรชนีหักเหของแสงด้วยเครื่อง Abbe Refractometer (ATAGO 3-T) และหาความหนาแน่นของแก้วด้วยหลักอาคิมีดีส ดังสมการที่ 1

$$\rho = \frac{w_A}{w_A - w_B} \times \rho_{xylene} \tag{1}$$

เมื่อ w_A คือน้ำหนักของแก้วในอากาศและ w_B คือน้ำหนักของแก้วในไซลีน และความหนาแน่นของไซลีน (ρ_{xylene}) มีค่าเท่ากับ 0.8630 g/cm^3 ตัวอย่างแก้วไปวัดการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี – วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Variance Cary-50) ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-900 nm และวัดสีของแก้วในระบบ CIE L*a*b*

3. ผลการวิจัย

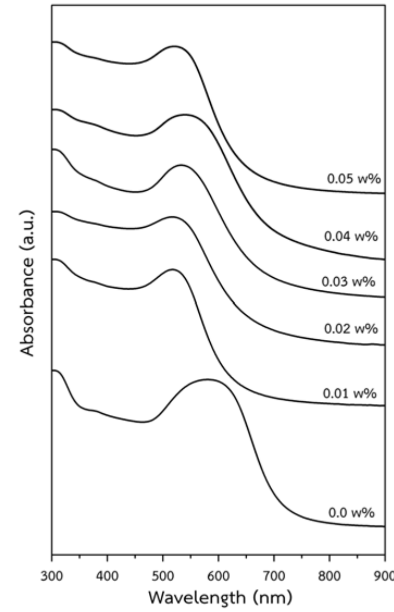
จากการทดลองหลอมแก้วที่เติม SnO_2 ในปริมาณ 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 w% ตามลำดับ พบว่าแก้วตัวอย่างที่ได้มีลักษณะของสีเป็นเนื้อเดียวกัน โดยสังเกตเห็นสีน้ำเงินในแก้วที่ไม่เติม SnO_2 สังเกตเห็นสีม่วงที่การเติม SnO_2 ที่ 0.03 และ 0.04 w% และสังเกตเห็นสีแดงของแก้วเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นของ SnO_2 ที่ 0.1, 0.2 และ 0.5 w% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 1

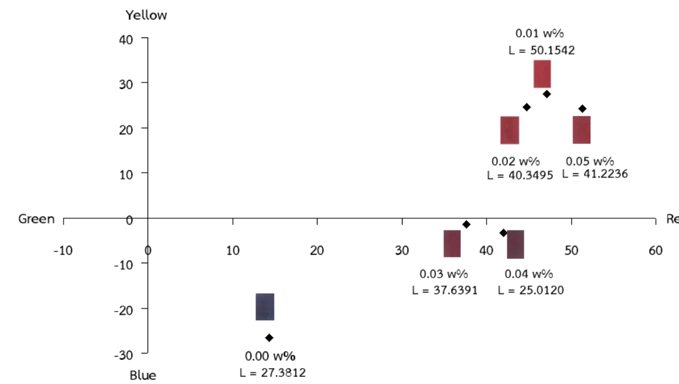


ภาพที่ 1 แก้วตัวอย่างจากงานวิจัย

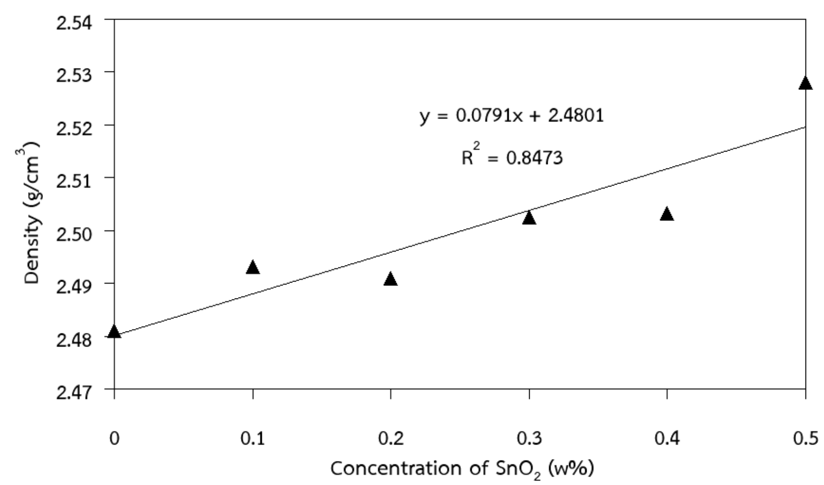
ภาพที่ 2 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง 300 – 900 nm ของแก้วตัวอย่าง และพบว่าแก้วตัวอย่างที่ความเข้มข้นของ SnO_2 ที่ให้แก้วมีสีแดงจะมีพีคการดูดกลืนอยู่บริเวณ 520 nm ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยการเกิดสีแดงในแก้วบอโรซิลิเกตของ J. Vosburgh และ R. H. Doremus [5] อย่างไรก็ตามในกรณีดังกล่าวต้องมีการอบ (annealed) แก้วตัวอย่างที่ได้ที่อุณหภูมิ 600 °C แต่ในงานวิจัยนี้แก้วตัวอย่างสามารถเกิดสีแดงขึ้นมาได้เลยโดยที่ไม่ต้องการการอบซ้ำ ซึ่งผลการทดลองน่าจะเป็นแนวโน้มที่ดีเพื่อการประยุกต์ใช้การผลิตแก้วสีแดงจากอนุภาคทองคำในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากจะช่วยประหยัดพลังงานและเชื้อเพลิงในการอบแก้วซ้ำที่อุณหภูมิสูงได้ ค่าโคออดิเนตสีในระบบ CIE L*a*b* ของแก้วตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3 พบว่าค่าสีที่ได้สอดคล้องกับสีของแก้วที่เห็นด้วยตาเปล่า และยังพบอีกว่าค่าสีแดงของแก้วจะสูงสุดที่ความเข้มข้นของ SnO_2 ที่ 0.5 w% ซึ่งการเกิดสีแดงในแก้วตัวอย่างนี้เชื่อได้ว่าน่าจะเกิดจากการที่ขนาดของอนุภาคทองคำมีขนาดประมาณ 50 nm ในแก้ว [3]

ภาพที่ 4 แสดงค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่าง พบว่าแก้วมีแนวโน้มความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ SnO_2 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นนี้ ยังส่งผลให้ค่าดรรชนีหักเหของแก้วเพิ่มขึ้นอีกด้วย โดยการเพิ่มขึ้นของดรรชนีหักเหตามค่าความหนาแน่นเป็นไปตามทฤษฎี ไดอิเลกตริกแบบคลาสสิก (classical dielectric theory) [6] ที่อธิบายว่าดรรชนีหักเหนั้นขึ้นกับความหนาแน่นและค่า polarisabilities ของตัวกลาง ดังภาพที่ 5

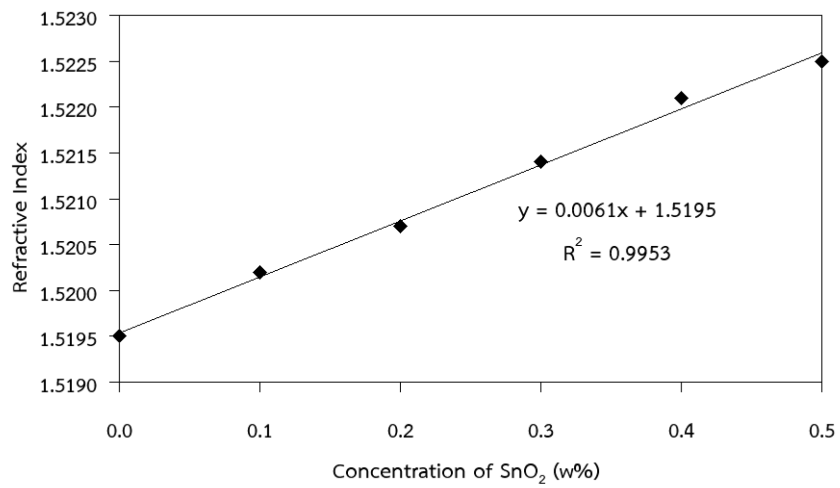




ภาพที่ 2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง 300 – 900 nm ของแก้วตัวอย่าง (ซ้าย)
ภาพที่ 3 ค่าโคออดิเนตสีในระบบ CIE L*a*b* ของแก้วตัวอย่าง (ขวา)



ภาพที่ 4 ความหนาแน่นของแก้วตัวอย่าง



ภาพที่ 5 ค่าดรรชนีหักเหของแก้วตัวอย่าง

4.สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการหลอมแก้วในสูตร $11Na_2O$: 9CaO : $9K_2O$: $0.005SeO_2$: 0.02Au: (70.9795-x)SiO_2: xSnO_2 เมื่อ x คือปริมาณ SnO_2 ในปริมาณต่างๆกัน โดยมีปริมาณ 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 w% ตามลำดับ โดยทำการหลอมที่อุณหภูมิ 1,500 °C ในเบ้าอลูมินาความบริสุทธิ์สูง และศึกษาสมบัติทางกายภาพ และ สมบัติทางแสงของแก้วตัวอย่าง ผลที่ได้พบว่าแก้วจะมีสีแดงได้โดยไม่ต้องอบซ้ำที่ความเข้มข้นของ SnO_2 เป็น 0.1, 0.2 และ 0.5 w% ตามลำดับ โดยที่แก้วที่ไม่เติม SnO_2 จะมีสีน้ำเงิน และแก้วที่เติม SnO_2 ปริมาณ 0.3 และ 0.4 w% จะมีสีม่วง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจากเครื่อง ยูวี – วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และสอดคล้องกับค่าโคออดิเตสีในระบบ CIE L*a*b* ซึ่งการเกิดสีแดงในแก้วตัวอย่างนี้เชื่อได้ว่าน่าจะเกิดจากการที่ขนาดของอนุภาคทองคำมีขนาดประมาณ 50 nm ภายในแก้ว และผลการทำลองน่าจะเป็นแนวโน้มที่ดีในการประยุกต์ใช้การผลิตแก้วสีแดงจากอนุภาคทองคำในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากจะช่วยประหยัดพลังงานและเชื้อเพลิงในการอบแก้วซ้ำที่อุณหภูมิสูงได้ สำหรับค่าความหนาแน่นและดรรชนีหักเหของแก้วมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ SnO_2

เอกสารอ้างอิง

[1] เอกสารสรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมไทยปี 2551 และแนวโน้มปี 2552 (อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ), สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[2] อุไรวรรณ อินต๊ะถา และคณะ "การศึกษาอิทธิพลการเติมทองคำในแก้วตะกั่ว" เอกสารงานประชุมวิชาการวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 28, ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์, กรุงเทพ, 24–26 ตุลาคม 2002.

[3] Haslbeck S., Martinek K.-P., Stievano L. and Wagner F. E., "Formation of gold nanoparticles in gold ruby glass: The influence of tin", Hyperfine Interact, 165, 2005, pp. 89–94.

[4] Bring T., "Red Glass Coloration–A Colorimetric and Structural Study", Ph.D. Thesis Vaxjo University, Sweden, 2006.

[5] Vosburgh J. and Doremus R–H., "Optical absorption spectra of gold nano-clusters in potassium borosilicate glass", Journal of Non-Crystalline Solids, 349, 2004, pp. 309–314.

[6] Ruangtaweep Y., Kaewkhao J., Kirdsiri K., Kedkaew C. and Limsuwan P., "Properties of CoO doped in Glasses Prepared from Rice Hush Fly Ash in Thailand", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 18, 112008, 2011, pp. 1-6.

ผลของ CaO ต่อคุณสมบัติของแก้วที่เตรียมจากขี้เถ้าแกลบ

Effects of CaO on Properties of Glasses Prepared from Rice Husk Ash

กิติพันธ์ บุญอินทร์[1,2*] จุฑารัตน์ รูปคมสัน[2] ยศกิต เรืองทวีป[1,2] และ จักรพงษ์ แก้วขาว[1,2]

[1]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
[2]โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
*อีเมลล์: *kboonin@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยได้เตรียมแก้วในโครงสร้าง (62 – x)SiO_2 : $20Na_2O$: $13.3B_2O_3$: $0.2Sb_2O_3$: 4.5BaO : x CaO โดยที่ x คือจำนวนโมล CaO ที่ใส่ลงไปในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยมีปริมาณ 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, และ 10.0 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้าน ความหนาแน่น ดัชนีหักเห ความแข็ง และการดูดกลืนแสงของแก้ว ผลที่ได้พบว่า ความหนาแน่น ดัชนีหักเห และค่าความแข็งของแก้ว มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ CaO ที่เติมลงไปในแก้ว และขอบการดูดกลืนแสงเลื่อนไปทางความยาวคลื่นยาว เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CaO

คำสำคัญ: แก้ว, ขี้เถ้าแกลบ, ดัชนีหักเห, ความแข็ง

Abstract

Glasses with composition (62 – x)SiO2 : 20Na2O : 13.3B2O3 : 0.2Sb2O3 : 4.5BaO : xCaO (where 0<x<10 (mol%)) have been prepared using the normal melt-quench technique and their properties have been investigated. The density of glass Refractive index and hardness of glass have been increase with increasing of CaO concentration. The absorption edge are slightly red shift with increasing of CaO content.

Keyword: Glass, Rice husk ash, Refractive index, Hardness

1. บทนำ

แกลบที่ได้จากการปลูกข้าวเป็นวัสดุที่มีมากมายในประเทศและมีราคาถูกโดยประเทศไทยเป็นประเทศกสิกรรม ในปีหนึ่งๆ มีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 64 ล้านไร่ ได้ผลผลิตข้าวประมาณ 23 ล้านตันและได้แกลบจากการสีข้าวประมาณ 4.7 ล้านตันต่อปี [1] การนำแกลบไปเผาที่อุณหภูมิพอเหมาะ จะได้เถ้าแกลบเหลือประมาณ 20% ของน้ำหนักเดิมแล้วบดให้ละเอียด จากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าเถ้าแกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบสูงเกือบ 90% [1,2] แต่ถ้าเราควบคุมการเผาให้เหมาะสมผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น [2-4]

จากที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยคาดว่าแกลบน่าจะเป็นวัตถุดิบที่นำไปผลิตแก้วที่ใช้ในงานผลิตภัณฑ์เครื่องประดับได้ เพราะโดยทั่วไปแก้วจะผลิตจากทรายในธรรมชาติซึ่งมีปริมาณซิลิกาแตกต่างกันแต่ละแหล่ง และจากงานวิจัย ก่อนหน้านี้ของคณะผู้วิจัยพบว่า ไม่จำเป็นต้องมีปริมาณ ซิลิกาบริสุทธิ์มากก็สามารถผลิตอัญมณีและแก้วที่ใช้ในงานเครื่องประดับได้ [5,6] อย่างไรก็ตามการเตรียมแก้วจากขี้เถ้าแกลบยังพบปัญหาด้านความแข็งของแก้ว ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญในการนำไปใช้เป็นอัญมณีเทียม และมีรายงานวิจัยพบว่า CaO เป็นสารเคมีที่สามารถเพิ่มความแข็งให้วัสดุประเภทแก้วได้ [7] งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของ CaO ต่อคุณต่อคุณสมบัติด้านความแข็ง และสมบัติด้านอื่นๆของแก้วที่เตรียมจากขี้เถ้าแกลบ เพื่อพัฒนาสูตรแก้วจากที่เถ้าแกลบให้มีความเหมาะสมในการใช้งานต่อไป

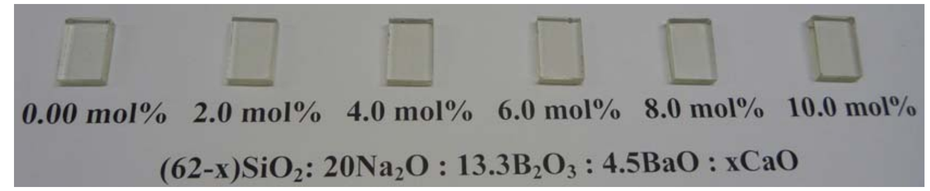
2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เตรียมส่วนผสมในการหลอมแก้วจากร้อยละโดยโมลของสารตั้งต้นต่าง ๆ ดังนี้ (62 – x)SiO_2 : 20Na_2O : 13.3B_2O_3 : 0.2Sb_2O_3 : 4.5BaO : x CaO โดยที่ x คือจำนวนโมล CaO ที่ใส่ลงไปในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยมีปริมาณ 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, และ 10.0 ร้อยละโดยโมล ตามลำดับ ชั่งสารเตรียมส่วนผสมของสารตั้งต้นมวลรวม 30 กรัม โดยใช้ขี้เถ้าแกลบแทน SiO_2 ในสูตร โดยนำแกลบจากโรงสีข้าวในจังหวัดนครปฐม มาสกัดสารซิลิกาจากแกลบตามกระบวนการเผาที่อุณภูมิ 1,000 $^{\circ}$C ในบรรยากาศปกติ จากนั้นนำขี้เถ้าที่เผาได้มาเพื่อเป็นสารตั้งต้นในการผลิตแก้ว และนำส่วนผสมของสารตั้งต้นมาผสมให้เข้ากัน นำมาใส่ในครูซิเบิล (Crucible) ที่เตรียมไว้ นำเข้าเตาเผาสาร โดยให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส และให้ความร้อนกับชุดตัวอย่างที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้สารประกอบหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกันจะได้น้ำแก้วเหลว เปิดฝาเตานำเอาครูซิเบิลออกจากเตาเผาและเทน้ำแก้วเหลวลงในแม่พิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิม ทิ้งไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากแม่พิมพ์แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงปิดเตาไฟฟ้ารอจนอุณหภูมิถึงอุณหภูมิห้องจึงนำแก้วออกจากเตา นำตัวอย่างแก้วที่ได้จากการหลอม มาตัดและขัดผิวแก้วให้ได้ตามความขนาด 1.0 × 0.5 × 0.3 เซนติเมตร แก้วที่ได้มาวัดค่าดัชนีหักเหของแสงด้วยเครื่อง Abbe Refractometer (ATAGO 3-T) และหาความหนาแน่นของแก้วด้วยหลักอาคิมีดีสตามสมการที่ 1

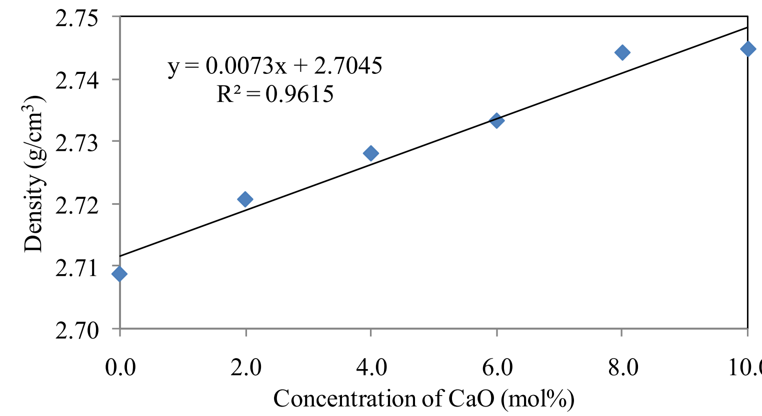
$$\rho = \frac{w_A}{w_A - w_B} \times \rho_{xylene} \quad (1)$$

โดยที่ w_A น้ำหนักของแก้วในอากาศและ w_B น้ำหนักของแก้วในไซลีนและความหนาแน่นของไซลีน (ρ_{xylene}) มีค่าเท่ากับ 0.8630 g/cm^3 วัดความแข็งของแก้วด้วยเครื่องวิคเกอร์ ไมโครฮาร์ดเนส (Enkay Enterprise) แล้วนำตัวอย่างแก้วไปวัดการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี – วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Variance Cary-50) ที่ช่วงความยาวคลื่น 190 ถึง 1100 นาโนเมตร

3. ผลการทดลอง

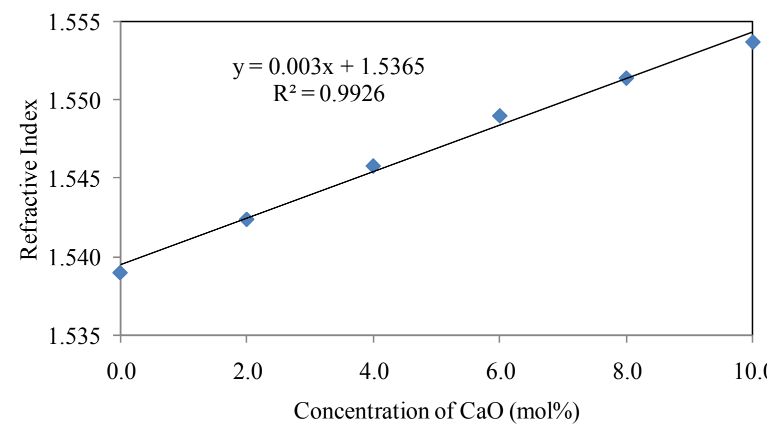


ภาพที่ 1 แก้วตัวอย่างที่เติม CaO ในงานวิจัยนี้



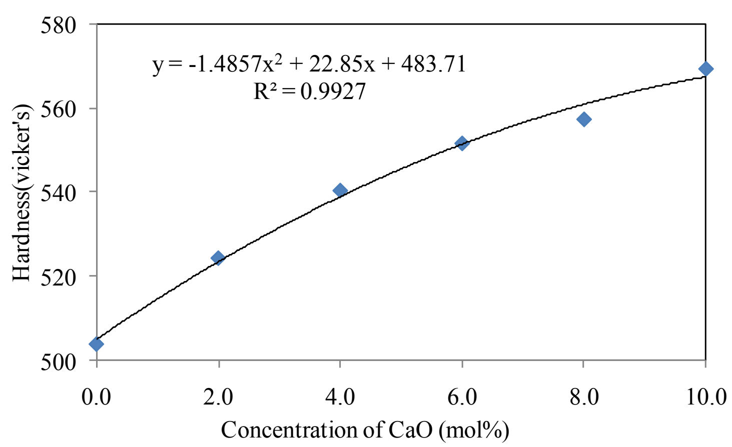
ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเทียบกับความเข้มข้นของ CaO

จากการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่างที่เติม CaO ปริมาณความเข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ CaO ที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.7089 ± 0.0000 ถึง 2.7448 ± 0.0000 g/cm^3 และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม CaO ดังแสดงในภาพที่ 2

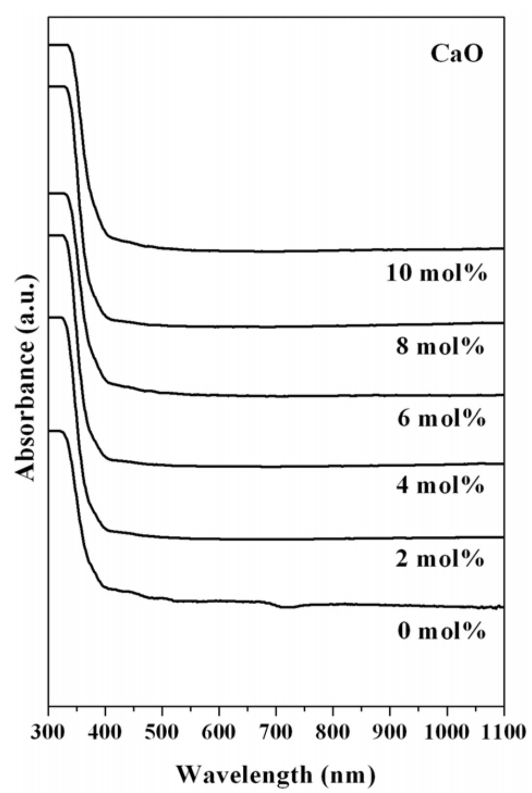


ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม CaO

จากการวิเคราะห์หาค่าดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่างที่เติม CaO ที่มีความเข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, และ 10.0 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ CaO ที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5379 ± 0.0000 ถึง 1.5507 ± 0.0000 และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม CaO ดังแสดงในภาพที่ 3 กราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9926



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของแก้วเทียบกับความเข้มข้นของ CaO



ภาพที่ 5 สเปคตรัมการดูดกลืนแสงของแก้วที่เติม CaO

จากการวิเคราะห์หาค่าความแข็งของแก้วตัวอย่างที่เติม CaO ปริมาณความเข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 ร้อยละโดยโมล พบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ CaO ที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 504.0 ± 15.3168 ถึง 569.2 ± 18.3677 และเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความเข้มข้นของแก้วที่เติม CaO ดังแสดงในภาพที่ 4 กราฟที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9927

จากภาพที่ 5 การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่างที่เติม CaO ที่มีความเข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, และ 10.0 ร้อยละโดยโมล ในช่วงความยาวคลื่น 300 – 1100 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนจะมีความเข้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ CaO ที่เพิ่มมากขึ้น และพีคการดูดกลืนแสงเลื่อนไปทางความยาวคลื่นยาว (Shift to longer Wavelength) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CaO และยังพบพีคขนาดเล็กบริเวณ 450 นาโนเมตร อันเนื่องมาจากปริมาณเหล็กในที่ปนเปื้อนในขี้เถ้า อย่างไรก็ตาม การดูดกลืนที่ตำแหน่งนี้ไม่มีผลต่อสีของแก้วเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า

4. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษาวิเคราะห์หา ค่าความหนาแน่น ค่าดัชนีหักเห ค่าความแข็ง และค่าการดูดกลืนแสงของแก้วที่เติม CaO 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, และ 10.0 ร้อยละโดยโมล สามารถสรุปได้ดังนี้

- แก้วมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ CaO ที่เติมลงไปในแก้ว โดยความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 2.7089 – 2.7448 g/cm^3
- แก้วมีค่าดัชนีหักเหแสงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ CaO ที่เติมลงไปในแก้ว โดยดัชนีหักเหของแก้วมีค่าอยู่ในช่วง 1.5379 – 1.5507
- ค่าความแข็งของแก้วพบว่าค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของ CaO ที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 504.0 - 569.2
- จากการทดสอบการดูดกลืนแสงของแก้วตัวอย่างพบว่าการดูดกลืนแสงเลื่อนไปทางความยาวคลื่นยาว เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CaO และยังพบพีคขนาดเล็กบริเวณ 450 นาโนเมตร อันเนื่องมาจากปริมาณเหล็กในที่ปนเปื้อนในขี้เถ้า อย่างไรก็ตาม การดูดกลืนที่ตำแหน่งนี้ไม่มีผลต่อสีของแก้วเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] http://lib.kku.ac.th/fulltext/Eng/2544/eng003/ch2.pdf

[2] Ruangtaweep, Y., Kaewkhao, J., Kedkeaw, C. and Limsuwan, P., 2011, Investigation of Biomass Fly Ash in Thailand for Recycle to Glass Production, Procedia Engineering Vol. 8,

[3] Ruangtaweep, Y., Kaewkhao, J., Kirdsiri, K., Kedkaew, C. and Limsuwan, P., 2011 Properties of CoO doped in Glasses Prepared from Rice Hush Fly Ash in Thailand, Materials Science and Engineering, Vol. 18, 112008.

[4] www.mtec.or.th/th/news/cool_stuff/cool4.html

[5] Kaewkhao, J., Comtamul, T., Laopaiboon, J., Laopaiboon, R., and Chewpraditkul, W.2007, *Effect of Copper (ll) Oxide to Glass Properties from Local Sand in Nakorn Pathom Province* , Proceedings of the 2nd Siam Physic Congress, The Rose Gaeden Riverside, Nakorn Pathom, Thailand, March 22 – 24, p. 23.

[6] สาธิต หอมหวล, *การศึกษาการผลิตแก้วจากทรายท้องถิ่นในภาคตะวันตก*, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 2549.

[7] เทพีวรรณ จิตรวัชระโกมล, *แก้วเจียระไนที่ปราศจากตะกั่วและแบเรียม*, วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 2552. หน้า 8-10.

การนำเสนอผลงานแบบบรรยาย

กลุ่มคอมพิวเตอร์
(COM)

ดร.สุพจน์ เฮงพระพรหม

ระบบติดตามตำแหน่งบนเครือข่ายไร้สาย
Positioning System on Wireless Lan

กายรัฐ เจริญราษฎร์[1] และ จักรกฤษ ไกรประสิทธิ์ถาวร[2]

[1,2]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
[1]kairat.j@ku.ac.th, [2]kaiprasit@live.com

บทคัดย่อ

ระบบติดตามตำแหน่งบนเครือข่ายไร้สายใช้ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย อาศัยพื้นฐานของการหาตำแหน่งโดยใช้การวัดและเก็บค่าความเข้มของสัญญาณ (RSSI) จากสถานีแม่ข่ายไร้สาย (Wireless Access Point: AP) ซึ่งทำหน้าที่เช่นเดียวกับดาวเทียมของระบบจีพีเอส โดยแบ่งการเก็บสัญญาณออกเป็นสองช่วง คือ ช่วงการเก็บสัญญาณต้นแบบและช่วงการเก็บสัญญาณ ณ ขณะใดขณะหนึ่ง สัญญาณทั้งสองช่วงนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกันด้วยขั้นตอนวิธีมาร์คอฟ (Markov Algorithm) เพื่อหาความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง และใช้การคำนวณระยะทางยูคลิเดียน (Euclidean Distance) ในการคำนวนระยะทางระหว่างจุดรับและจุดส่งสัญญาณ เพื่อทำให้การระบุตำแหน่งมีความแม่นยำมากขึ้น

ความถูกต้องและความแม่นยำในการระบุและการติดตามตำแหน่งได้ผลร้อยละ 76.02 และเมื่อกำหนดใช้ค่าความเข้มสัญญาณอยู่ในช่วง 0 ถึง -85 เดซิเบลเมตร สามารถเพิ่มความแม่นยำได้เป็นร้อยละ 87.24 จากการประยุกต์ใช้การคำนวณระยะทางยูคลิเดียนและการกำหนดช่วงของค่าความเข้มสัญญาณที่วัดได้พบว่า โปรแกรมสามารถติดตามตำแหน่งได้ และทำให้ประสิทธิภาพของการระบุและการติดตามตำแหน่งมีความแม่นยำขึ้น

คำสำคัญ: ระบบติดตามตำแหน่ง เครือข่ายไร้สาย

Abstract

The positioning system uses WLAN to position a device by applying RSSI which is received from wireless access point and it works as a satellite's function of GPS system signal. The signal collecting has been divided into two phases, collecting the prototype signal and the momentary signal. These two phases will be compared in order to find the location identity by Makov Algorithm. After that, Euclidean distance will be applied to calculate the distance between access point and receiver point for more precision in location positioning.

The percentage of accuracy of tracking from positioning is 76.02 percentages. And it can be increased upto 87.24 percentages when the signal strength is fixed in range of 0 to -85 dB•m. According to the application of Euclidean and fixing signal strength, we found that the positioning system can work more precisely and efficiently.

Keyword: Positioning system, Wireless LAN

1. บทนำ

ระบบจีพีเอส (Global Positioning System: GPS) ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในจุดประสงค์ทางการทหาร ในปัจจุบันพบว่ามีการนำข้อมูลการหาตำแหน่งของวัตถุมาใช้ประโยชน์ทางด้านธุรกิจ ธุรกิจที่นำระบบจีพีเอสมาใช้ที่เห็นอยู่ในปัจจุบันคือ ระบบติดตามรถยนต์สำหรับบุคคลทั่วไปที่มีโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็สามารถใช้ประโยชน์จากระบบจีพีเอสได้ เช่นระบบบริการสอบถามข้อมูลตำแหน่งสถานที่ที่อยู่ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับบุคคลนั้น ทว่าอุปกรณ์ที่รองรับระบบจีพีเอส มีส่วนทำให้ระบบนั้นมีข้อจำกัดในการระบุตำแหน่ง ซึ่งอุปกรณ์นั้นต้องสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อยสี่ดวงจึงจะสามารถระบุตำแหน่งของอุปกรณ์ได้อย่างแม่นยำ ด้วยเหตุนี้ระบบจีพีเอสจึงไม่เหมาะสมแก่การใช้งานภายในอาคาร

เนื่องจากปัจจุบันนับได้ว่าระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) มาตรฐานIEEE 802.11 นี้ใช้งานในด้านเทคโนโลยีสำหรับการเชื่อมต่อผ่านสื่อไร้สาย ซึ่งเป็นที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความสะดวกในการติดตั้งและใช้งานอีกทั้งในปัจจุบันราคาของอุปกรณ์ลดลงมาก เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาทดแทนการใช้เครือข่ายแบบมีสาย แต่ได้สร้างทางเลือกในการเชื่อมต่อเครือข่ายของผู้ใช้โดยไม่ต้องใช้สายและไม่จำเป็นต้องจำกัดพื้นที่บนโต๊ะทำงานเท่านั้น แต่สามารถใช้งานได้ภายในบริเวณขอบเขตของคลื่นสัญญาณ

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้จัดทำโครงงานจึงได้คิดพัฒนาระบบติดตามตำแหน่งบนเครือข่ายไร้สาย ระบบดังกล่าวไม่ต้องใช้อุปกรณ์หรือวงจรพิเศษเพิ่มเติมเพื่อช่วยในการหาตำแหน่งของเครื่องคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ที่เชื่อมต่อระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย โดยวิธีการหาตำแหน่งจะใช้เพียงการวัดระดับค่าความเข้มสัญญาณ (Received Signal Strength: RSS) จากสถานีแม่ข่ายหรือไร้สาย (Wireless Access Point: AP) อย่างน้อย 1 ตัว โดยใช้เทคนิคความเป็นเอกลักษณ์ของสัญญาณ (Location Pattern or Fingerprint) ของการเปรียบเทียบค่าความเข้มสัญญาณที่วัดได้ด้วยกระบวนการของมาร์คอฟ (Markov Algorithm) และใช้การคำนวณระยะทางยูคลิเดียน (Euclidian Distance) ของการหาระยะห่างของตำแหน่งที่อยู่จริงของผู้ใช้ (Mobile Station: MS) ในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายเท่านั้น

2. หลักการ/ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning System)

ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร [1] คือระบบที่ใช้งานภายในอาคารที่มีโครงสร้างหรือสิ่งก่อสร้างปิดกั้นการรับสัญญาณโดยตรงจากภายนอกอาคารทำให้ลักษณะของสัญญาณมีความซับซ้อนเนื่องจากเกิดการลดทอนของสัญญาณ (Signal Attenuation) ที่เกิดจากการที่สัญญาณต้องผ่านโครงสร้างหรือวัตถุที่มีอยู่ภายในอาคาร

2.2 ประเภทของระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร

ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามช่วงความถี่ของสัญญาณที่นำมาใช้ตรวจจับ คือ อินฟราเรด (Infrared) [2] ความถี่วิทยุ (Radio Frequency: RF) [3] และอัลตร้าซาวด์ [4] โดยมีรายละเอียดดังนี้

สัญญาณอินฟราเรด คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและแสงที่มีความถี่ในช่วง $3 \times 1{,}011$ ถึง $2 \times 1{,}014$ เฮิรตซ์ ซึ่งมีช่วงความถี่เช่นเดียวกับไมโครเวฟ ดังนั้นจึงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยสายตา จึงทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถมองเห็นหรือตรวจจับได้ โดยอาศัยคุณสัมบัติที่เหมือนกับแสงทั่วไปคือไม่สามารถเดินทางผ่านกำแพงหรือสิ่งกีดขวางได้ดังนั้นจึงค่อนข้างมีข้อจำกัดของระยะการใช้งานในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร แต่มีประโยชน์สำหรับการส่งสัญญาณแบบจุดต่อจุด (Point-to-point) และแบบหลายจุด (Multipoint) ภายในพื้นที่จำกัดการสื่อสารคลื่นอินฟราเรดจะใช้เครื่องส่ง/เครื่องรับ (Transceiver) ที่ทำการเข้ารหัสแสงอินฟราเรด เครื่องรับส่งจะต้องอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน หรือรับสัญญาณจากการสะท้อนของแสง เช่น การสะท้อนของแสงกับผนังห้อง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระบบนี้ต้องการอุปกรณ์ที่มากกว่าระบบอัลตร้าซาวด์และการรบกวนของแสงภายในอาคารจะมีผลต่อความถูกต้องของการตรวจจับสัญญาณ โดยทั่วไปแล้วอินฟราเรดจะมีระยะการใช้งานอยู่ที่ประมาณ 5 เมตร

สัญญาณความถี่วิทยุ คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ระหว่าง 3 – 30 กิกะเฮิรตซ์ มีคุณสมบัติกระจายไปได้เป็นระยะไกล ซึ่งมีหลักการ คือ เครื่องส่งวิทยุทำหน้าที่สร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงหรือคลื่นวิทยุ ผสมกับคลื่นเสียง (Audio

Frequency: AF) แล้วกระจายออกไป โดยใช้ลักษณะการแปลงข้อมูลเป็นคลื่นทำให้สามารถส่งไปได้ระยะทางที่ไกลสามารถผ่านสิ่งกีดขวางได้ดีรวมทั้งเป็นการส่งแบบทุกทิศทาง ดังนั้นระบบนี้จึงมีระยะการใช้งานที่ดีภายในสภาพแวดล้อมของอาคาร ซึ่งความเร็วในการแพร่สัญญาณประมาณ 3×100 เมตรต่อวินาที และเป็นระบบที่ใช้ความถี่สาธารณะ โดยระบบนี้มีระยะการใช้งานที่กว้างกว่าระบบที่ใช้อินฟราเรดและอัลตร้าซาวด์

สัญญาณอัลตร้าซาวด์ คือ คลื่นเสียงชนิดหนึ่งเป็นคลื่นความถี่มากกว่า 20,000 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ที่เกินกว่ามนุษย์จะรับฟังได้ ในปัจจุบันสัญญาณอัลตร้าซาวด์ได้ถูกนำมาพัฒนาเป็นเครื่องมือใช้ใน อุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งในด้านเทคโนโลยีสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งจะทำงานที่ย่านความถี่ต่ำ (40 กิโลเฮิรตซ์) โดยใช้เทคนิคการเดินทางของเสียงเพื่อหาระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ข้อดีของอัลตร้าซาวด์ คือ ง่ายและราคาไม่แพง ข้อเสียของอัลตร้าซาวด์ คือไม่สามารถเดินทางผ่านกำแพงได้แต่จะสะท้อนกับสิ่งกีดขวางภายในอาคารได้มาก โดยระบบนี้มีระยะการใช้งานประมาณ 3 เมตรถึง 10 เมตรโดยมีความคลาดจากการวัดไม่เกิน 1 เซนติเมตร ซึ่งอุณหภูมิการใช้งานมีผลต่อประสิทธิภาพของอัลตร้าซาวด์

2.3 เทคนิคที่ใช้ในระบบหาตำแหน่ง

เทคนิคการวัดที่นำมาใช้กับระบบหาตำแหน่งนั้นมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่เทคนิคพื้นฐานที่นำมาใช้ในการหาตำแหน่งในโครงงานนี้ประกอบด้วยการวัดระยะทาง และความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง

เทคนิคที่ใช้ในการวัดพิกัดที่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ Angle of Arrival (AOA) Time of Arrival (TOA) และความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง สองวิธีการแรกจะพบปัญหาบ่อยครั้ง เมื่อต้องการการคำนวณที่ซับซ้อนในช่วงความถี่ที่มีสัญญาณรบกวน (Noise) และสัญญาณที่มาจากหลายทิศทาง (Multipath) จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมและนิยมใช้ในการระบุตำแหน่งภายนอกอาคาร [5] เนื่องจากต้องการพื้นที่โล่งที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง (Line of Sight) ดังนั้นวิธีความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่งจึงถูกนิยมนำมาใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคารมากกว่าวิธีการ 2 แบบแรก เนื่องจากทำได้ง่ายเพราะไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์พิเศษเพิ่มเติมรวมทั้งสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่อยู่จริงของผู้ใช้ที่อยู่บริเวณรอบๆ สถานีฐาน (Base Station: BS) หรือสถานีแม่ข่ายไร้สายที่กระจายสัญญาณ สัญญาณที่ส่งออกมาทำให้เกิดมุมขึ้นหลายๆ มุมในการรับสัญญาณ ซึ่งใช้เป็นข้อมูลอินพุตในการหาระยะและพิกัด การหาระยะและพิกัดใช้หลักการคำนวณของการจับเวลาที่สัญญาณเดินทางจากเครื่องส่งสัญญาณไปยังเครื่องรับสัญญาณ

ความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง เป็นการหาตำแหน่งโดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบความเข้มของสัญญาณที่ได้รับในแต่ละตำแหน่ง [6] โดยจำเป็นต้องเก็บค่าความเข้มสัญญาณในแต่ละตำแหน่งไว้ในฐานข้อมูล เมื่อต้องการหาตำแหน่งที่อยู่จริงของผู้ใช้ระบบต้องทำการวัดค่าความเข้มสัญญาณของตำแหน่งที่อยู่จริงของผู้ใช้ในขณะนั้น เพื่อนำค่าความเข้มสัญญาณที่วัดได้ไปเปรียบเทียบความเป็นเอกลักษณ์ของแต่ละตำแหน่งที่ได้เก็บค่าความเข้มสัญญาณไว้ก่อนหน้านี้ในฐานข้อมูล แล้วทำการแสดงตำแหน่งที่เปรียบเทียบค่าที่ใกล้เคียงที่สุด ข้อดีของวิธีการนี้ คือ ไม่จำเป็นต้องใช้สถานีแม่ข่ายไร้สายถึง 4 ตัวในการหาตำแหน่งแต่ใช้เพียงอย่างน้อย 1 ตัวก็สามารถทำงานได้ วิธีการความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่งเหมาะสมกับบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่งที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นวิธีการนี้จึงนิยมนำมาใช้ในระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารมากกว่าระบบระบุตำแหน่งภายนอกอาคาร ข้อเสียของวิธีการนี้ คือ ต้องใช้เวลามากในการเก็บค่าความเข้มสัญญาณไว้ในฐานข้อมูล

2.4 ระยะทางยูคลิเดียน

การวัดระยะทางเป็นวิธีการคำนวณหาระยะทางระหว่างเครื่องส่งสัญญาณกับเครื่องรับสัญญาณในแนวเส้นตรงที่มาจากทฤษฎีบทพีทาโกรัส หรือเรียกการวัดระยะทางนี้ว่า “การคำนวณระยะทางยูคลิเดียน” ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณหารูปแบบที่ใกล้เคียงที่สุดของพิกัดตำแหน่งที่อยู่จริงของผู้ใช้ การคำนวณนี้ใช้หลักการหาระยะห่างระหว่างพิกัดตำแหน่งของเครื่องส่งสัญญาณกับพิกัดตำแหน่งที่อยู่จริงของผู้ใช้ ซึ่งค่าระยะห่างที่น้อยที่สุดถือว่ามีความใกล้เคียงกับค่าพิกัดตำแหน่งจริงมากที่สุด

ผู้จัดทำโครงงานได้นำวิธีการคำนวณระยะทางยูคลิเดียนมาใช้ในการคำนวณในระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร เนื่องจากเป็นวิธีการคำนวณพื้นฐานที่ไม่ซับซ้อนและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ดี ระยะทางยูคลิเดียนสามารถใช้ระบุตำแหน่งด้วยการคำนวณจากค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิงของค่าความเข้มสัญญาณที่วัดได้ในขณะนั้น เพื่อเปรียบเทียบและเลือกตำแหน่งที่มีความแตกต่างของสัญญาณน้อยที่สุด

สมการของการคำนวณระยะทางยูคลิเดียนหาได้จากการคำนวณ โดยที่ X1 และ Y1 เป็นพิกัดตำแหน่งที่อยู่จริงในขณะนั้น ส่วน X2 และ Y2 เป็นพิกัดตำแหน่งที่ระบบทำการคำนวณออกมา ดังสมการ

Euclidean Distance = $\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$

2.5 เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย

เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย [7] หมายถึง เทคโนโลยีที่ช่วยให้การติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องหรือกลุ่มของคอมพิวเตอร์ การเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายอาจทำการเชื่อมต่อเพิ่มเติมกับเครือข่ายงานบริเวณเฉพาะที่ (Local Area Network: LAN) หรืออาจเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายระหว่างกันโดยปราศจากการใช้สายสัญญาณในการเชื่อมต่อ แต่ใช้คลื่นวิทยุเป็นช่องทางการสื่อสารในการรับส่งข้อมูล การเชื่อมต่อลักษณะนี้ทำให้เกิดความคล่องตัวสูงขึ้นในการเชื่อมต่อเครือข่าย รวมทั้งสะดวกต่อการใช้งานของเครื่องอีกด้วย

มาตรฐาน IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) เป็นองค์กรที่กำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และสารสนเทศ โดยมีมาตรฐานเทคโนโลยีสำหรับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย IEEE 802.11 [8] เทคโนโลยีที่ใช้มาตรฐานนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ มีประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูล อีกทั้งง่ายต่อการติดตั้งและใช้งานทำให้ได้รับความนิยมและมีแนวโน้มว่าในอนาคต อุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11 ถูกติดตั้งจากโรงงาน (Built-in) มากขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตาม ความง่ายและสะดวกต่อการติดตั้งของอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11 นำมาซึ่งความไม่ปลอดภัยของเครือข่ายด้วยเช่นกัน อีกทั้งเทคโนโลยีนี้ยัง อยู่ในช่วงเริ่มต้นเท่านั้น ทำให้ยังมีช่องโหว่ด้านความปลอดภัยอีกมาก ดังนั้นผู้ที่เลือกใช้อุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.11 จึงควรมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้และตระหนักถึงช่องโหว่ต่างๆ รวมถึงการรักษาความปลอดภัยอย่างเหมาะสม

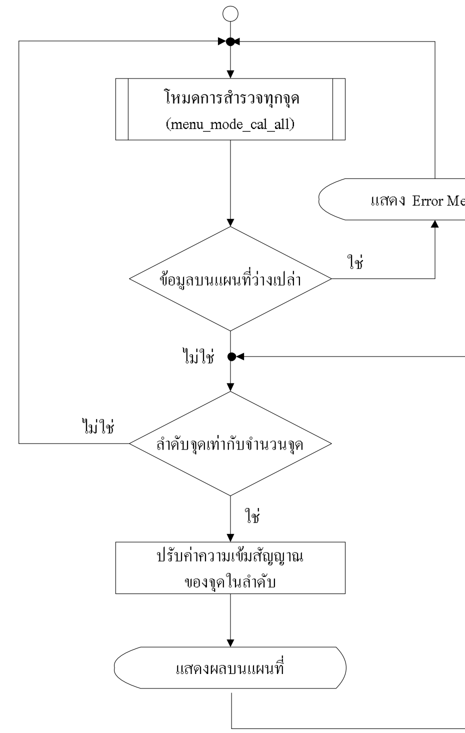
3. ขั้นตอนวิธีการ

"ระบบติดตามตำแหน่งบนเครือข่ายไร้สาย" นี้เป็นโครงงานที่นำโปรแกรม โอเพ่นซอร์ส (Open Source) มาพัฒนาต่อด้วยภาษา Java ซึ่งใช้ประโยชน์ของสัญญาณจาก สถานีแม่ข่ายไร้สาย บนระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายให้สามารถหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเชื่อมต่ออยู่กับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย โดยมีความเที่ยงตรง แม่นยำ หรือความถูกต้องในระดับที่เหมาะสม ส่วนวิธีการที่ผู้ออกแบบโปรแกรมนี้นำมาใช้คือการวัดค่าความเข้มของสัญญาณจากสถานีแม่ข่ายไร้สาย โดยใช้เทคนิคความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง ซึ่งมีการทำงานอยู่ 2 ช่วง คือ ช่วง Offline และช่วง Online ส่วนขั้นตอนวิธีที่มีการนำมาใช้วิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าความเข้มสัญญาณ คือ ขั้นตอนวิธีมาร์คอฟ (Markov Algorithm) และทำการเพิ่มส่วนของการคำนวณหาระยะทางความคลาดเคลื่อนของผู้ใช้งาน คือ การคำนวณระยะทาง ยูคลิเดียน (Euclidean Distance) ส่วนการใช้งานโปรแกรมนั้นจะมีเมนูให้เลือกคลิก โดยสามารถกำหนดจุดตำแหน่งและเส้นทางลงบนแผนที่ที่บริเวณต้องการหาตำแหน่ง โปรแกรมนี้แสดงผลในรูปของกราฟิก (Graphic) แสดงตำแหน่งที่อยู่บนแผนที่ที่กำหนดการใช้โปรแกรมนี้หาตำแหน่งจะต้องมีแผนที่ที่ทำการบันทึกค่าความเข้มสัญญาณหรือทำ Radio Map ไว้แล้ว และบริเวณที่ใช้โปรแกรมนี้จะต้องมีค่าความเข้มสัญญาณจากสถานีแม่ข่ายไร้สายอย่างน้อย 1 ตัว โดยกระบวนการทั้งหมดแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนดังนี้

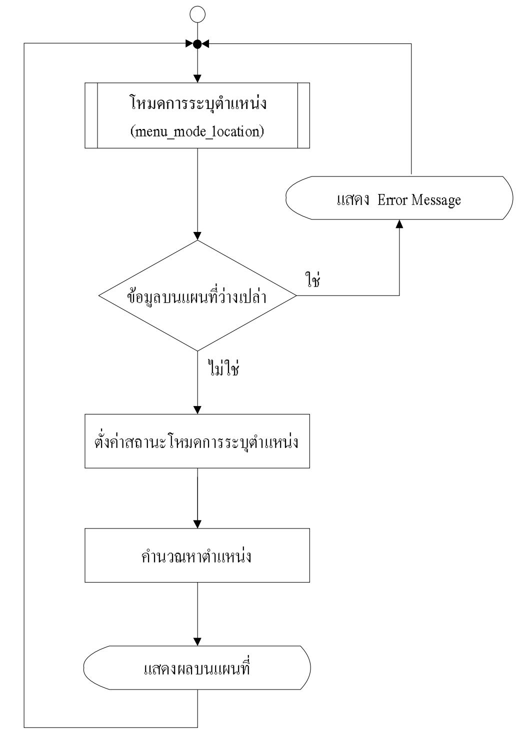
- Offline Phase หรือ Training Phase การทำงานช่วงนี้เป็นช่วงของการเก็บค่าความเข้มสัญญาณจากสถานีแม่ข่ายไร้สายที่อยู่ในบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่ง ซึ่งจะต้องทำการกำหนดตำแหน่ง (Grid Point) ที่ต้องการเก็บสัญญาณให้ครอบคลุมบริเวณที่ต้องการ โดยระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่กำหนดเรียกว่า Grid Spacing หรือ Grid Size จะกำหนดค่าเป็นเมตร ส่วนค่าความเข้มสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลเพื่อนำไปคำนวณค่าทางสถิติซึ่งเรียกว่าการทำ Radio Map ดังกระบวนการในภาพที่ 1 และค่าความเข้มสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งจะเรียกว่า Location Fingerprint

- Online Phase หรือ Localization Phase การทำงานช่วงนี้เป็นช่วงของการหาตำแหน่ง โดยจะทำการหาตำแหน่งที่อยู่จริงของผู้ใช้ด้วยการวัดค่าความเข้มสัญญาณ ณ ตำแหน่งที่ผู้ใช้อยู่ขณะนั้น แล้วนำค่าความเข้มสัญญาณที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้เก็บไว้ในฐานข้อมูลในช่วงแรกด้วยวิธีการของมาร์คอฟ จากนั้นเมื่อเปรียบเทียบแล้วจะแสดงตำแหน่งของผู้ใช้ออกมา ดังกระบวนการในภาพที่ 2 โดยส่วนมากจะแสดงออกมาเป็นตัวเลขพิกัดและภาพกราฟิก ซึ่งประสิทธิภาพของการหาตำแหน่งที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับการบันทึกค่าความเข้มสัญญาณที่ทำไว้ในช่วงแรกและขั้นตอนวิธีที่นำมาใช้

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012



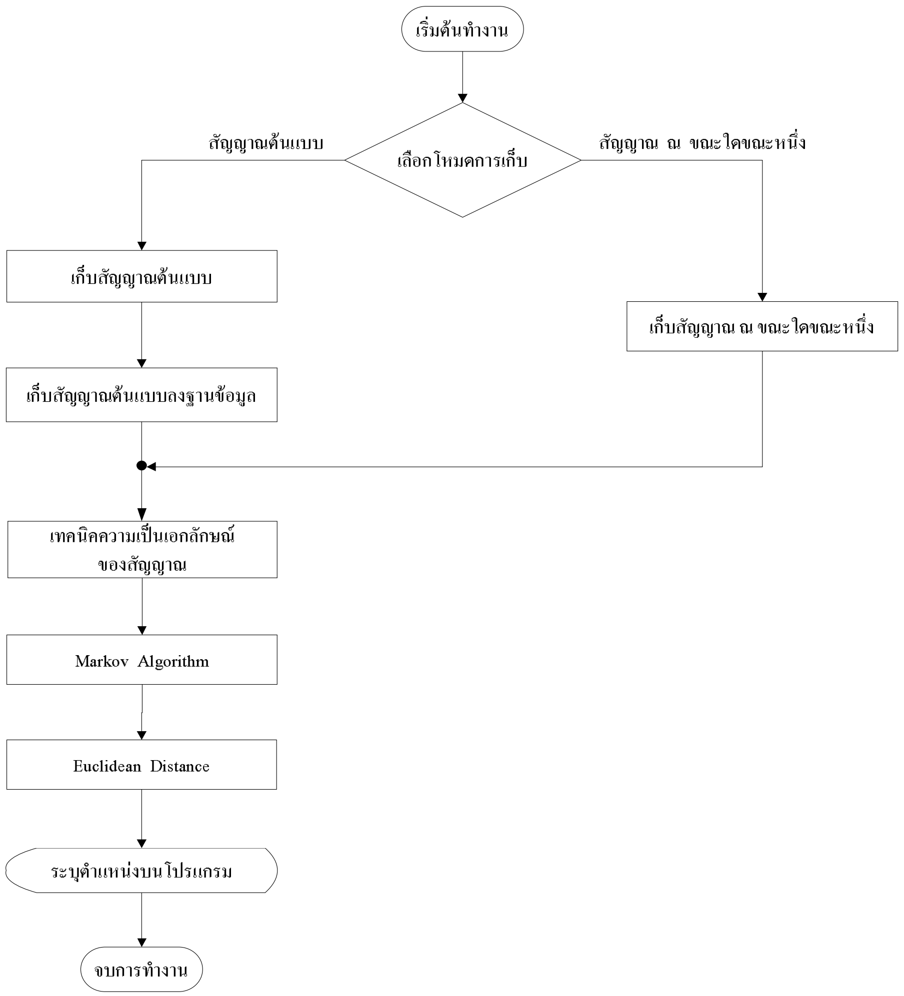
ภาพที่ 1 แผงผังของโหมดการสำรวจ



ภาพที่ 2 แผงผังการของโหมดการระบุตำแหน่ง

3.1 เทคนิคการคำนวณหาตำแหน่ง

เทคนิคที่นำมาใช้ในการหาตำแหน่งนั้นจะใช้การวัดค่าความเข้มสัญญาณ โดยใช้เทคนิคความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง ดังกระบวนการในภาพที่ 3 ซึ่งการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงที่ 1 คือช่วง Offline เป็นการบันทึกค่าความเข้มสัญญาณ (Training) โดยโปรแกรมนี้จะทำการบันทึกค่าความเข้มสัญญาณจากสถานีแม่ข่ายไร้สาย ของแต่ละตำแหน่งไว้ในฐานข้อมูล เพื่อเตรียมไว้ใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบค่ากับในช่วงการหาตำแหน่ง ช่วงที่ 2 คือช่วง Online หรือช่วงการระบุตำแหน่ง (Localization) จะเป็นการหาตำแหน่งโดยทำการวัดความแรงสัญญาณ ณ ตำแหน่งที่อยู่จริงแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งใช้ขั้นตอนวิธีมาร์คอฟในการเปรียบเทียบข้อมูล อีกทั้งโปรแกรมนี้ได้เพิ่มการคำนวณระยะทางยูคลิเดียนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพของความแม่นยำในการระบุตำแหน่งมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 3 แผนภาพการของการระบุตำแหน่งในโหมดการระบุตำแหน่ง

4. ผลและวิจารณ์

ทำการทดลองหาตำแหน่งภายในบริเวณของอาคารที่ใช้ในการทดลอง อาคารที่ใช้ในการทดลองนี้มีทางเดินปกติ มีห้องสำหรับการเรียนการสอนและห้องทำงานตลอดเส้นทางเดิน เพื่อทดลองหาตำแหน่งจากความเป็นเอกลักษณ์ที่วัดได้ด้วยขั้นตอนวิธีมาร์คอฟและการคำนวณระยะทางยูคลิเดียน โดยใช้รูปแบบการทดลองแตกต่างกันเพื่อทดสอบเปรียบเทียบความแม่นยำของการระบุตำแหน่ง

4.1 วิธีการวัดประสิทธิภาพ

ในการทดลองนี้จะใช้บริเวณภายในอาคารของอาคาร 8 ชั้น 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งบริเวณที่ใช้ในการทดลองนั้นสามารถรับค่าความเข้มสัญญาณจากสถานีแม่ข่ายไร้สายได้ ในการทดลองนี้ได้กำหนดเส้นทาง 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ทำการทดลองเดินตามเส้นทางตามลำดับของจุดสำรวจความเข้มสัญญาณจากสถานีแม่ข่ายไร้สาย ส่วนแบบที่ 2 ทำการทดลองเดินตามเส้นทางตามโดยไม่เรียงลำดับของจุดสำรวจความเข้มสัญญาณ การทดลองทั้งสองแบบนั้นจะใช้แผนที่ที่เก็บความเข้มของสัญญาณจากสถานีแม่ข่ายไร้สายเดียวกัน โดยทำซ้ำการทดลองแต่ละเส้นทางจำนวน 5 ครั้ง เพื่อยืนยันประสิทธิภาพการหาตำแหน่งของโปรแกรมระบบติดตามบนเครือข่ายไร้สาย

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

4.2 แผนที่ที่ใช้การในการทดลอง

แผนที่ที่นำไปใช้ในการทดลองนี้ จะทำการสำรวจความเข้มสัญญาณจากสถานีแม่ข่ายไร้สายจำนวน 28 จุด แต่ละจุดมีระยะห่างกัน 3 เมตร (ดังภาพที่ 14) ในการสำรวจความเข้มสัญญาณจากสถานีแม่ข่ายไร้สายใช้ระยะเวลาแต่ละจุด 10 – 20 วินาที

ภาพที่ 4 แผนที่ที่เก็บความเข้มสัญญาณจากสถานีแม่ข่ายไร้สาย ณ อาคาร 8 ชั้น 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

4.3 ผลการทดลอง

การทดลองช่วงที่ 1 เป็นการทดลองโดยไม่การกำหนดค่าความเข้มสัญญาณ จากการทดลองในแบบที่ 1 คือ การทดลองตามเส้นทางตามลำดับของจุดสำรวจความเข้มสัญญาณ ได้ทำการทดลอง 28 จุด จำนวน 5 ครั้ง รวมเป็น 140 จุด ผลที่ได้คือ มีความถูกต้องแม่นยำ 114 จุด หรือคิดเป็นร้อยละ 81.4 และเกิดความผิดพลาด 26 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 18.57% ส่วนการทดลองในแบบที่ 2 คือ การทดลองเดินตามเส้นทางโดยไม่เรียงลำดับของจุดสำรวจความเข้มสัญญาณ ได้ทำการทดลอง 30 จุด จำนวน 5 ครั้ง รวมเป็น 150 จุด ผลที่ได้คือ มีความถูกต้องแม่นยำ 95 จุด คิดเป็นร้อยละ 63.33 และเกิดความผิดพลาด 55 จุด คิดเป็นร้อยละ 36.66

การทดลองช่วงที่ 2 เป็นการทดลองโดยมีการกำหนดค่าความเข้มสัญญาณ ให้การเก็บค่าสัญญาณที่วัดได้นั้นอยู่ในช่วง 0 ถึง -85 ผลการทดลองในแบบที่ 1 โดยมีกำหนดค่าสัญญาณ ผลที่ได้คือ มีความถูกต้องแม่นยำ 126 จุด คิดเป็นร้อยละ 90 และเกิดความผิดพลาด 14 จุด คิดเป็นร้อยละ 10 ส่วนการทดลองในแบบที่ 2 โดยมีการกำหนดค่าความเข้มสัญญาณ ผลที่ได้คือ มีความถูกต้องแม่นยำ 127 จุด คิดเป็นร้อยละ 84.66 และเกิดความผิดพลาด 23 จุด คิดเป็นร้อยละ 15.33

จากการทดลองในแบบเดินตามเส้นทางตามลำดับของจุดสำรวจความเข้มสัญญาณโดยการกำหนดค่าความเข้มสัญญาณนั้นให้ความถูกต้องและแม่นยำกว่าแบบไม่กำหนดค่าความเข้มสัญญาณร้อยละ 8.6

4.4 วิจารณ์

วิธีการคำนวณระยะทางยูคลิเดียนทำให้โปรแกรมสามารถติดตามตำแหน่งของผู้ใช้ได้ ซึ่งผลของการระบุตำแหน่งและการติดตามตำแหน่งของการทดลองแบบเดินตามเส้นทางตามลำดับของจุดสำรวจความเข้มสัญญาณมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบการทดลองแบบเดินตามเส้นทางโดยไม่เรียงลำดับของจุดสำรวจความเข้มสัญญาณ อาจเป็นเพราะว่าความถูกต้องและความแม่นยำของโปรแกรมเกิดจากหลายปัจจัย ซึ่งอาจเกิดจากการวิธีการคำนวณและการวิเคราะห์ค่าความเข้มสัญญาณจากโปรแกรม หรือวิธีการใช้โปรแกรมของผู้ใช้ก็เป็นได้ แต่ผู้จัดทำได้เล็งเห็นความสำคัญของค่าความเข้มสัญญาณ ถ้าแต่ละตำแหน่งที่เก็บค่าความเข้มสัญญาณนั้นมีค่าความเข้มสัญญาณที่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบได้ ซึ่งมีค่าความเข้มสัญญาณประมาณ -85 เดซิเบลเมตร ขึ้นไป ดังนั้นผู้จัดทำได้มีการทำการทดลองในเส้นทางแบบเดิม แต่การทดลองของการเก็บค่าความเข้มสัญญาณจะทำการกำหนดการเก็บค่าความเข้มสัญญาณอยู่ในช่วง 0 ถึง -85 เดซิเบลเมตร เมื่อนำผลของการทดลองทั้งแบบไม่กำหนดค่าความเข้มสัญญาณและแบบที่กำหนดค่าความเข้มสัญญาณมาเปรียบเทียบตามประเภทจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า การทดลองแบบที่กำหนดค่าความเข้มสัญญาณนั้นมีประสิทธิภาพของการระบุตำแหน่งและการติดตามตำแหน่งที่ดีกว่า

5. สรุป

จากการศึกษาของผู้จัดทำ วิธีการที่ใช้ในระบบการหาตำแหน่งภายในอาคารบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายนั้นใช้การวัดค่าความเข้มของสัญญาณจากสถานีแม่ข่ายไร้สาย ซึ่งวิธีนี้เรียกว่าความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง เพราะวิธีการนี้ไม่เป็นต้องเพิ่มอุปกรณ์พิเศษใดๆ เข้าไปในระบบและเป็นการนำเอาประโยชน์ของเครือข่ายไร้สายที่มีอยู่แล้วมาใช้งานให้เกิดประโยชน์ โครงงานนี้ได้ทำการทดลองวัดค่าความเข้มสัญญาณในบริเวณที่เป็นทางเดินปกติและมีห้องสำหรับการเรียนการสอนและห้องทำงานตลอดเส้นทางเพื่อนำค่าความเข้มสัญญาณที่วัดได้มาพิจารณาความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง และวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความเป็นเอกลักษณ์ของสัญญาณที่วัดได้ ได้แก่ จำนวนของสถานีแม่ข่ายไร้สาย จำนวนของสัญญาณที่วัดได้ ระยะห่างของตำแหน่งที่วัด ขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง และสภาพแวดล้อมของบริเวณที่ใช้ทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อความเป็นเอกลักษณ์ของสัญญาณที่วัดได้โดยปัจจัยหรือตัวแปรเหล่านี้บางส่วนก็สามารถควบคุมได้และบางส่วนก็ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบติดตามตำแหน่งบนเครือข่ายไร้สาย

จากโปรแกรมโอเพ่นซอร์สที่ใช้ ผู้จัดทำโครงงานได้มีการนำการคำนวณระยะทางยูคลิเดียนมาช่วยในการระบุตำแหน่ง จากการทดลองแบบไม่กำหนดค่าความเข้มสัญญาณสามารถระบุตำแหน่งและติดตามได้ถึงร้อยละ 72.06 ส่วนการทดลองแบบกำหนดค่าความเข้มสัญญาณนั้นสามารถระบุตำแหน่งและการติดตามตำแหน่งได้ถึงร้อยละ 87.24 ซึ่งการทดลองในแบบกำหนดค่าความเข้มสัญญาณมีความถูกต้องและแม่นยำมากกว่าแบบไม่กำหนดค่าความเข้มสัญญาณร้อยละ 15.18 และจุดที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งจริงมีความผิดพลาดโดยประมาณไม่เกิน 6 เมตร และจากการใช้การคำนวณระยะทางยูคลิเดียนทำให้ระบบติดตามบนเครือข่ายไร้สายสามารถแสดงการติดตามได้อย่างต่อเนื่องทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงทิศทางในการเคลื่อนที่ การเปลี่ยนแปลงในการเคลื่อนที่บนแผนที่ของโปรแกรมอาจมีความล่าช้าเล็กน้อยประมาณ 3 วินาที ถึง 5 วินาที ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลความเข้มสัญญาณที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล และการวิเคราะห์เส้นทางการติดตามตำแหน่งพบว่าการติดตามตำแหน่งที่ได้จะไม่เหมือนกับการเคลื่อนที่จริง ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดได้จากหลายสาเหตุ เช่น ความถูกต้องของการรับสัญญาณในขณะนั้นส่งผลให้การคำนวณเกิดความผิดพลาด เป็นผลให้ขั้นตอนวิธีวิธีมาร์คอฟเลือกตำแหน่งไม่ถูกต้อง เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กมล แก้วมรังสิ. 2548. Design of indoor positioning systems based on location fingerprinting Technique.Ph.D.Thesis. Faculty of Information Science.Pittsburgh University.

[2] R. Want, A. Hopper, V. Falcaoand J. Gibbons.“The active badge location system” ACM Transactions on Informaion Systems.Vol. 40. (1992): 91-102.

[3] P. Bahl, V. N. Padmanabhan.“RADAR : AnIn-Building RF-Based User Location and Tracking System.”IEEE INFOCOM.Vol. 2. (2000): 775-784.

[4] N. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan. “The Cricket Location-Support System”Proc. 6th ACM MOBICOM Conf.Vol. 1. (2000) : 32-43.

[5] T. S. Rappaport, J. H. Reed, and B. D. Woerner. “Position location using wireless communications on highways of the future.”IEEE Commun. Mag.Vol. 34. (1996): 33-41.

[6] กมล แก้วมรังสิ. 2546. "Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingeprinting"Proceeding of the First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services,2004 IEEE 802.11 standard.

[7] สุรพัฒน์ พระศรีรัมย์. 2552. Wireless LAN or WI – Fi. แหล่งข้อมูล : http://www.kmitl.ac.th/~s9011090/stories/tech/wireless/wireless1.html. 21 กรกฎาคม 2553.

[8] J. Hightower, and G. Borriello. “Location Systems for Ubiquitous Computing.” IEEE Computer.Vol. 34. (2001): 57-66.

การพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกแบบ DoS บนเครือข่ายแลน

Intrusion Detection System for DoS on Lan

กายรัฐ เจริญราษฎร์[1] และ จารุ สถิตานุชิต[2]

[1,2]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
[1]kairat.j@ku.ac.th, [2]machimoron@gmail.com

บทคัดย่อ

ระบบตรวจจับผู้บุกรุก คือ โปรแกรมหรือฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อที่ไม่พึงประสงค์ หรือเข้ามาทำอันตรายในระบบเครือข่าย ซึ่งมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถตรวจสอบกลุ่มข้อมูลที่มีการเข้ารหัสได้ ทั้งนี้ในการตรวจจับนั้นมีความซับซ้อนอยู่มาก เนื่องจากการบุกรุกนั้นแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท จึงทำให้สามารถตรวจจับการบุกรุกได้มากมาย โดยในโครงงานนี้จะสามารถตรวจจับได้เพียงแค่การบุกรุกแบบ DoS บางประเภทเท่านั้น เนื่องจากการบุกรุกแบบ DoS เป็นการบุกรุกที่สามารถตรวจจับได้บ่อยที่สุด และมีความแพร่หลายมาก และเนื่องจากโปรแกรมที่นำมาใช้เป็นระบบตรวจจับการโจมตี นั้นมีการใช้งานที่ยาก จึงทำให้ มีการออกแบบระบบจัดการผ่านเว็บ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน และมีการเตือนที่ทันท่วงทีหากมีการบุกรุก อีกทั้งยังมีการเก็บข้อมูลการบุกรุก เพื่อนำข้อมูลการบุกรุกไปวิเคราะห์หาการบุกรุกที่เกิดขึ้นบ่อยกับระบบเครือข่าย เพื่อที่จะหาวิธีปรับแต่งให้ระบบมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ระบบตรวจจับผู้บุกรุก, DoS

Abstract

Intrusion Detection System (IDS) is the program or hardware which is designed for checking undesirable connection or dangerous data that comes into the network. But a limitation is it cannot check the encrypted packets. Actually, the detection is very complicated because of a lot of attack types. In this research, our system can detect out one type of attack that is DoS. Because DoS attack is easy to be found out and very popula in hacker’s world. Since the open source IDS is very difficult to use, web Interface design is used for easier interface and there is an immediate warning system when the network is under attack. Moreover, the system can keep a detail of attack to analyze what is always happened and admin can improve or upgrade the system with strong security.

Keyword: IDS, DoS

1. บทนำ

ปัจจุบันเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว มีการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวนมากเข้าด้วยกัน ปริมาณผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องมีความเพิ่มความสะดวกสบายและเพิ่มช่องทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างกันและกัน อย่างไรก็ตามความสะดวกสบายและช่องทางในการสื่อสารที่เพิ่มมากขึ้นเท่าใด ก็ส่งผลให้ผู้บุกรุกก็มีช่องทางในการเข้าถึงระบบได้มากขึ้นเท่านั้น ความปลอดภัยคอมพิวเตอร์เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและตรวจสอบการเข้าใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์โดยไม่ได้รับอนุญาต ขั้นตอนการป้องกันจะช่วยให้ผู้ที่ใช้งานสกัดกั้นไม่ให้เครื่องคอมพิวเตอร์ถูกเข้าใช้งานโดยผู้ที่ไม่ได้รับสิทธิ์ ส่วนการตรวจสอบจะทำให้ทราบได้ว่ามีใครกำลังพยายามที่จะบุกรุกเข้ามาในระบบหรือไม่ การบุกรุกสำเร็จหรือไม่ และผู้บุกรุกทำอะไรกับระบบบ้าง ในการรักษาความปลอดภัยให้กับระบบเครือข่ายที่อาจจะถูกบุกรุกในรูปแบบต่างๆ ทั้งภายนอกและภายในระบบเครือข่ายจากกลุ่มคนบางกลุ่มที่ต้องการจะดูข้อมูล ขโมยข้อมูล หรือแม้แต่จะทำลายข้อมูล ทำให้องค์กร หน่วยงานหรือบุคคลทั่วไปต้องให้ความสำคัญกับความปลอดภัยของข้อมูล จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ต้องมีการออกแบบระบบเครือข่ายโดยการติดตั้งระบบการตรวจจับการบุกรุกเพื่อที่จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาความปลอดภัยให้กับระบบเครือข่ายมากยิ่งขึ้น

ระบบตรวจจับการบุกรุกระบบหนึ่งที่เป็นที่นิยมมาก และเป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส คือซอฟต์แวร์ SNORT ซึ่งเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง แต่มีข้อเสียคือการปรับแต่งระบบ และการใช้งานยาก [1] เนื่องจากมีส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้ที่ใช้งานยาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบ SNORT นี้ให้สามารถจัดการผ่านเว็บในรูปแบบกราฟิก เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน และมีการเตือนที่ทันท่วงทีหากมีการบุกรุก อีกทั้งยังมีการเก็บข้อมูลการบุกรุก เพื่อนำข้อมูลการบุกรุกไปวิเคราะห์หาการบุกรุกที่เกิดขึ้นบ่อยกับระบบอีกด้วย

2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

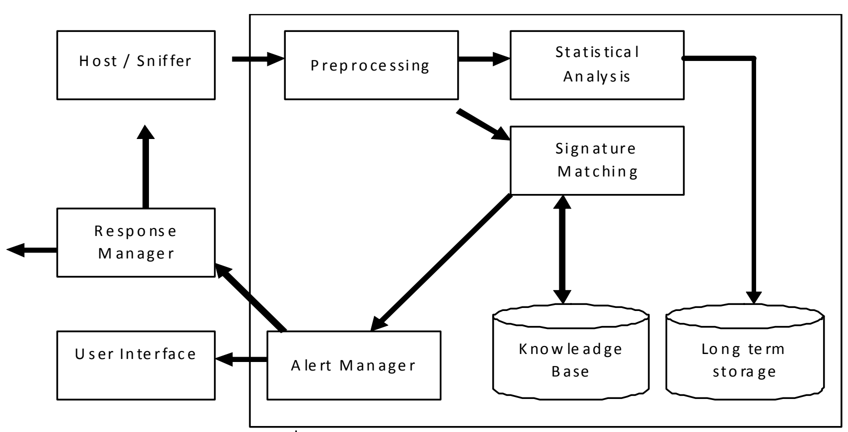
2.1 ระบบตรวจจับผู้บุกรุก (IDS) [2]

IDS คือ ซอฟต์แวร์หรือฮาร์ดแวร์ ที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อที่ไม่พึงประสงค์ หรือเข้ามาทำอันตรายในระบบเครือข่ายโดยผ่านข่ายงานบริเวณเฉพาะที่ (LAN) หรืออินเทอร์เน็ต (Internet) ข้อจำกัดของ IDS คือไม่สามารถตรวจสอบกลุ่มข้อมูล (Packet) ที่มีการเข้ารหัสเอาไว้ได้

IDS แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

- การตรวจจับการโจมตี (Attack Detection) คือการตรวจจับการบุกรุกก่อนที่จะเข้าถึงเครือข่าย
- การตรวจจับผู้บุกรุก (Intrusion Detection) คือการตรวจจับการบุกรุกเมื่อผู้บุกรุกเข้ามาภายในเครือข่ายแล้ว

ส่วนประกอบ IDS แบ่งตามส่วนการทำงาน มีดังนี้ คือ ส่วนดักจับข้อมูล (Host system/Network sniffer) ส่วนการจัดการก่อนประมวลผล (Pre-processing) ส่วนส่วนวิเคราะห์ผลทางสถิติ (Statistical analysis) ส่วน วิเคราะห์จากพฤติกรรมที่มีแบบแผน (Signature matching) ส่วนเก็บข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของการบุกรุก (Knowledge Base) ส่วนการเตือน (Alert Manager) ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) และ ส่วนตอบสนองการทำงาน (Response Manager) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของระบบตรวจจับผู้บุกรุก

รูปแบบการทำงานของระบบตรวจจับผู้บุกรุก แบ่งออกเป็น 5 ประเภทตามลักษณะการตรวจจับ ดังนี้

2.1.1 การตรวจหาสิ่งผิดปกติ โดยการวิเคราะห์ระบบหรือเครือข่าย ให้ได้คำตอบก่อนว่าอะไรคือการทำงานปกติ (Anomaly Detection) :

2.1.2 ตรวจหาองค์ประกอบของการบุกรุกแล้วพยายามตรวจจับจุดนั้น (Misuse Detection)

2.1.3 ดูจากข้อกำหนด (Burglar Alarm)

2.1.4 การทำเป็นตัวล่อ (Honey pots)

2.1.5 การนำเอารูปแบบหลายๆ อย่างมาผสมกัน (Hybrid IDS)

2.2 รูปแบบการโจมตี

การโจมตีโจมตีหรือการบุกรุกเครือข่าย หมายถึง การที่ผู้บุกรุกหรือผู้ไม่ประสงค์ดีพยายามที่จะเข้าสู่ระบบ เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงหรือทำลายข้อมูล ระบบหรือบิดเบือนข้อมูล เพื่อลักลอบเข้าระบบโดยไม่ได้รับอนุญาต รูปแบบการโจมตีสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทได้ดังนี้

2.2.1 ดักจับข้อมูล (Packet Sniffers)

ดักจับข้อมูล คือ การที่ผู้บุกรุกใช้โปรแกรมที่มีความสามารถในการดักจับกลุ่มข้อมูล (Packet) ของเครือข่ายที่ไม่มีการเข้ารหัส ซึ่งอาจนำไปสู่การโจมตีเครือข่ายในรูปแบบอื่นๆ เช่น ดักจับกลุ่มข้อมูลที่มีชื่อผู้ใช้ (user) และรหัสผ่าน (password) ในการโจมตีรูปแบบนี้ จะแบ่งเป็นสองประเภทด้วยกัน คือ passive attack กับ active attack [3]

2.2.2 การปลอมแปลงไอพี (IP Spoofing)

คือ การที่ผู้บุกรุกปลอมแปลงเลขที่อยู่ไอพี ให้เป็นรูปหมายซึ่งได้รับอนุญาตให้เข้าใช้งานเครือข่ายนั้นๆ เพื่อบุกรุกเข้าไปขโมย หรือทำลายข้อมูล หรือกระทำการอื่นๆที่เป็นการโจมตีเครือข่าย โดยอาศัยช่องโหว่ในการเชื่อมต่อที่มีการตรวจสอบสิทธิเพียงครั้งเดียว การได้มาซึ่งเลขที่ไอพี ที่ได้รับอนุญาตอาจได้มาจากการ Sniffer ดูกลุ่มข้อมูลจากหมายเลขที่ไอพีต่างๆ ที่วิ่งผ่านเพื่อสังเกตหาหมายเลข IP Address ที่คาดว่าจะเป็นไปได้หรือใช้วิธีการอื่นๆ ที่ได้มาซึ่งเลขที่ไอพี [3]

2.2.3 การโจมตีโดยใช้รหัสผ่าน (Password Attacks)

สามารถทำได้หลายวิธี เช่น Packet Sniffer Trojan horse และ brute-force เป็นต้น โดยปกติการโจมตีจะใช้วิธีการเดารหัสผ่านและพยายามลงบันทึกเข้า (brute-force) ซึ่งทำซ้ำๆ โดยใช้โปรแกรม เมื่อทำการลงบันทึกเข้าได้สำเร็จก็จะพยายามทำการเพิ่มสิทธิให้เป็นผู้ดูแลระบบและสร้างช่องทางในการเข้าออกทิ้ง [4]

2.2.4 การโจมตีโดยอาศัยช่องโหว่ของซอฟต์แวร์ (Application-Layer Attacks)

เป็นการโจมตีโดยอาศัยช่องโหว่ของซอฟต์แวร์ที่ทำงานอยู่บนแม่ข่าย (Host) เช่น sendmail, PostScript, fingerd หรือ FTP เช่น โปรแกรม Trojan horse จะเป็นโปรแกรมที่แฝงตัวมากับโปรแกรมอื่น ซึ่งเมื่อเรียกโปรแกรมทำงาน โปรแกรม Trojan จะทำการแฝงตัวอยู่ในระบบและทำงานตามที่ผู้เขียนโปรแกรมกำหนด เช่นการดักจับการพิมพ์ชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน หรือส่งข้อมูลผู้ใช้กลับไปให้ผู้เขียนโปรแกรม [4]

2.2.5 Denial of Service Attack (DoS)

DoS เป็นรูปแบบการโจมตีเพื่อรบกวนการให้บริการของเครื่องเป้าหมายให้หยุดทำงาน หรือไม่สามารถให้บริการได้ โดยอาศัยข้อบกพร่องของโปรโตคอลประกอบกับข้อบกพร่องของระบบปฏิบัติการ ซึ่งการโจมตีในรูปแบบของ DoS มีอยู่หลายลักษณะและส่งผลกระทบที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้ [4]

- การโจมตีแบบ SYN Flood
- การโจมตีแบบ Ping of Death หรือ ICMP Flood
- การโจมตีแบบ UDP Flood
- การโจมตีแบบ Teardrop
- การโจมตีแบบ Land Attack
- การโจมตีแบบ Smurf Flooding Attacks
- การโจมตีแบบ Fraggle
- การโจมตีแบบ DDoS

จากการโจมตีที่กล่าวมาข้างต้นสามารถเขียนเปรียบเทียบเป็นตารางได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบการโจมตีแบบ DoS รูปแบบต่าง ๆ

รูปแบบการโจมตี DoS	โปรโตคอลที่ใช้	ผลการโจมตี
SYN Flood	TCP	Bandwidth เต็ม / ระบบล่ม
Ping of Death	ICMP	Bandwidth เต็ม / ระบบล่ม
UDP Flood	UDP	Bandwidth เต็ม / ระบบล่ม
Teardrop	TCP	ระบบล่ม
Land Attack	TCP	ระบบทำงานช้าลง / ระบบล่ม
Smurf Flooding Attacks	ICMP	Bandwidth เต็ม / ระบบล่ม
Fraggle	UDP,TCP	Bandwidth เต็ม / ระบบล่ม
DDOS	TCP, UDP,ICMP	Bandwidth เต็ม / ระบบล่ม

2.3 โปรแกรม Snort [2]

โปรแกรม Snort เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจจับการบุกรุกทางเครือข่าย (network intrusion detection) การทำงานของ Snort จะใช้ไลบรารี (library) พื้นฐานชื่อ libpcab ซึ่งใช้กันโดยทั่วไปในบรรดา network sniffer และ network analyzer ทั้งหลาย โปรแกรม Snort สามารถทำ protocol analysis, content searching/matching, ตรวจจับการบุกรุกและ probe เช่น buffer overflow, stealth port scan, CGI attack, SMB probe, OS Fingerprint และอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติใน การทำ real-time alerting อีกด้วย นอกเหนือจากการเก็บล็อกไปที่ syslog หรือเก็บแยกแฟ้มข้อมูลต่างหาก และยังสามารถ แจ้งเตือน ผ่าน winpopup ผ่านทาง Samba's client ได้อีกด้วย Snort เป็นโปรแกรมแบบ Open Source ที่ทำหน้าที่ตรวจจับ ข้อมูลในระบบเครือข่ายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้งานเครือข่าย โดยสามารถทำงานได้ 4 Mode คือ

2.3.1 Sniffer Mode – ใช้ในการดักจับกลุ่มข้อมูลบนเครือข่ายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ใน ระบบ และแสดง TCP/IP Packet header ผ่านทางหน้าจอหรือจัดเก็บลง logfile

2.3.2 Packet Locker Mode – หลักการทำงานคล้ายคลึงกับ Sniffer Mode แต่จะทำการเก็บข้อมูลไว้ใน Database เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในภายหลัง

2.3.3 NIDS Mode (Network Intrusion Detection System Mode) – มีหลักการทำงานคือ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ ไหลผ่านระบบ Network แบบ Real Time โดยเทียบกับเงื่อนไข (Rules) เพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้นว่าเป็นอันตรายต่อ ระบบหรือไม่ หากได้ค่าที่ตรงกับในเงื่อนไขก็จะทำการเตือนหรือเกิดการลงบันทึกขึ้น เราก็จะรู้ว่ามีการคุกคาม โจมตียังไงเกิดขึ้น ในเครือข่าย

2.3.4 Inline Mode – เป็นโหมดที่ทำหน้าที่เป็น IPS (Intrusion Protection System) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่ไหล ผ่านแบบ Real Time โดยเทียบกับเงื่อนไขแบบใหม่ (New Rules) เพื่อใช้ในการตัดสินใจและกรองข้อมูลที่ต้องสงสัยว่าจะเป็น อันตรายต่อระบบหรือไม่ มีการเก็บของมูลเป็นกลุ่มข้อมูล ซึ่งจะมาจากตารางเลขที่ไอพีแทนที่ libpcap และใช้รูปแบบกฎเกณฑ์ ใหม่ซึ่งตารางเลขที่ไอพี จะช่วยในเรื่องการเข้าถึงของข้อมูล

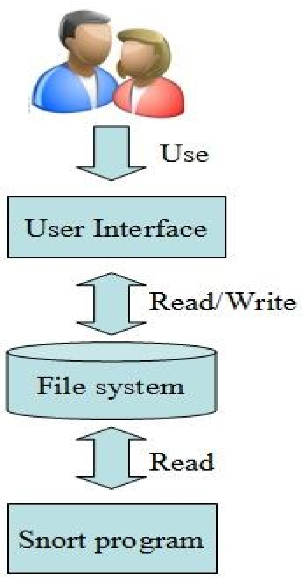
โดย ปกติ Snort จะเก็บข้อมูลการลงบันทึกอยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูลคล้ายๆ กับ syslog แต่เราสามารถสั่งให้ Snort เก็บ ข้อมูลที่ต้องการไว้ในฐานข้อมูล เช่น MySQL, PosgrestSQL หรือ MSSQL ได้เพื่อให้สามารถดึงข้อมูลมาตรวจสอบได้สะดวก ยิ่งขึ้นผ่านทางปลั๊กอิน (plug- ins) เช่น ACID และหน้าตาของโปรแกรมจะอยู่ในรูปของ Command Line [5]

3. ขั้นตอน/วิธีการ

"การพัฒนาระบบตรวจจับผู้บุกรุกแบบ DoS บนเครือข่ายแลน" นี้เป็นงานที่มีการออกแบบและพัฒนา เพื่อให้ผู้ดูแลระบบมีการ ใช้งานที่สะดวกมากยิ่งขึ้น ซึ่งจัดทำในส่วนระบบจัดการผ่านเว็บให้กับผู้ดูแลระบบ โดยสามารถทำการเปลี่ยนแปลงกฎที่ใช้ในการ ตรวจจับ และสามารถดูสถิติในการตรวจจับได้ว่า ในแต่ละเดือนมีการโจมตีในรูปแบบใดบ้างและมีจำนวนกี่ครั้ง เพื่อช่วยให้ผู้ดูแล ระบบสามารถทำการป้องกันการโจมตีในรูปแบบนั้นๆ ได้

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

3.1 ภาพรวมของระบบ

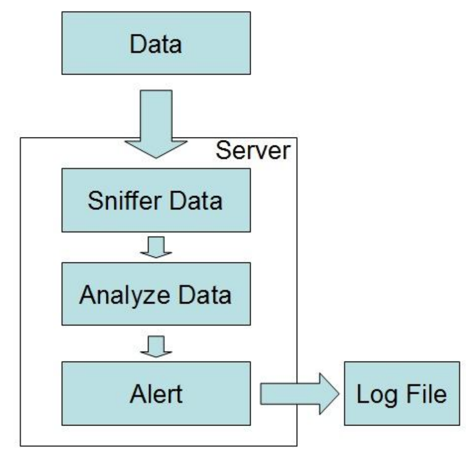


ภาพที่ 2 ภาพรวมของระบบ

จากภาพที่ 2 เป็นภาพรวมการทำงานทั้งหมดของโปรแกรมโดยเริ่มจาก ผู้ใช้ทำการใช้งานส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface) จากนั้นเมื่อทำใช้งานระบบจะทำการอ่าน/เขียนไฟล์ระบบของ Snort เพื่อทำการปรับแต่งหรืออ่านข้อมูลเพื่อแสดงค่า ตามที่ผู้ใช้ต้องการ

ระบบแบ่งได้ออกเป็น 3 ส่วนดังต่อไปนี้

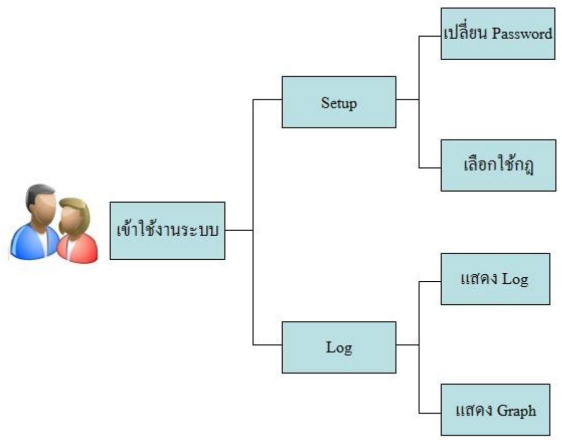
1. ส่วนแม่ข่าย ดังแสดงในภาพที่ 3 ประกอบด้วย
    - 1.1 การดักจับแพคเกจ
    - 1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล
    - 1.3 การแจ้งเตือน



ภาพที่ 3 ส่วนการทำงานของแม่ข่าย

2. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้: ระบบจัดการผ่านเว็บ (Web Interface)

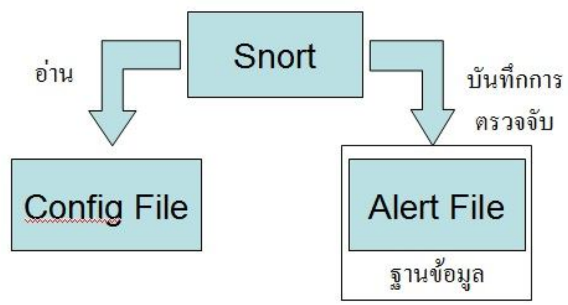
ในส่วนนี้จะทำการส่งข้อมูลที่ผู้ใช้ได้ปรับแต่งไปที่โปรแกรม IDS ที่กำลังทำงานอยู่ โดยทำการแปลงการทำงานแต่ละส่วนเป็นข้อความในไฟล์ข้อความ เพื่อที่จะให้โปรแกรมทำงานตามที่ผู้ใช้ต้องการ นอกจากปรับแต่งแล้วส่วนนี้จะเป็นส่วนที่การแจ้งเตือนของระบบจะส่งข้อมูลมาเพื่อติดต่อกับผู้ใช้งาน จากภาพที่ 4 สามารถอธิบายได้ว่า ในส่วนของ Setup สามารถเลือกใช้งานได้ 2 ส่วนคือ เปลี่ยนรหัสผ่านในการเข้าใช้ระบบ และเลือกใช้กฎในการตรวจจับ ในส่วนของ Log เลือกใช้งานได้ 2 ส่วนคือ แสดงข้อมูลที่ระบบสามารถตรวจจับได้รูปแบบข้อความ และแสดงกราฟจำนวนการบุกรุกแต่ละโปรโตคอลในแต่ละเดือน



ภาพที่ 4 โครงสร้างระบบจัดการผ่านเว็บ

3. ส่วนฐานข้อมูลเก็บข้อมูลการบุกรุก

ในส่วนนี้จะทำการเก็บข้อมูลของการบุกรุกไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์หารูปแบบการโจมตีที่เกิดขึ้นบ่อยกับระบบเครือข่ายของตนเอง และเป็นฐานข้อมูลสำหรับในส่วนของการวิเคราะห์รูปแบบการโจมตี โดยจะนำข้อมูลในส่วนนี้ไปเปรียบเทียบกับรูปแบบที่เกิดขึ้นว่ามีลักษณะคล้ายกันหรือไม่ หากมีลักษณะที่คล้ายกันก็จะถือว่าเป็นการโจมตีรูปแบบนั้นๆ จากภาพที่ 5 โปรแกรม Snort จะทำการอ่าน Config File เพื่อให้ Snort โปรแกรมทำงานได้ตามผู้ใช้ต้องการ และในส่วนของ Alert File เมื่อ Snort สามารถตรวจจับข้อมูลที่เสี่ยงต่อการบุกรุกได้จะทำการเก็บข้อมูลเป็นข้อความลงในส่วนของ Alert File ซึ่งเป็น ฐานข้อมูล ในการเก็บ log

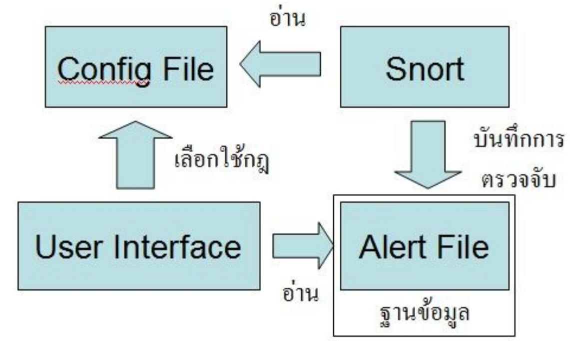


ภาพที่ 5 โครงสร้างการเก็บข้อมูล

3.2 การออกแบบในส่วนของการติดต่อกับโปรแกรม Snort

ในการติดต่อระหว่างระบบจัดการผ่านเว็บกับ Snort จะทำโดยการรันโปรแกรม Snort ไว้เป็น Background หรือเรียกอีกอย่างคือ การเรียกใช้โปรแกรม Snort ไว้ตลอดเวลาแต่ไม่แสดงให้เห็นเพื่อที่จะติดต่อกับในส่วนระบบจัดการผ่านเว็บ โดยเมื่อผู้ใช้งานทำการปรับแต่งในส่วนของระบบจัดการผ่านเว็บเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการอ่านและเขียนไฟล์ระบบของโปรแกรม Snort เพื่อนำไปใช้ในส่วนของโปรแกรม Snort ที่ทำการรันอยู่เบื้องหลัง ดังภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่าในส่วนของ ระบบจัดการผ่าน

เว็บจะทำการเขียน Config File และ อ่าน Alert File เท่านั้น จากนั้น Snort จะทำการอ่าน Config File ที่ผู้ใช้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้ทำงานอย่างที่ผู้ใช้ต้องการ และบันทึกการตรวจจับลงใน Alert File

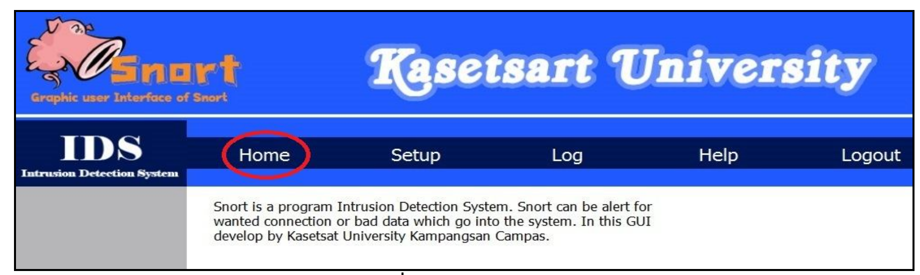


ภาพที่ 6 โครงสร้างการติดต่อระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม snort

4. ผลการทดลอง

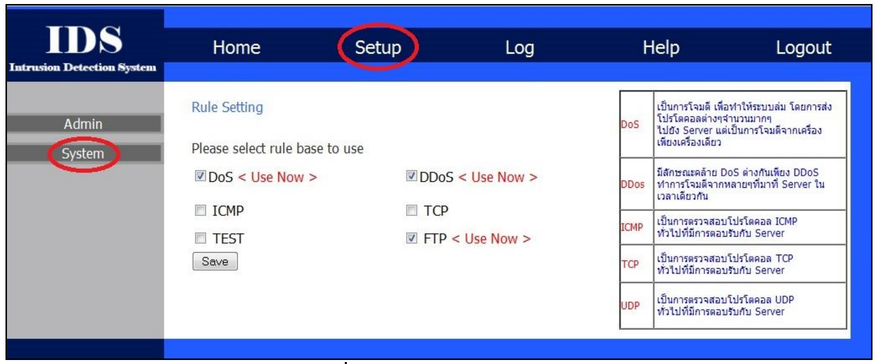
4.1 ส่วนติดต่อผู้ใช้ของงานวิจัยนี้ ได้ถูกพัฒนาเพื่อให้ใช้งานง่าย และครอบคลุมฟังก์ชั่นการทำงานหลัก ดังแสดงในภาพที่ 7 – 12 โดยภาพที่ 7 เป็นหน้าจอการยืนยันตัวตนสำหรับผู้ดูแล, ภาพที่8 เป็นหน้าจอหลักที่แสดงเมนูหลักต่างๆ, ภาพที่ 9 แสดงหน้าจอการจัดการระบบ, ภาพที่ 10 แสดงการเลือกกฎที่จะใช้ในการตรวจจับ และภาพที่ 11 แสดงหน้าจอแสดงรายละเอียดการบุกรุก

ภาพที่ 7 หน้าต่างเข้าสู่ระบบ

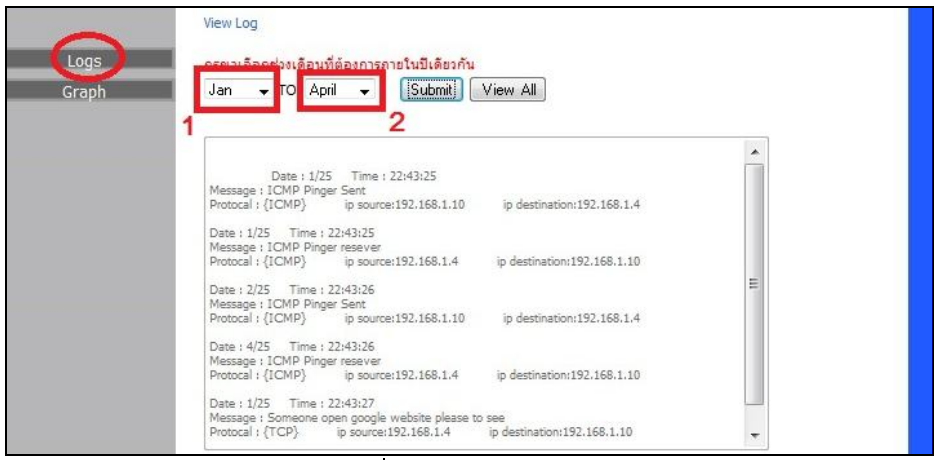


ภาพที่ 8 หน้าต่างเมนูหลัก

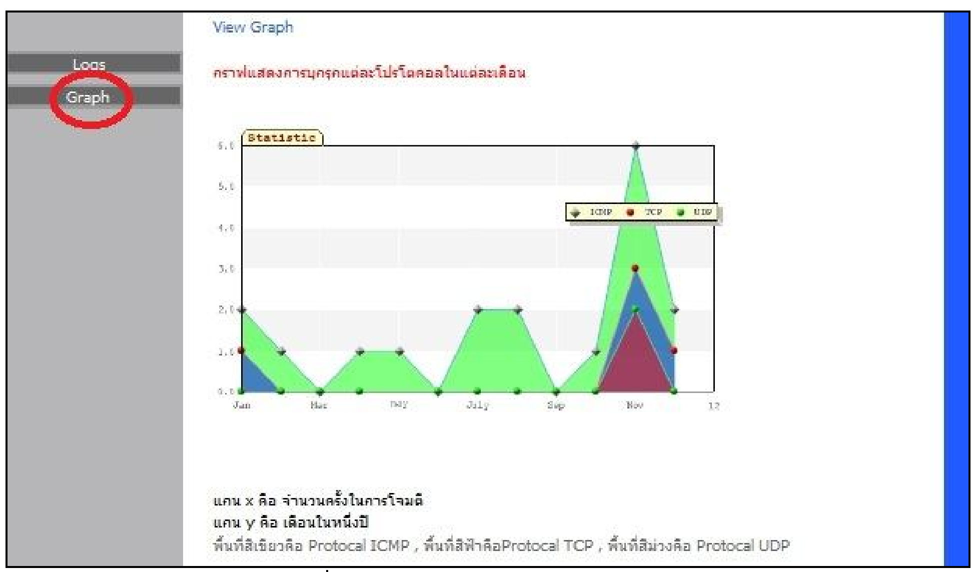
ภาพที่ 9 หน้าต่างสำหรับจัดการการเข้าใช้ระบบจัดการเว็บ



ภาพที่ 10 หน้าต่างการเลือกใช้กฎ



ภาพที่ 11 แสดงข้อมูลการบุกรุก



ภาพที่ 12 กราฟแสดงจำนวนผู้บุกรุกในแต่ละเดือน

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

4.2 ผลการทดลอง

ในส่วนนี้จะแสดงถึงผลการทดลองของการใช้ระบบตรวจจับผู้บุกรุก บนเครือข่ายแลน ซึ่งในการทดสอบนั้นมีการทดสอบทั้งหมด 5 รูปแบบด้วยกัน คือ ทดสอบโจมตีแบบ DoS, DDoS, ICMP, TCP และ FTP ได้ผลดังตารางที่ 2 - 6

ตารางที่ 2 ตารางการทดลองการตรวจจับผู้บุกรุกแบบ DoS ในแต่ละช่วงเวลา

ลำดับที่	เวลาในการทดสอบ	จำนวนที่สามารถตรวจจับได้	จำนวนที่ทำการโจมตี	เปอร์เซ็นต์ที่สามารถตรวจจับได้
1	5 นาที	19 ครั้ง	1987 ครั้ง	67.86%
2	10 นาที	41 ครั้ง	4073 ครั้ง	70.69%
3	15 นาที	63 ครั้ง	6219 ครั้ง	70.78%
4	20 นาที	83 ครั้ง	8158 ครั้ง	71.55%
5	25 นาที	98 ครั้ง	10225 ครั้ง	67.12%
6	30 นาที	118 ครั้ง	12882 ครั้ง	64.13%
7	35 นาที	145 ครั้ง	14717 ครั้ง	69.05%
8	40 นาที	158 ครั้ง	15243 ครั้ง	72.48%
9	45 นาที	183 ครั้ง	17789 ครั้ง	72.05%
10	50 นาที	210 ครั้ง	19651 ครั้ง	74.73%

ตารางที่ 3 ตารางการทดลองการตรวจจับผู้บุกรุกแบบ DDoS ในแต่ละช่วงเวลา

ลำดับที่	เวลาในการทดสอบ	จำนวนที่สามารถตรวจจับได้	จำนวนที่ทำการโจมตี	เปอร์เซ็นต์ที่สามารถตรวจจับได้
1	5 นาที	0 ครั้ง	3874 ครั้ง	0%
2	10 นาที	0 ครั้ง	8016 ครั้ง	0%
3	15 นาที	0 ครั้ง	10875 ครั้ง	0%
4	20 นาที	0 ครั้ง	13592 ครั้ง	0%
5	25 นาที	0 ครั้ง	17448 ครั้ง	0%
6	30 นาที	0 ครั้ง	22043 ครั้ง	0%
7	35 นาที	0 ครั้ง	26388 ครั้ง	0%
8	40 นาที	0 ครั้ง	29132 ครั้ง	0%
9	45 นาที	0 ครั้ง	34013 ครั้ง	0%
10	50 นาที	0 ครั้ง	37781 ครั้ง	0%

ตารางที่ 4 ตารางการทดลองใช้กฎ ICMP ในการตรวจจับผู้บุกรุกในแต่ละช่วงเวลา

ลำดับที่	เวลาในการทดสอบ	จำนวนที่สามารถตรวจจับได้	จำนวนที่ทำการโจมตี	เปอร์เซ็นต์ที่สามารถตรวจจับได้
1	5 นาที	300 ครั้ง	300 ครั้ง	100%
2	10 นาที	600 ครั้ง	600 ครั้ง	100%
3	15 นาที	900 ครั้ง	900 ครั้ง	100%
4	20 นาที	1200 ครั้ง	1200 ครั้ง	100%
5	25 นาที	1500 ครั้ง	1500 ครั้ง	100%
6	30 นาที	1800 ครั้ง	1800 ครั้ง	100%
7	35 นาที	2100 ครั้ง	2100 ครั้ง	100%
8	40 นาที	2400 ครั้ง	2400 ครั้ง	100%
9	45 นาที	2700 ครั้ง	2700 ครั้ง	100%
10	50 นาที	3000 ครั้ง	3000 ครั้ง	100%

ตารางที่ 5 ตารางการทดลองใช้กฎ TCP ในการตรวจจับผู้บุกรุกในแต่ละช่วงเวลา

ลำดับที่	เวลาในการทดสอบ	จำนวนที่สามารถตรวจจับได้	จำนวนที่ทำการโจมตี	เปอร์เซ็นต์ที่สามารถตรวจจับได้
1	5 นาที	50 ครั้ง	50 ครั้ง	100%
2	10 นาที	89 ครั้ง	89 ครั้ง	100%
3	15 นาที	116 ครั้ง	116 ครั้ง	100%
4	20 นาที	144 ครั้ง	144 ครั้ง	100%
5	25 นาที	197 ครั้ง	197 ครั้ง	100%
6	30 นาที	250 ครั้ง	250 ครั้ง	100%
7	35 นาที	285 ครั้ง	285 ครั้ง	100%
8	40 นาที	326 ครั้ง	326 ครั้ง	100%
9	45 นาที	366 ครั้ง	366 ครั้ง	100%
10	50 นาที	424 ครั้ง	424 ครั้ง	100%

ตารางที่ 6 ตารางการทดลองใช้กฎ FTP ใช้การตรวจจับผู้บุกรุกในแต่ละช่วงเวลา

ลำดับที่	เวลาในการทดสอบ	จำนวนที่สามารถตรวจจับได้	จำนวนที่ทำการโจมตี	เปอร์เซ็นต์ที่สามารถตรวจจับได้
1	5 นาที	0 ครั้ง	3 ครั้ง	0%
2	10 นาที	0 ครั้ง	4 ครั้ง	0%
3	15 นาที	0 ครั้ง	4 ครั้ง	0%
4	20 นาที	0 ครั้ง	4 ครั้ง	0%
5	25 นาที	0 ครั้ง	6 ครั้ง	0%
6	30 นาที	0 ครั้ง	6 ครั้ง	0%
7	35 นาที	0 ครั้ง	7 ครั้ง	0%
8	40 นาที	0 ครั้ง	10 ครั้ง	0%
9	45 นาที	0 ครั้ง	12 ครั้ง	0%
10	50 นาที	0 ครั้ง	14 ครั้ง	0%

5. สรุป

ระบบตรวจจับผู้บุกรุกนี้ถูกพัฒนาให้มีรูปแบบที่ใช้งานง่าย โดยเป็นการใช้งานรูปแบบของระบบจัดการผ่านเว็บ โดยยึดหลักคือสามารถตรวจจับการบุกรุกแบบ DoS ได้และให้ผู้ใช้งานใหม่สามารถใช้งานโปรแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นยังมีการเก็บข้อมูลการบุกรุก และนำไปวิเคราะห์หารูปแบบการโจมตีที่เกิดขึ้นบ่อยกับระบบเครือข่ายของตนเองเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับระบบเครือข่ายของตนเองมากยิ่งขึ้น

ในส่วนของผลการทดลองการตรวจจับผู้บุกรุกแบบ DoS ไม่สามารถตรวจจับได้อย่างแน่นอน 100 เปอร์เซนต์ ตรวจจับได้เพียง 80-90 เปอร์เซนต์ เนื่องจากการโจมตีในรูปแบบ DoS นั้นมีการพัฒนาจากเดิมตลอดเวลาทำให้ตรวจจับได้เฉพาะรูปแบบที่เคยเกิดขึ้นแล้วเท่านั้น ส่วนการโจมตีแบบ DDoS นั้นไม่สามารถตรวจจับได้ เนื่องจากการโจมตีในรูปแบบ DDoS นั้นไม่ใช่การโจมตีที่เกิดจากเครื่องเพียงเครื่องเดียวทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์การโจมตีนั้นได้ว่าเป็นการโจมตีในรูปแบบ DDoS ในการตรวจจับรูปแบบนี้จะสามารถตรวจจับได้เป็นเฉพาะกรณีๆ ไป ซึ่งการตรวจจับแบบ Rules Base นั้นจะสามารถตรวจจับได้หากมีรูปแบบตรงตามเงื่อนไขในกฎเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถทำการตรวจจับได้ หากใช้การตรวจจับแบบ Rules Base ในส่วนของ ICMP และ TCP จากการทดลองทำให้สามารถสรุปได้ว่าสามารถตรวจพบทุกครั้งที่มีการ ping หรือเปิดเว็บไซต์ตามที่กำหนดในกฎได้ ซึ่งในการวางระบบตรวจจับผู้บุกรุกในครั้งนี้นั้นวางหลังไฟร์วอลล์เพื่อเป็นการทดสอบการตรวจจับการโจมตีที่เข้ามาในระบบแล้ว

ส่วนจากการทดลองตรวจจับการโจมตีแบบ FTP นั้นไม่สามารถจับข้อมูลประเภทนี้ได้เนื่องจากข้อมูลถูกนับไปเป็นข้อมูลการโจมตีในรูปของ TCP

6. ข้อเสนอแนะ

ในการตรวจจับแบบ Dos นั้นควรจะมีการเขียนกฎที่มีการเตือนอย่างพอดี ไม่ควรเขียนให้เตือนบ่อยเกินไปในกรณีที่มีการบุกรุกซ้ำๆ กันอย่างต่อเนื่อง และควรเพิ่มการตรวจจับในรูปแบบของ AI เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการโจมตีว่าจะไปในทิศทางใด ให้สามารถตรวจจับการโจมตีได้ด้วยตัวเอง ไม่ต้องเขียนกฎเพิ่มทุกครั้งที่มีการโจมตีใหม่ๆ เกิดขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Naveed, M.; un Nihar, S.; Inayatullah Babar, M. *Network intrusion prevention by configuring ACLs on the routers, based on snort IDS alerts.* Emerging Technologies 6th International Conference on Digital Object Identifier. 2010 , pp: 234- 239.

[2] อาณัติ รัตนถิรกุล. ก้าวสู่อาชีพผู้ดูแล ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในองค์กร (ภาคปฏิบัติ) ซีเอ็ดยูเคชั่น, บมจ. 2549

[3] ภูวดล ด่านระหาญ. 2545. การจู่โจมระบบ. แหล่งที่มา: http://www.docstoc.com/docs/12363962/การจู่โจมระบบ/, 18 มิถุนายน 2555

[4] เว็บไซต์. 2550. ความปลอดภัยของเครือข่าย. แหล่งที่มา: http://www.dld.go.th/ict/article/network/netw03.html, 22 สิงหาคม 2553

[5] ทรงวุฒิ หิรัญมาพร และสมศักดิ์ วิชัยกิจ. 2551. ระบบตรวจจับผู้บุกรุกในเครือข่ายแลน. โครงงานคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

การเลือกขนาดของพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสร้างภาพ 3 มิติ ด้วยวิธีจำแนก Adaptive Hillcrest-Valley และ mean
The Optimal windows size for reconstruction image 3 dimension Using Adaptive Hillcrest-Valley Classification and mean

ณัฐชามญช์ ศรีจำเริญรัตนา[1]

[1]*โปรแกรมคอมพิวเตอร์ธุรกิจ,*
คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
k.natchamol@hotmail.com

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

บทคัดย่อ

การสร้างผิวหน้าแบบ 3 มิติจากภาพถ่ายสองมิติเพียงภาพเดียวเป็นประโยชน์อย่างมากในหลายด้าน เช่น ด้านการรักษาความปลอดภัย การทำอะนิเมชั่น 3 มิติ และจับการเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ ส่วนใหญ่แล้วเทคนิคการสร้างผิวหน้าต้องใช้ภาพถ่ายวัตถุหลายภาพซึ่งต้องถ่ายที่มุมมองที่แตกต่างกันเพื่อประมาณความลึกของแต่ละส่วนของวัตถุซึ่งเป็นหนึ่งในตัวแปรที่สำคัญที่สุดในการสร้างวัตถุแบบ 3 มิติจากภาพนิ่ง

จากวิธีการที่ผู้วิจัยได้เคยเสนอไว้ ซึ่งสามารถประมาณการค่าความลึกจากภาพถ่ายสองมิติเพียงภาพเดียว ที่อยู่ภายใต้แสงในแบบต่างๆ โดยใช้การจำแนกแบบ Hillcrest-Valley ที่มีการปรับตัว mean filter และกำหนดค่าเกณฑ์ (Threshold) แบบ mean เพื่อประเมินความลึกภาพ แต่ในการทดลองยังไม่มีความชัดเจนว่าควรใช้ขนาดหน้าต่าง (window size) เท่าใดที่ดีที่สุดในการประเมินหาค่าความลึกของภาพ ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการนี้กับหน้าต่างขนาดต่างๆ ทดลองกับภาพถ่ายจากฐานข้อมูล YaleB และภาพถ่ายแบบต่างๆ และผลการทดลองพบว่าวิธีที่เสนอนี้มีประสิทธิภาพและสามารถประมาณการประมาณค่าความลึกของใบหน้าหน้าหน้าตรง ได้มากถึง 200 ชั้นโดยไม่คำนึงถึงสภาพแสง และกู้คืนรูปร่างสามมิติของรูปภาพแบบต่างๆให้มีความลึกตามแสงเงาที่ได้รับมาจากภาพถ่ายภาพนิ่งสองมิติ

คำสำคัญ: การกู้คืนรูปร่างสามมิติ, ลำดับความลึก, รูปร่างจากแสงเงา

Abstract

Reconstruction surface of a 3D from a single 2D image can be substantially useful in many areas such as security, forensic, 3D animation, and motion capture. Most 3D surface reconstruction techniques require multiple 2D images taken at different views in order to estimate the depth of each component which is one of the most crucial parameters in 3D object reconstruction.

From my prior propose that is a new method which can estimate the depth map of a 2D image in various illumination conditions by using Hillcrest-Valley classification with adaptive mean filter and mean threshold value selection to estimate the depth order of an image. But we didn't know which size of window will make the best estimation. So the proposed method with various window size was evaluated on the

YaleB face database and other image. The experimental result represent layer depth upto 200 layers regardless of lighting condition.

Keyword: shape reconstruction, depth map, shape from shade.

1. บทนำ

การสร้างภาพวัตถุแบบ 3 มิติเป็นหนึ่งในปัญหาการวิจัยที่ท้าทายทางด้านการประมวลผลภาพคอมพิวเตอร์เป็นอย่างมาก ปัญหาหลักของปัญหานี้ที่เป็นที่สนใจของนักวิจัยทั่วโลกคือวิธีที่จะได้มาซึ่งค่าความลึกของภาพ มีเทคนิคหลายแบบที่ได้มีการเสนอไปแล้ว [1] ซึ่งสามารถแบ่งโดยรวมได้เป็นสองประเภท คือ การสร้างผิวหน้าจากภาพถ่ายวัตถุสองมิติภาพเดียว และการสร้างภาพวัตถุสองมิติหลายภาพ Widanagamaachchi และคณะ ชี้ให้เห็นว่าใบหน้าสามมิติที่ได้จากการสร้างจากภาพสองมิติโดยใช้วิธีหาจากความแตกต่างของสี (Shape from Shading) หาจากเงา(Shape from silhouettes) และหาจากการเคลื่อนไหว (Shape from Motion) ต่างก็มีปัญหาของความลึกของส่วนประกอบต่างๆ บนใบหน้าที่แตกต่างกันไประหว่างฐานข้อมูลใบหน้า [1] ที่แตกต่างกัน Guan และคณะ ได้เสนอวิธีการที่ดีขึ้น ด้วยการใช้ affine transformation และ 3D statistical face model [2]. Yoshiki และคณะ สร้างแบบจำลองใบหน้าสามมิติโดยใช้ PCA ในการประมาณ eigenvalues เพื่อแสดงรูปร่างของศรีษะ [3] ข้อเสียของการใช้ภาพใบหน้าภาพเดียว คือ การสูญเสียค่าความลึกไปในระหว่างทำ 2D Projection Onofrio และคณะได้สร้างแบบจำลองใบหน้า 3 มิติ จากภาพสองมิติหลายภาพ โดยใช้อัลกอริทึมการลดค่าของฟังก์ชั่นพลังงาน (energy minimization algorithm) [4] Wang และคณะ เสนอการสร้างใบหน้าที่เหมือนจริง 3 มิติ โดยรวมจากหลายภาพใบหน้าสองมิติ [5] Zheng และคณะ ได้เสนออัลกอริทึม stereo 3D reconstruction โดยใช้ใบหน้าอ้างอิงสามมิติ และภาพใบหน้าสองภาพ [6] ข้อเสียเปรียบของการใช้ภาพใบหน้าหลายภาพ คือจำเป็นต้องมีภาพหลายภาพจากที่มุมมองแตกต่างกันในการดำเนินการ ซึ่งในบางครั้งก็ไม่สามารถหามาได้

วิธีการอื่น ๆ สำหรับการสร้างภาพสามมิติ จะใช้การเก็บข้อมูลความลึกของวัตถุ 3 มิติ โดยใช้ระดับชั้นความลึกของการแสดงภาพ [7] - [9] แต่จะมีขนาดไฟล์ที่ค่อนข้างใหญ่ ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการบีบอัดข้อมูลตามที่เสนอใน [10] - [11] อย่างไรก็ดีงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการสร้างแบบจำลองใบหน้า 3 มิติจากภาพใบหน้าสองมิติภาพเดียว โดยใช้การปรับตัว Hillcrest-Valley [12] และวิธี Otsu [13] - [14] โดยแปรผันขนาดของ window size เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมสำหรับดำเนินการหาความลึกของภาพ

2. หลักการที่ใช้

ผู้วิจัยได้พัฒนาการสร้างภาพวัตถุ 3 มิติจากภาพถ่ายสองมิติภาพเดียว โดยอาศัยข้อมูลความสว่างและเงาโดยไม่พิจารณาถึงสภาพแสง ซึ่งวิธีการนี้สามารถแบ่งได้เป็นสองส่วน คือ Facial Feature Detection (การตรวจสอบคุณสมบัติบนใบหน้า) และ การประเมินความลึก โดยที่ภาพนำเข้าต้องประกอบด้วยภาพวัตถุและพื้นหลังที่เรียบ โดยมีกระบวนการดังนี้

2.1 Facial Feature Detection

เนื่องจากภาพที่นำมาใช้อาจจะอยู่ภายใต้สภาพแสงที่แตกต่างกัน ดังนั้นขั้นตอนแรกในการตรวจสอบคุณสมบัติของใบหน้าคือการทำ illumination normalization โดยใช้ top-hat transformation ที่ถูกปรับเปลี่ยน ขั้นตอนต่อไปในการดึงคุณสมบัติของใบหน้าคือ การใช้การแยกส่วนประกอบแบบ multi-resolution การจำแนก Hillcrest-Valley และการทำ thresholding เพื่อหาส่วนประกอบบนใบหน้าที่แตกต่างกัน เช่นปาก, จมูกและตา [12]

2.2 Depth Order Estimation

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ดัดแปลงการจำแนกชนิด Hillcrest Valley โดยรวม Hillcrest-Valley เข้ากับ mean ดังแสดงในภาพที่ 1 และใช้กระบวนการนี้ในการประมาณค่าความลึกของภาพ โดยอาศัยข้อมูลความเข้มแสงและเงา โดยในขั้นนี้จะมีการแยกส่วนของภาพใบหน้าเป็นหลายชั้น (Layer) ตามขั้นตอนต่อไปนี้:

1) กำหนดขนาด mask's size เริ่มต้นที่ ขนาด 128 x 128 pixel
2) สร้าง mask ตามขนาดที่กำหนด

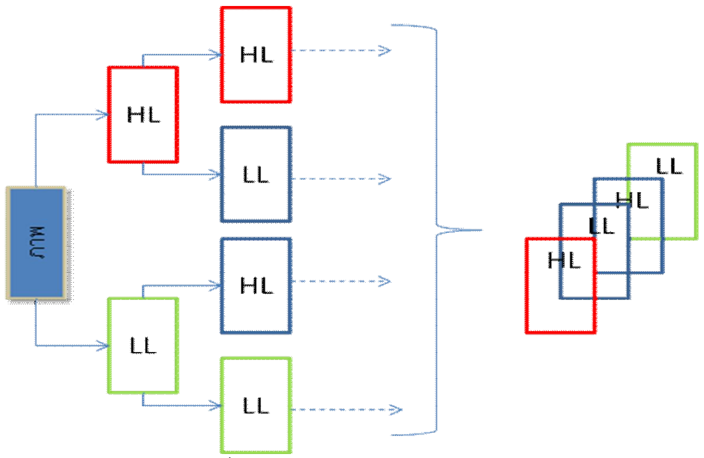
3) ใช้วิธีการจำแนกแบบ adaptive Hillcrest-Valley ด้วย mask ที่สร้างขึ้นจากขั้นตอนที่ 2 เพื่อแบ่งภาพออกเป็นบริเวณ low-intensity (valley) และบริเวณ high-intensity (hillcrest)

4) พิจารณาในส่วนบริเวณ valley ใช้วิธี mean เพื่อกำหนดค่า threshold สำหรับบริเวณ valley

5) แบ่งส่วนบริเวณ valley ด้วยค่า threshold ที่ได้จากขั้นตอนที่แล้ว ออกเป็นคลาส low และ high ดังภาพที่ 2

6) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 5 ด้วยวิธี mean จนไม่สามารถแบ่งได้อีก

7) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 - 6 โดยใช้ mask ขนาด 2 x 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 วิธีการเรียงลำดับการประมวลผล

2.3 Adaptive Hillcrest-Valley Classification

ผู้วิจัยได้ปรับปรุงกระบวนการจำแนกแบบ Hillcrest-Valley เพื่อให้สามารถใช้ในการประมาณค่าความลึกของภาพสองมิติ โดยอาศัยค่าความเข้มของแสง ทั้งแบบ Local และ Global จากภาพที่ 2 แสดงผลลัพธ์ของกระบวนการ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) คำนวณค่าความเข้มแสงเฉลี่ย ของแต่ละบริเวณ, μ

2) ใช้ค่า mask จากกระบวนการในหัวข้อก่อนหน้านี้

3) ใช้ค่า mask กับแต่ละบริเวณ โดยเริ่มจากส่วนบน-ซ้ายของบริเวณ

4) คำนวณค่าความเข้มแสงเฉลี่ยชนิด Lacal ของบริเวณ ภายใต้ mask ที่กำหนด, i

5) ถ้า $i < \mu$ ให้กำหนดบล็อคของบริเวณนี้ภายใต้ mask ให้เป็นบริเวณ low-intensity (valley) แต่ถ้าไม่ใช่ ให้กำหนดเป็นบริเวณ high-intensity (hillcrest)

6) เลื่อน mask ไป 1 pixel ทางด้านทางขวาไปยังบล็อคถัดไป และทำซ้ำข้อ 4 - 5 จนสุดแถว

7) เลื่อน mask ไปยังแถวใหม่ และทำซ้ำ ข้อ 4 – 6 จนครบทั้งภาพ

(a) ภาพเริ่มต้น

(b)Valley **(c)Hillerest**

ภาพที่ 2 ผลการกระบวนการจำแนกแบบ Hillcrest-Valley

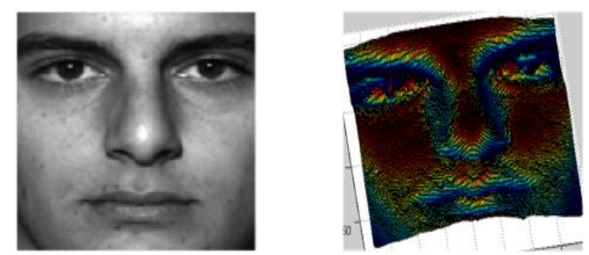
3. การแสดงผลการเรียงลำดับความลึก

หลังจากได้บริเวณ high และ low จากขั้นตอนก่อนหน้านี้มาแล้ว ก็เข้าสู่กระบวนสร้างแบบหน้า 3 มิติ โดยการจัดเรียงบริเวณ high และ low ตามระดับชั้น (layer) ซึ่งขึ้นอยู่กับลำดับความลึก โดยลำดับความลึกของแบบหน้า 3 มิติจะเรียงลำดับไปตามแกน z ดังรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

1) ข้อมูลที่ได้จากการแบ่งความเข้มของแสงทั้งสองช่วงการแบ่งพื้นที่จาก the adaptive Hillcrest-Valley classification, เราจะทำการจัดเรียงโดยนำพื้นที่ของความเข้มแสงที่มีความถี่มากไว้ด้านหน้าก่อนพื้นที่ที่มีความเข้มแสงน้อยกว่า

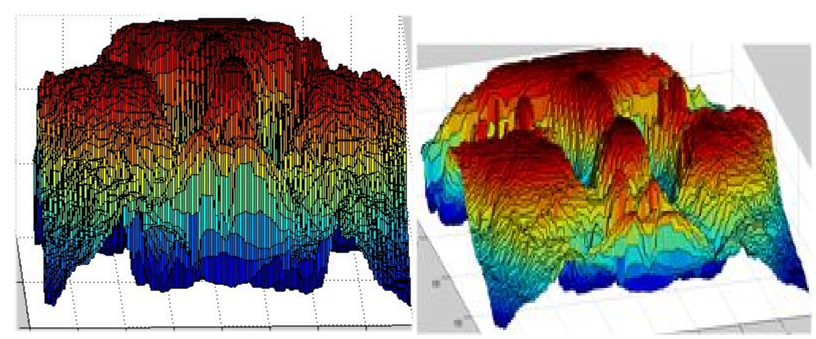
2) พื้นที่ความเข้มแสงมาก, เราจะทำการแบ่งพื้นที่ที่มีความเข้มมากด้วยขนาดพื้นที่วินโดว์ขนาด 2 x 2และเก็บผลการแบ่งไว้เป็นพื้นที่ที่มีความเข้มแสงมากและพื้นที่ที่มีความเข้มแสงน้อย และจะทำซ้ำการทำงานนี้จนกระทั่งมีพื้นที่ขนาด 2 x 2 จากนั้นนำพื้นที่ที่แบ่งได้แต่ละรอบกำหนดให้เป็นข้อมูลด้านบนของพื้นที่สามมิติ

3) พื้นที่ความเข้มแสงน้อย, จะใช้การแบ่งพื้นที่ข้อมูลเป็นพื้นที่ที่มีความเข้าของแสงมากและน้อยเหมือนกับข้อ 2 แต่จะกำหนดผลของการแบ่งพื้นที่ที่ได้แต่ละรอบเป็นข้อมูลด้านล่างของพื้นที่สามมิติ



(a) ภาพเริ่มต้น (b) ผลการหาความลึก

ภาพที่ 3 ตัวอย่างภาพที่ทำการหาความลึกของภาพ



(a)ลำดับความลึกมุมมองด้านข้าง (b) ลำดับความลึกมุมมองด้านบน

ภาพที่ 4 แสดงผลภาพความลึกในมุมที่ต่างกัน

4. การทดลองและผล

การทดลองเพื่อหาขนาดของพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับดำเนินการหาความลึกของภาพ 3 มิติ จากภาพวัตถุ 2 มิติเพียงภาพเดียว ซึ่งผู้วิจัยทดลองวิธีการนี้กับภาพหน้าต่างขนาดต่างๆ ภาพถ่ายจากฐานข้อมูล YaleB ซึ่งเป็นภาพขนาด 192 x 168 พิกเซล จำนวนทั้งสิ้น 646 ภาพ โดยผลการทดสอบจะนำเสนอการเปรียบเทียบขนาดของพื้นที่ที่ต่างกันเพื่อหาขนาดที่เหมาะสม ตามวิธีดังต่อไปนี้

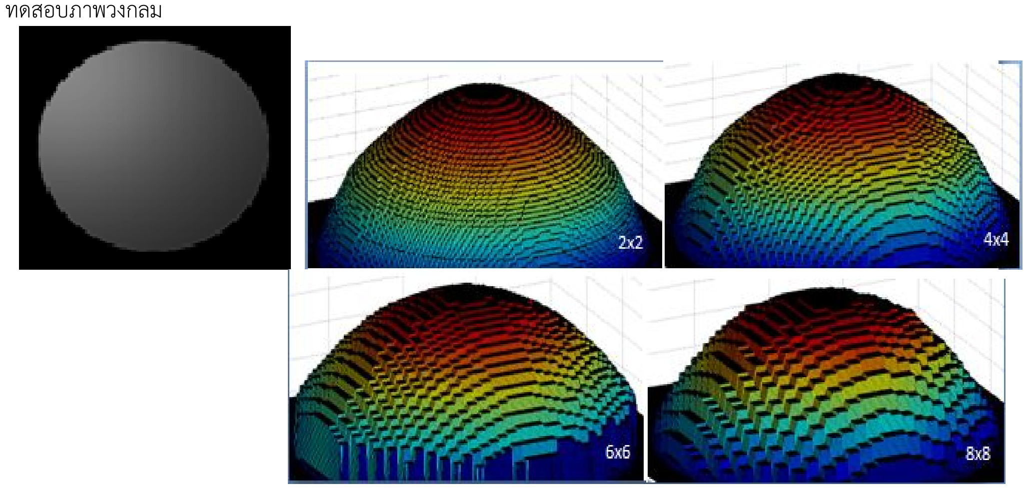
1. ภาพที่ใช้ในการวิจัยจะเป็นภาพที่มีชนิดภาพเป็นระดับภาพสีเทามีระดับสีเทาระหว่าง 0-255
2. กำหนดให้ภาพมีขนาดเริ่มต้นที่ 128 x 128 พิกเซลหรือ M x N
3. และมีจำนวนพิเซลที่ใช้ประมวลผลภาพขนาดเป็น M x N ใดๆ PixTotal=MxN
4. คำนวณหาค่ากลางของทั้งภาพเพื่อหาค่าเฉลี่ยของภาพที่จะทำการวิจัย, กำหนดให้ทำการเปรียบเทียบภาพในขนาดพื้นที่ต่างๆกัน ดังนี้. กำหนดให้ n เป็นเลขจำนวนเต็มที่ใช้เป็นพื้นที่ขนาดต่างๆ n x n ดังนี้
   ขนาดพื้นที่แบบที่ 1 กำหนดให้มีพื้นที่ขนาด 2 x 2,
   ขนาดพื้นที่แบบที่ 2 กำหนดให้มีพื้นที่ขนาด 4 x 4,
   ขนาดพื้นที่แบบที่ 3 กำหนดให้มีพื้นที่ขนาด 6 x 6,
   ขนาดพื้นที่แบบที่ 4 กำหนดให้มีพื้นที่ขนาด 8 x 8 ตามลำดับ
5. การคำนวณหาค่าเฉลี่ยจะใช้การคำนวณค่าแบบโกลบอลคือคำนวณหาจากทั้งภาพเพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่มของพื้นที่ที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งการคำนวณผลจะใช้จำนวนพื้นที่มีค่าเท่ากับขนาดของพื้นที่แต่ละแบบที่ใช้ทำการวิจัย

5. สรุปและวิจารณ์

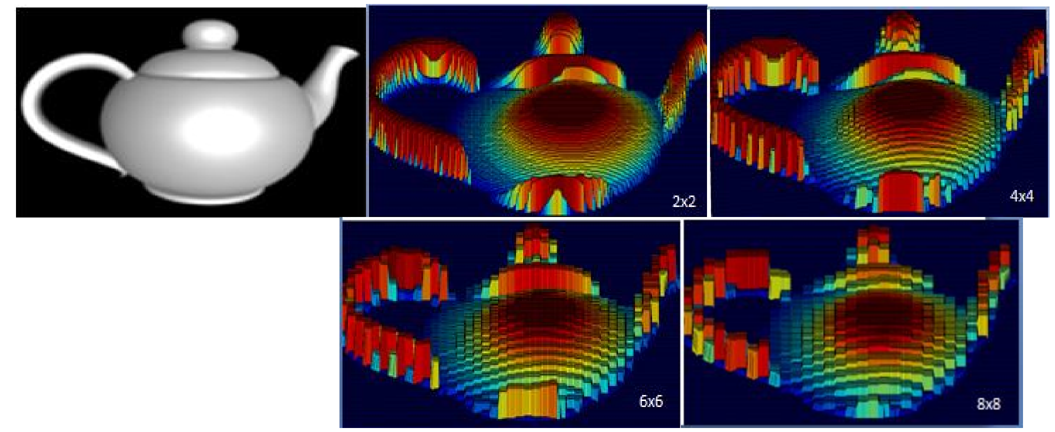
จากผลการทดลองกับภาพแบบต่างๆ พบว่า พื้นที่ที่ใช้ในการทดลองหาขนาดของพื้นที่ที่เหมาะสมขนาด 2 x 2 จะให้ผลลัพธ์เป็นภาพความลึกที่เนียนและคมชัดและสามารถแบ่งรายละเอียดได้ดีกว่าการภาพที่แบ่งด้วยพื้นที่ขนาด 4 x 4, 6 x 6, 8 x 8 ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าความลึกที่ได้จากวิธีการของผู้วิจัยด้วยขนาดพื้นที่ 2 x 2 นี้จะมีการแบ่งได้ละเอียดมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภาพพื้นที่ที่ใช้ขนาดที่มาก (4 x 4, 6 x 6, 8 x 8) แต่ด้วยขนาดพื้นที่ที่น้อยจะส่งผลให้มีการประมวลผลที่มากขึ้นบ้างหากนำไปใช้กับภาพขนาดใหญ่

ภาพที่ 5 ตัวอย่างผลการหาความลึกของภาพแบบต่างๆ

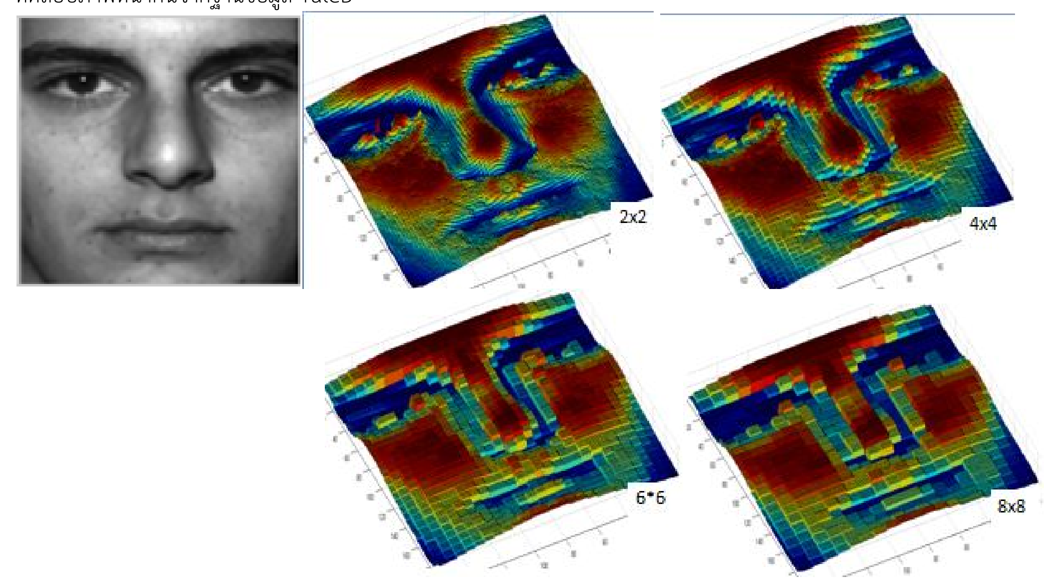
ทดสอบภาพวงกลม



ทดสอบภาพกาน้ำ



ทดสอบภาพหน้าคนจากฐานข้อมูล YaleB



6. เอกสารอ้างอิง

[1] W.N. Widanagamaachchi, A.T. Dharmaratne, "3D face reconstruction from 2D images a survey, " Digital image computing: techniques and applications. DICTA, Pages:365-371,2008.

[2] Y. Guan, "Automatic 3D face reconstruction based on single 2D image, " International conference on multimedia and ubiquitous engineering. (MUE '07), Pages:1216-1219, 2007.

[3] K. Yoshiki, H. Saito, M. Mochimaru, "Reconstruction of 3D Face Model from Single Shading Image Based on Anatomical Database, " 18th International Conference on Pattern Recognition, 2006. ICPR 2006. ,2006.

[4] D. Onofrio,S. Tubaro, "A model based energy minimization method for 3D face reconstruction, " International conference on multimedia and expo, Pages:1274-1277, 2005.

[5] C. Wang, S. Yan, H. Zhang, W. Ma, "Realistic 3D Face Modeling by Fusing Multiple 2D Images, " International conference on multimedia modeling, Pages:139-146, 2005.

[6] Y. Zheng, J. Chang, Zhigang Zheng, Z. Wang, "3D Face Reconstruction From Stereo: A Model Based Approach, " IEEE International Conference on Image Processing, 2007. ICIP 2007. , Pages:65-68,2007.

[7] S. Park and S. Kim, "Depth Compression of 3D Object Represented by layered Depth Image, " 2010 Data Compression Conference (DCC), Pages:504-513, 2010.

[8] H. Kim, S. Kim, B. Koo and Byoungtae Choi, "Layered-Depth Image using pixel Grouping," In Proc.of the Seventh International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM'01), Pages:121, 2001.

[9] E. H. Adelson, "Layered Representation for Vision and Video, " Proc.of the IEEE WS on Representation of Visual Scenes, Pages:3-9,1995.

[10] J. Duan and J. Li, "Compression of the Layered Depth Image, " IEEE transactions on image processing, Pages:365-372,2003.

[11] A. Gelman , P. Dragotti , V. Velisavljevi¶c , " Layer Based Multi-View Image Compression," Proceedings of the 5th international ICST Mobile Multimedia Communications Conference, Pages:1-4, 2009.

[12] N. Srichumroenrattana,C. Lursinsap, R. Lipikorn, "Facial Feature Detection Using Multiresolution Decomposition and Hillcrest-Valley Classification with Adaptive Mean Filter, " Fourth International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology, 2009. ICCIT '09. , Pages:697-701, 2009.

[13] N. Otsu, " A threshold selection method from gray-level histograms, "IEEE Transactions on Systems Man Cybernet SMC-9 (1), Pages:62-66,1979.

[14] N. Hui-Fuang, "Automatic thresholding for defect detection, " Pattern Recogn. Lett. Pages:1644-1649, 2006.

[15] S. A. K. Zadeh, A. Md Said, "3D Reconstruction using Level-Based Approach in Stereopsis, " International Conference on Signal Acquisition and Processing, 2009. ICSAP 2009., Pages:138-142,2009.

[16] R. M. Haralick and L. G. Shapiro, "Survey Image Segmentation Techniques, " Computer Vision, Graphics,and Image Processing 29, Pages:100-132,1985.

[17] C. Xing-Cheng, Y. Sheng and W. Ya-Jun, "Reseaech on 3D Shape Reconstruction using Uneven Defocusing Model, " International Conference on Digital Object Identifier Mechatronics and Automation, 2007. ICMA 2007. , Pages:2326-2331,2007.

ระบบวิเคราะห์การจราจรข้อมูลบนระบบเครือข่ายแบบไร้สาย
Wireless Network Traffic Analysis System

พงศธร เกิดผลทวี[1] และ กายรัฐ เจริญราษฎร์[2]

[1.2]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[1]unlimitez@msn.com, [2]kairat.j@ku.ac.th

บทคัดย่อ

เครือข่ายแบบไร้สายในปัจจุบันเป็นที่นิยมของผู้ใช้ตามบ้านเรือนหรือองค์กรต่างๆ มากขึ้น เพราะความสะดวกและความยืดหยุ่นในการใช้งาน และยังมีการพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง โดยเป็นที่ทราบกันดีว่า ไม่มีระบบใดที่ไม่มีข้อบกพร่องหรือปัญหา ระบบเครือข่ายแบบไร้สายก็เช่นเดียวกัน กรณีระบบเครือข่ายแบบไร้สายมีข้อจำกัดในเรื่องของการส่งสัญญาณ ในบางสถานการณ์อาจมีสัญญาณรบกวนและมีการใช้ช่องสัญญาณร่วมกันภายในคลื่นความถี่เดียวกัน รวมถึงมีอัตราการลดทอนสัญญาณที่สูงมาก ทำให้เกิดผลกระทบต่อการรับส่งข้อมูลภายในเครือข่าย

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและการใช้ประโยชน์สูงสุดของระบบเครือข่ายแบบไร้สาย จึงได้มีการพัฒนาโครงงานนี้ขึ้น มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะวิเคราะห์การรับส่งข้อมูล โดยมุ่งเน้นที่การดักจับสัญญาณ(Sniffer) เพื่อที่จะนำมาใช้พิจารณาวิเคราะห์การจราจรบนระบบเครือข่ายแบบไร้สาย ตามลักษณะการใช้งาน เพื่อหาสาเหตุและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ทำให้การตรวจสอบวิเคราะห์ปัญหาในระบบเครือข่ายมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยระบบวิเคราะห์การจราจรข้อมูลบนระบบเครือข่ายแบบไร้สาย จะสามารถดักจับแพ็คเก็ตและแสดงข้อมูลแพ็คเก็ตที่มีการจราจรภายในเครือข่าย รวมถึงแสดงรายงานของแพ็คเก็ตที่ดักจับได้ออกมาในรูปแบบกราฟ ตลอดจนมีการสรุปข้อมูลในมุมมองของเวลา และชื่อบริการต่างๆตามโพรโทคอล

คำสำคัญ: ระบบเครือข่ายแบบไร้สาย, การวิเคราะห์การจราจรข้อมูล, การดักจับข้อมูล, แพ็คเก็ต

Abstract

Wireless networking is currently more and more popular among the residential users and organizations as it is flexible and convenient as well as its continued improvement. However, none of any system works without problem including wireless network system. Wireless network has its limitations in terms of signal transmission. In some situations there may be disturbance as well as channels sharing under the same frequency including reduction of very high signal cause impact to data transferred within network.

To increase effectiveness and ultimate utilization of wireless network system, this project has been established with an aim to analyze data transmitting focuses on Sniffer in order to analyze wireless network traffic in terms of its utilization. It is expected to find out causes of problem and its solution which will be resulted in a better quality of the system. Wireless network traffic analysis system can capture packets and display traffic packet data within the network and report captured packet into the chart format as well as to summarize data of time and various service titles according to different protocols.

Keyword: wireless network, traffic analysis, sniffer, packet

1. บทนำ

ระบบเครือข่ายแบบไร้สายมีข้อจำกัดในเรื่องของการส่งสัญญาณ ในบางสถานการณ์อาจมีสัญญาณรบกวนและมีการใช้ช่องสัญญาณร่วมกันภายในคลื่นความถี่เดียวกัน รวมถึงมีอัตราการลดทอนสัญญาณที่สูงมาก ทำให้เกิดผลกระทบต่อการรับส่งข้อมูลภายในเครือข่าย

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและการใช้ประโยชน์สูงสุดของระบบเครือข่ายแบบไร้สาย ผู้จัดทำจึงได้พัฒนาโครงงานนี้ขึ้น มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะวิเคราะห์การรับส่งข้อมูล โดยมุ่งเน้นที่การดักจับสัญญาณ หรือ สนิฟเฟอร์ เพื่อที่จะนำมาใช้พิจารณาวิเคราะห์การจราจรบนระบบเครือข่ายแบบไร้สาย ตามลักษณะการใช้งาน เพื่อหาสาเหตุและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ทำให้การตรวจสอบวิเคราะห์ปัญหาในระบบเครือข่ายมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบเครือข่ายไร้สาย

ปัจจุบันผู้ใช้งานเริ่มหันมาใช้ระบบเครือข่ายแลนไร้สาย [1] มากขึ้น เพราะราคาอุปกรณ์เริ่มถูกลง และผู้ใช้งานสามารถเชื่อมโยงเข้าระบบเครือข่ายจากพื้นที่ใดก็ได้ที่อยู่ในรัศมีการให้บริการของเครือข่ายแลนไร้สาย สามารถแก้ปัญหาเรื่องการติดตั้งสายสัญญาณในพื้นที่ที่ทำได้ลำบาก ซึ่งการสื่อสารข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ บนระบบเครือข่ายไร้สาย จะใช้คลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz สำหรับมาตรฐาน IEEE802.11b, IEEE802.11g และ 5GHz สำหรับมาตรฐาน IEEE2.11a [2] ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลมีตั้งแต่ 11 Mbps, 22 Mbps และ 54 Mbps ขึ้นอยู่กับมาตรฐาน โครงสร้างของระบบแลนที่ปราศจากสายสัญญาณและตัวกลางสำหรับเชื่อมโยง และแบบ Infrastructure เป็นการเชื่อมโยงระบบเครือข่ายแลนไร้สาย ให้สามารถติดต่อสื่อสารกับระบบเครือข่ายอีเทอร์เนตแลน [3] ได้ โดยอาศัยอุปกรณ์ Access Point เป็นตัวกลาง

2.2 Sniffer

Sniffer [4] หมายถึง โปรแกรมที่ทำหน้าที่ดักอ่านข้อมูลที่วิ่งไปวิ่งมาบนระบบเครือข่าย ซึ่งสามารถดักอ่านข้อมูลได้ด้วยลักษณะ Protocol Ethernet [5] ที่ใช้หลักของการกระจายข้อมูล ไปยังทุก host ที่อยู่ใน ที่มี Hub เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสาร และ hub จะใช้ Protocol Ethernet คือ host ทุก host หากจะติดต่อกับ host อื่นๆ ก็จะผ่าน hub (หรือเป็น Access point ในระบบเครือข่ายไร้สาย) ซึ่งมีการทำงานแบบ Broadcast ส่วนการใช้ switch นั้น การสื่อสารจะแยกกันเป็นคู่ๆ จึงไม่มีการส่งข้อมูลแบบกระจาย ทำให้ Sniffer ไม่สามารถใช้งานได้บน Switch

2.3 WinPcap – Packet Capture Library

วินพีแคป [6] เป็น Open Source Library ซึ่งเป็นไดรเวอร์ที่ใช้ในการดักจับแพ็คเก็ตข้อมูลและวิเคราะห์เครือข่ายสำหรับแพลตฟอร์มของ Win32 ซึ่งวินพีแคปนั้นจะทำการส่งและรับแพ็คเก็ตได้อย่างอิสระจากโฮสต์โพรโตคอล (Host Protocol) เช่น TCP/IP แต่วินพีแคปนั้นไม่สามารถที่จะบล็อก กรอง หรือ จัดการ Traffic ที่เกิดขึ้นจากโปรแกรมอื่นๆ ที่อยู่บนเครื่องเดียวกันได้

กระบวนการทำงานของ WinPcap มีดังนี้

1. ดักจับแพ็คเก็ตของเครื่องที่กำลังรับ-ส่งข้อมูลอยู่ในขณะนั้น
2. กรองแพ็คเก็ตก่อนที่จะส่งไปยังแอพพลิเคชั่น (Application)
3. ส่งแพ็คเก็ตไปยังเครือข่าย
4. รวบรวมข้อมูลต่างๆที่อยู่บนเน็ทเวิร์คแทรฟฟิก (Network Traffic)

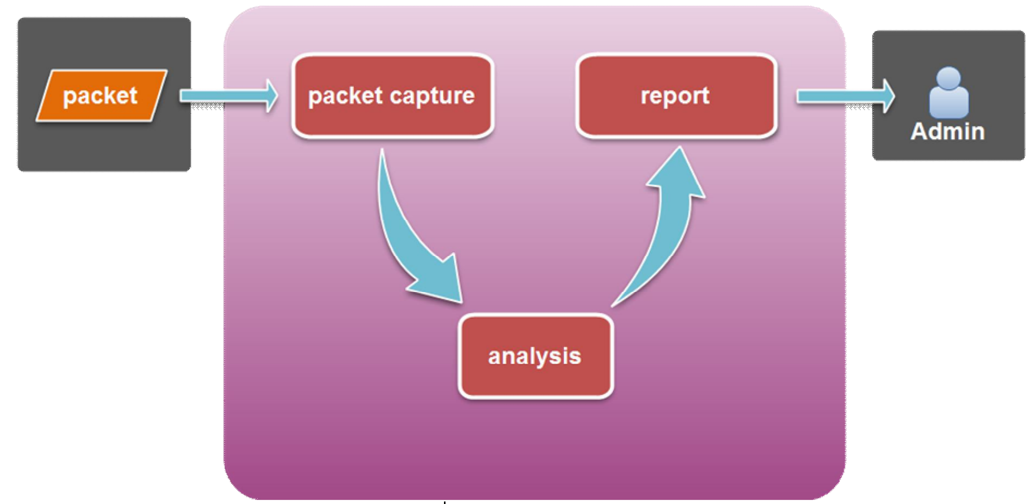
2.4 สถาปัตยกรรมดอทเน็ต

สถาปัตยกรรมดอทเน็ต [7] คือแพลตฟอร์มสำหรับพัฒนาซอฟต์แวร์สร้างขึ้นโดยไมโครซอฟท์ โดยรองรับภาษาดอตเน็ตมากกว่า 40 ภาษา ซึ่งมีไลบรารีเป็นจำนวนมากสำหรับการเขียนโปรแกรม รวมถึงบริหารการดำเนินการของโปรแกรมบนดอตเน็ตเฟรมเวิร์ก โดยไลบรารีนั้นได้รวมถึงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ การเชื่อมต่อฐานข้อมูล วิทยาการเข้ารหัสลับ อัลกอริทึม การเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ และการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน

โปรแกรมที่เขียนบนดอตเน็ตเฟรมเวิร์ก จะทำงานบนสภาพแวดล้อมที่บริหารโดย Common Language Runtime (CLR) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในดอตเน็ตเฟรมเวิร์ก โดย CLR นั้นเตรียมสภาพแวดล้อมเสมือน ทำให้ผู้พัฒนาไม่ต้องคำนึงถึงความสามารถที่แตกต่างระหว่างหน่วยประมวลผลต่างๆ และ CLR ยังให้บริการด้านกลไกระบบความปลอดภัย การบริหารหน่วยความจำ และ Exception handling ดอตเน็ตเฟรมเวิร์กนั้นออกแบบมาเพื่อให้การพัฒนาซอฟต์แวร์ง่ายขึ้น รวดเร็วขึ้น และปลอดภัยขึ้นกว่าเดิม

3. การออกแบบและพัฒนาระบบ

3.1 ภาพรวมของระบบ



ภาพที่ 1 ภาพรวมของระบบ

ภาพที่ 1 แสดงถึงภาพรวมการทำงานของระบบวิเคราะห์การจราจรข้อมูลบนระบบเครือข่ายแบบไร้สาย ในระบบจะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน โดยในส่วนแรก จะทำการดักจับแพ็คเก็ตจากเน็ทเวิร์คอินเตอร์เฟสการ์ด (Network Interface Card) แล้วส่งเข้าไปในส่วนที่สอง เพื่อทำการวิเคราะห์แยกแยะแพ็คเก็ตต่างๆ ออกตามชนิดของโพรโตคอล (Protocol) โดยอาศัยข้อมูลในส่วนหัวของแพ็คเก็ต (Packet Header) หลังจากนั้นทำการส่งข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์แล้วไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลและส่งออกไปให้ส่วนสุดท้าย เพื่อทำการแสดงผล

3.2. รายละเอียดส่วนต่างๆ ของระบบ

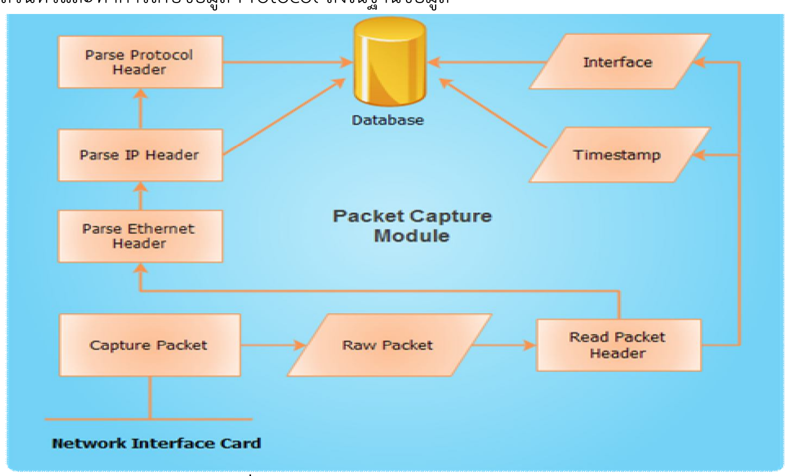
3.2.1 ส่วนของการดักจับข้อมูลที่ทำการจราจรในเครือข่าย

เมื่อมีข้อมูลผ่านเข้าสู่เครือข่าย โดยผ่านเครื่องแม่ข่าย โดยเริ่มจากข้อมูลจะเข้าสู่เน็ตเวิร์คอินเตอร์เฟสการ์ด (Network Interface) และส่วนนี้จะทำการดักจับและวิเคราะห์ว่าเป็นโพรโตคอลประเภทที่ต้องการหรือไม่ ถ้าหากใช่จะทำการส่งข้อมูลไปเก็บไว้ยังฐานข้อมูลเพื่อให้ผู้ใช้ได้ทำการวิเคราะห์ต่อไป

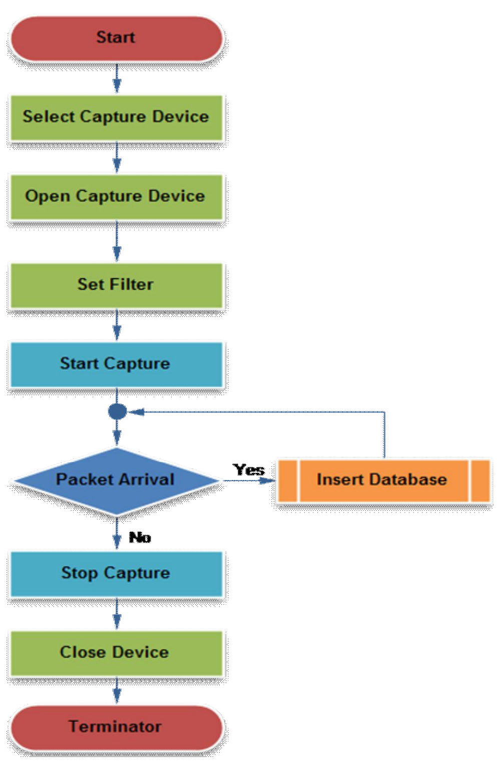
จากภาพที่ 2 แสดงการเริ่มต้นกระบวนการด้วยการส่งผ่านแพ็คเก็ตผ่านเข้าสู่เน็ตเวิร์คอินเตอร์เฟสการ์ด และส่งต่อให้ส่วนของการดักจับข้อมูลซึ่งจะดักจับและอ่านข้อมูลส่วนหัวของแพ็คเก็ต แล้วทำการแยกประเภทตามโพรโทคอล จากนั้นทำการส่งข้อมูล เวลา และข้อมูลของเน็ตเวิร์คอินเตอร์เฟสการ์ด พร้อมทั้งข้อมูลของแพ็คเก็ตนั้นๆ เข้าสู่ฐานข้อมูลแยกตามประเภทโพรโทคอล

- Capture Packet ทำหน้าที่ตรวจจับข้อมูลทุกตัวที่มีการจราจรผ่าน เน็ตเวิร์คอินเตอร์เฟสการ์ด แล้วทำการส่งต่อไปให้ส่วนต่อไป จะเรียกข้อมูลที่ส่งต่อไปว่า Raw Packet

- Read Packet Header ทำหน้าที่รับ Raw Packet ที่ดักจับได้ มาอ่านข้อมูลส่วนหัวที่ถูกห่อหุ้มมาจากต้นทาง และเก็บข้อมูลเวลาและเน็ตเวิร์คอินเตอร์เฟสการ์ดลงในฐานข้อมูลและส่งข้อมูลให้ส่วนต่อไป
- Parse Ethernet Header ทำหน้าที่รับ Raw Packet เพื่อเปลี่ยนให้เป็น Ethernet Packet และส่งข้อมูลให้ส่วนต่อไป
- Parse IP Header ทำหน้าที่รับ Ethernet Packet เพื่อเปลี่ยนให้เป็น IP Packet แล้วทำการอ่านข้อมูลส่วนหัว และทำการเก็บข้อมูล IP ลงในฐานข้อมูล จากนั้น ทำการส่งข้อมูลให้ส่วนต่อไป
- Parse Protocol Header เป็นส่วนสุดท้าย ทำหน้าที่รับ IP Packet เพื่อเปลี่ยนให้เป็น Protocol Packet แล้วทำการอ่านข้อมูลส่วนหัวและทำการเก็บข้อมูล Protocol ลงในฐานข้อมูล



ภาพที่ 2 แสดงการทำงานภายในส่วนดักจับข้อมูล

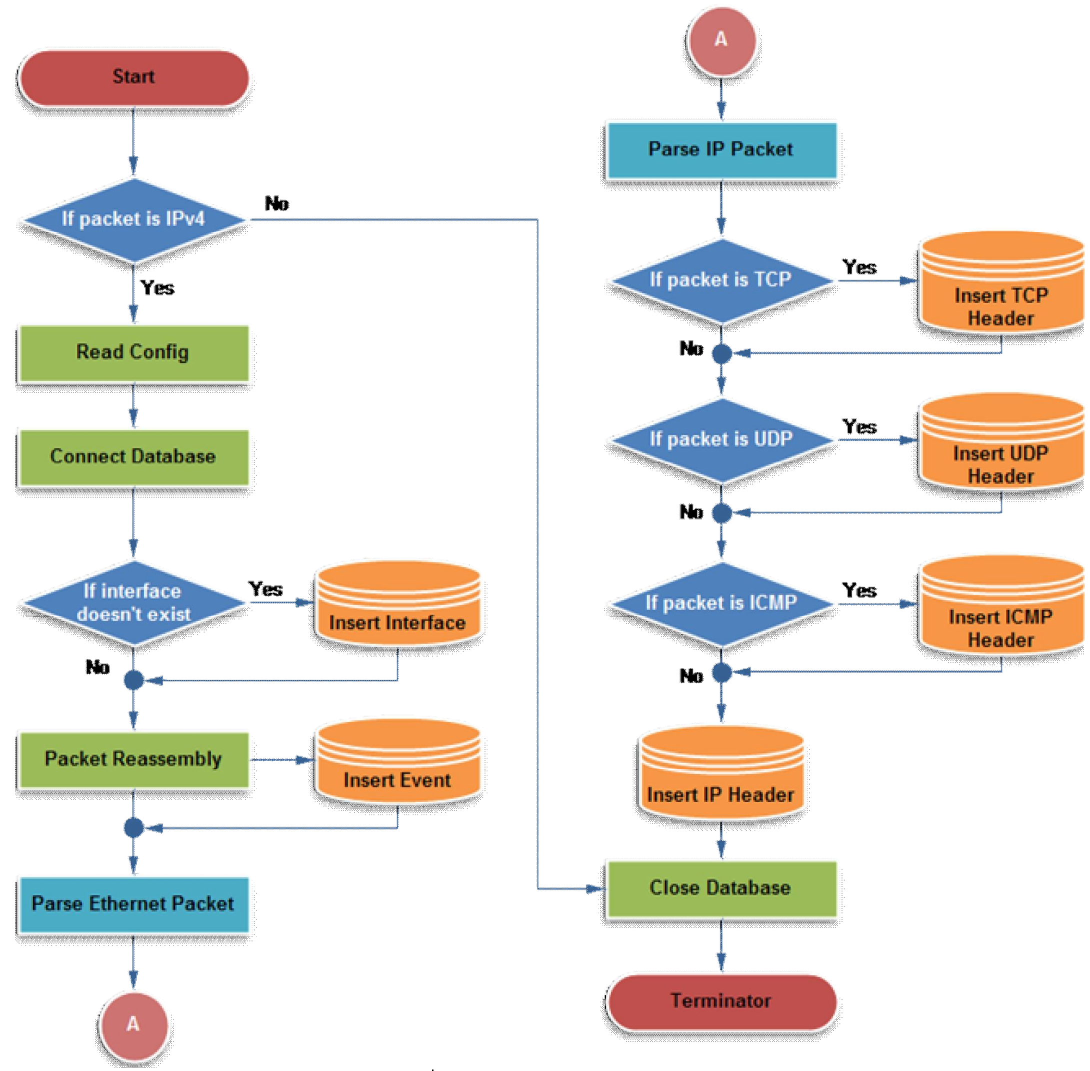


ภาพที่ 3 กระบวนการทำงานของโปรแกรมในส่วนดักจับข้อมูล

กระบวนการทำงานเป็นไปดังภาพที่ 3 โดยเริ่มต้นระบบจะให้ทำการเลือก Capture Device หรือ Network Interface Card ที่ต้องการใช้งาน แล้วระบบจะทำการเปิดโหมด Promiscuous และตั้งค่าตัวกรองให้ดักจับเฉพาะ โพรโทคอล TCP UDP และ ICMP เท่านั้น จากนั้นระบบจะทำการดักจับแพ็คเก็ตภายในเครือข่าย ถ้ามีแพ็คเก็ตเข้ามาก็จะทำการเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล เมื่อเสร็จสิ้นแล้วจะทำการหยุดการดักจับและปิดโหมด Promiscuous

3.2.2 ส่วนฐานข้อมูล

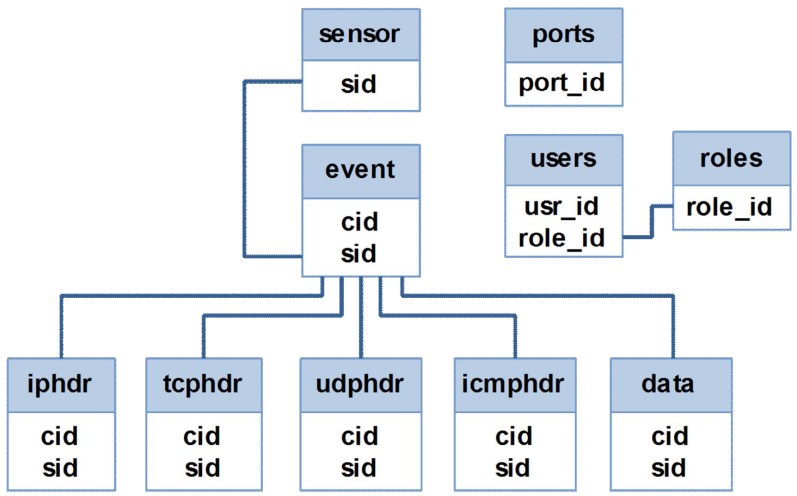
เป็นส่วนของการเก็บข้อมูลทั้งหมดที่ผ่านการกลั่นกรองจากการดักจับข้อมูล และได้มีการวิเคราะห์แบ่งประเภทออกเป็นโพรโทคอล ซึ่งได้แก่ TCP,UDP และICMP รวมทั้งหมายเลขไอพีต้นทางและหมายเลขไอพีปลายทาง บริการต่างๆ เพื่อจะนำไปแสดงผลในเว็บไซต์ต่อไป



ภาพที่ 4 กระบวนการนำข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล

3.2.2.1 กระบวนการนำข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล

จากภาพที่ 4 แสดงกระบวนการนำข้อมูลเข้าฐานข้อมูล โดยเริ่มเมื่อดักจับแพ็คเก็ตได้ ระบบจะทำการตรวจสอบว่าแพ็คเก็ตเป็น IPv4 หรือไม่ ถ้าไม่ใช่จะจบการทำงานของฟังก์ชัน ถ้าใช่ฟังก์ชันจะทำการอ่านค่าที่ใช้ในการติดต่อฐานข้อมูลจากไฟล์พร้อมกับติดต่อฐานข้อมูลเพื่อรอรับคำสั่งต่อไป จากนั้นฟังก์ชั่นจะตรวจสอบว่าในฐานข้อมูลมีการเก็บข้อมูล Network Interface Card ตัวนั้นหรือไม่ ถ้าหากไม่มี ก็จะทำการเพิ่มข้อมูลของการ์ดลงในฐานข้อมูล จากนั้นจะเป็นการแยกส่วนประกอบของแพ็คเก็ต เมื่อมาถึงกระบวนการนี้ ระบบจะเก็บข้อมูลเวลาที่แพ็คเก็ตถูกดักจับลงในฐานข้อมูล กระบวนต่อไปคือการตรวจอบว่าแพ็คเก็ตเป็นโพรโทคอล TCP UDP หรือ ICMP แล้วก็ทำการเก็บข้อมูล Header ของแพ็คเก็ตลงในฐานข้อมูลและเก็บข้อมูลของ IP ลงในฐานข้อมูล และหยุดการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล



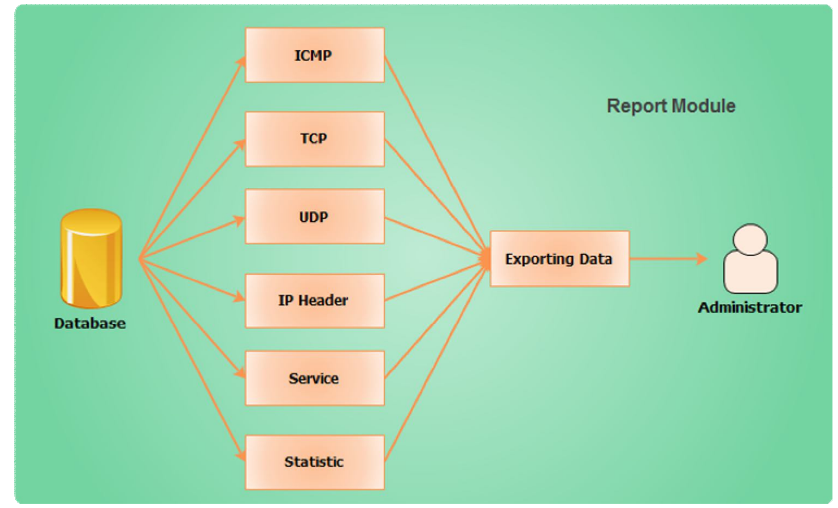
3.2.2.2 โครงสร้างฐานข้อมูล

ภาพที่ 5 ER-Diagram

ตาราง	รายละเอียด
event	สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลเวลาที่ดักจับข้อมูลได้
sensor	สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลของเน็ทเวิร์คอินเตอร์เฟสการ์ด
data	สำหรับเก็บบันทึกข้อมูล Payload ของแพ็คเก็ต
iphdr	สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลไอพีส่วนหัวของแพ็คเก็ต
udphdr	สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลส่วนหัวของแพ็คเก็ตประเภท UDP
tcphdr	สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลส่วนหัวของแพ็คเก็ตประเภท TCP
icmphdr	สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลส่วนหัวของแพ็คเก็ตประเภท ICMP
ports	สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลบริการ
users	สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลของผู้ใช้งาน
roles	สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลสิทธิการใช้งานของผู้ใช้

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของแต่ละตารางในฐานข้อมูล

ระบบฐานข้อมูลมีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 5 และอธิบายรายละเอียดของแต่ละตารางฐานข้อมูลในตารางที่ 1



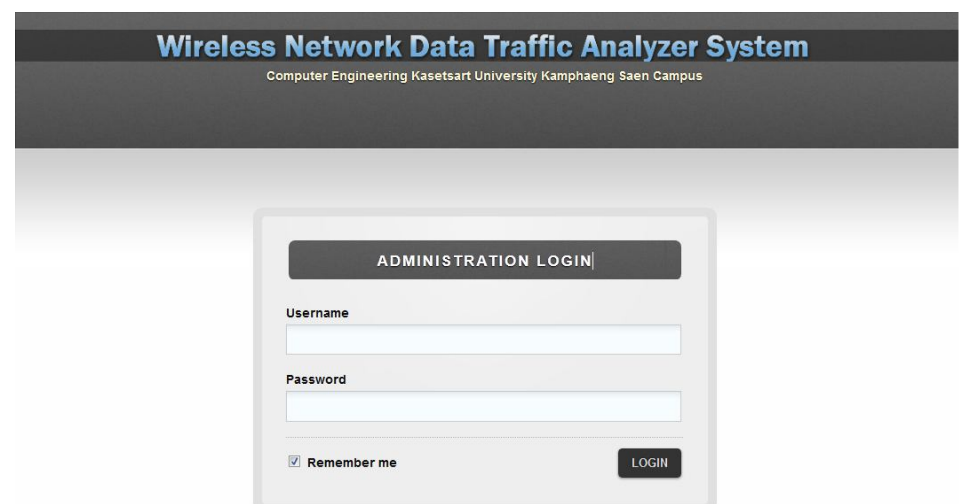
ภาพที่ 6 ข้อมูลที่ส่งออกให้ผู้ใช้ผ่านเว็บไซต์

3.2.3 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ผ่านเว็บไซต์

เป็นส่วนที่ผู้ใช้สามารถเรียกดูข้อมูลการจราจรภายในเครือข่ายที่ได้ทำการดักจับข้อมูล โดยดึงข้อมูลฐานข้อมูลมาแสดง เพื่อนำไปวิเคราะห์และพัฒนาเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้น จากภาพที่ 6 ผู้ใช้สามารถเรียกดูข้อมูลได้จากโพรโทคอลต่างๆ ซึ่งได้แก่ TCP,UDP และICMP พร้อมทั้งบริการของโพรโทคอลนั้นๆ รวมทั้งยังมีหมายเลขไอพีต้นทางและปลายทางที่ทำการเชื่อมต่อกัน

3.2.3.1 ส่วนของหน้าการยืนยันตัวเป็นผู้ดูแลระบบ

ผู้ใช้จะต้องทำการยืนยันตัวเองการเข้าไปทำการดูข้อมูลภายในได้ เพื่อความปลอดภัยในการเข้าถึงเข้าถึงข้อมูล จากภาพที่ 7 ผู้ใช้จะต้องกรอกข้อมูล Username และ Password ให้ถูกต้อง หากผิดพลาดจะมีการแจ้งเตือนเป็นตัวอักษรสีแดง หากคลิกปุ่ม

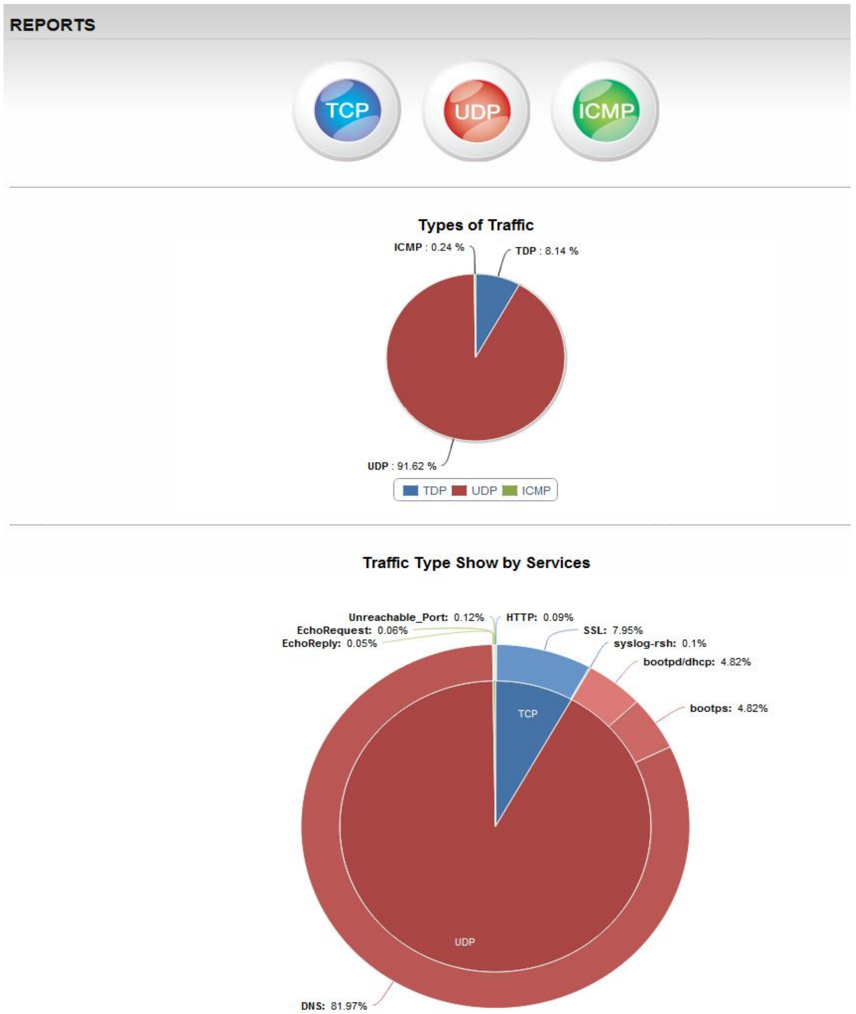


Remember me จะทำให้ระบบจำผู้ใช้หลังจากไม่ได้ใช้งานเว็บไซต์แล้ว

ภาพที่ 7 หน้าเว็บเพจการยืนยันตัวเป็นผู้ดูแลระบบ

3.2.3.2 ส่วนของหน้ารายงานผลสรุป

จะมีการแสดงข้อมูลแต่ละโพรโทคอลเป็นรูปแบบแผนภูมิแยกตามชนิดโปรโทคอล และสรุปข้อมูลบริการต่างๆ ในรูปแบบตาราง ดังตัวอย่างในภาพที่ 8 -11



ภาพที่ 8 ตัวอย่างข้อมูลแยกตามชนิดโปรโทคอลที่แสดงออกมาเป็นแผนภูมิ

Service of TCP

Service	Count
HTTP	11
SSL	937
syslog-rsh	12

Service of UDP

Service	Count
bootpd/dhcp	1
bootps	1
DNS	17

TypeCode of ICMP

Typecode	Count
EchoReply	9
EchoRequest	11
Unreachable_Port	21

ภาพที่ 9 แสดงข้อมูลของบริการต่างๆ ที่ตรวจพบ แบ่งตามโพรโทคอล

Summary

Item		Value
Capture Status		
Start Date		2012-03-23
Start Time		21:19:56
End Date		2012-03-24
End Time		20:12:35
Duration		0 days 22 hours 1372 min
Traffic	Bytes	Packets
Total	10629062 Bytes	17264
Average Packet Size		615.68 Bytes

ภาพที่ 10 แสดงรายงานสรุปภาพรวมของการ Sniffer

REPORTS : TCP

ID	Timestamp	Source Address	Dest. Address	Service
1 - 1	2012-03-23 21:19:56	192.168.11.35 : 51623	65.197.244.57 : 443	SSL
1 - 2	2012-03-23 21:19:56	65.197.244.57 : 443	192.168.11.35 : 51623	SSL
1 - 3	2012-03-23 21:19:56	192.168.11.35 : 51623	65.197.244.57 : 443	SSL
1 - 4	2012-03-23 21:19:56	23.58.243.206 : 443	192.168.11.35 : 51610	SSL
1 - 5	2012-03-23 21:19:56	23.58.243.206 : 443	192.168.11.35 : 51610	SSL
1 - 6	2012-03-23 21:19:56	192.168.11.35 : 51610	23.58.243.206 : 443	SSL
1 - 7	2012-03-23 21:19:56	23.58.243.206 : 443	192.168.11.35 : 51610	SSL
1 - 8	2012-03-23 21:19:56	208.46.163.57 : 443	192.168.11.35 : 51616	SSL
1 - 9	2012-03-23 21:19:56	208.46.163.57 : 443	192.168.11.35 : 51616	SSL
1 - 10	2012-03-23 21:19:56	208.46.163.57 : 443	192.168.11.35 : 51612	SSL

Total 1406 Record 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ... 11 141

ภาพที่ 11 แสดงรายงานรายละเอียดของโพรโทคอล TCP

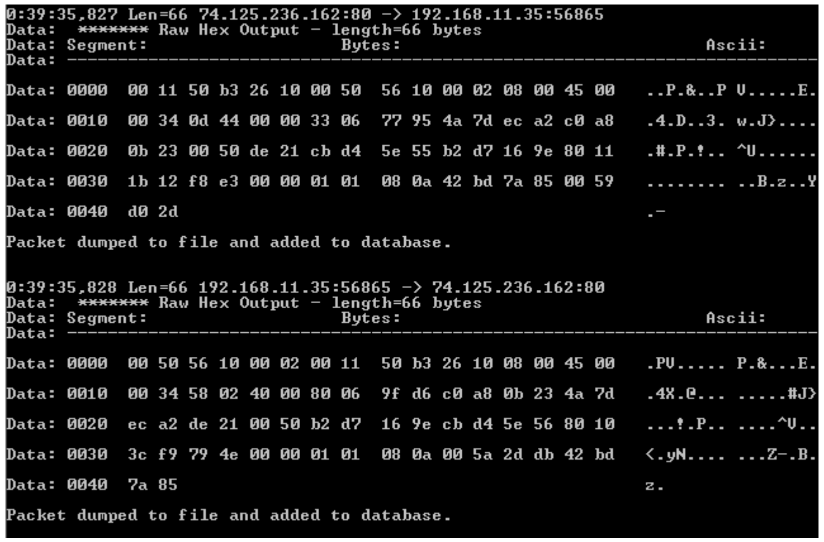
ภาพที่ 8, 9 และ10 แสดงตัวอย่างส่วนของหน้ารายงานผลซึ่งเป็นภาพโดยรวมของข้อมูลที่มีการจราจรภายในเครือข่าย ภาพที่ 8 แสดงข้อมูลโพรโทคอลและบริการในรูปแบบแผนภูมิ ภาพที่ 9 แสดงข้อมูลบริการต่างๆในรูปแบบตาราง ภาพที่ 10 แสดงข้อมูลสรุปภาพรวมของการดักจับข้อมูล และภาพที่ 11 แสดงตัวอย่างรายงานรายละเอียดการดักจับเฉพาะข้อมูลโปรโทคอล TCP

4. การวิเคราะห์ผล

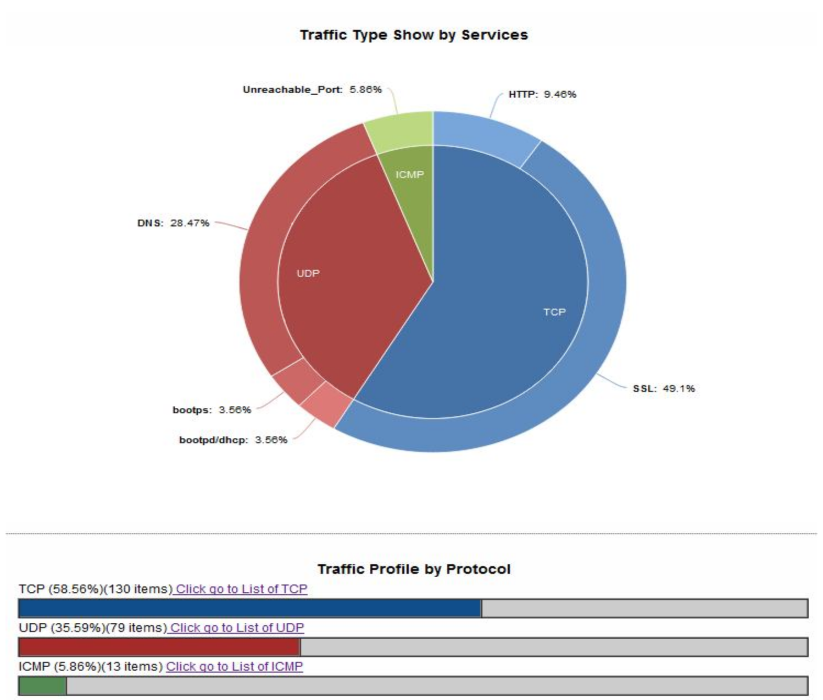
การทดลองดักจับแพ็คเก็ต TCP, UDP และ ICMP เป็นการดักจับข้อมูลที่มีการจราจรภายในระบบเครือข่ายเพื่อตรวจสอบว่าระบบดักจับสามารถดักจับแพ็คเก็ต TCP, UDP และ ICMP ได้จริง ภาพที่ 12 แสดงการทำงานของโปรแกรมขณะดักจับข้อมูล โดยโปรแกรมจะมีการแสดงข้อมูลของแพ็คเก็ตที่ดักจับได้เช่น หมายเลขไอพีต้นทางและปลายทาง ขนาดของแพ็คเก็ต และข้อมูลใน

แบบ Binary โดยการดักจับข้อมูลนี้สามารถดักจับดูการจราจรในเครือข่ายได้ครบถ้วน 100 % เนื่องจากแบ่งชนิดของแพ็คเก็ตไว้อย่างครอบคลุม คือ TCP, UDP และ ICMP ดังตัวอย่างในภาพที่ 8 (บน)

เมื่อใช้โปรแกรมดักจับแพ็คเก็ต โปรแกรมจะทำการดักจับแพ็คเก็ตต่างๆที่มีการจราจรในเครือข่าย และส่งไปยังฐานข้อมูลเพื่อแสดงผลไปดังภาพที่ 13



ภาพที่ 12 แสดงโปรแกรมตอนทำการดักจับ



ภาพที่ 13 แสดงตัวอย่างข้อมูลของ TCP,UDP และ ICMP ที่ดักจับได้

5. สรุปผล

ระบบวิเคราะห์การจราจรข้อมูลบนระบบเครือข่ายแบบไร้สาย เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์แพ็คเก็ตที่ได้จากการดักจับ เพื่อนำไปวิเคราะห์และตรวจสอบการจราจรภายในเครือข่ายแบบไร้สายโดยมีการแบ่งหมวดหมู่ตามโพรโทคอลคือ TCP, UDP และ ICMP รวมถึงแสดงชื่อบริการต่างๆ พร้อมทั้งแสดงสถิติโดยรวม เช่น ข้อมูลเวลาเริ่มต้นและเวลาล่าสุดที่ทำการดักจับ และขนาดของแพ็คเก็ตทั้งหมดที่ได้ทำการดักจับ ทำให้เข้าใจง่ายและสามารถมองเห็นภาพรวมของระบบเครือข่าย ซึ่งทำให้การบริหารและจัดการแบนด์วิธ หรือหาจุดที่ผิดปกติ เพื่อให้ระบบเครือข่ายแบบไร้สายมีประสิทธิภาพสูงสุด

ในส่วนของผลการทดลอง การดักจับแพ็คเก็ตจากโปรโตคอล TCP,UDP และ ICMP สามารถดักจับได้อย่างแน่นอนครบถ้วน 100% ในระดับ Transport Layer แต่ไม่สามารถแสดงบริการในระดับ Application Layer ได้ทั้งหมด เนื่องจากบางบริการไม่มีในฐานข้อมูล ซึ่งข้อมูลบริการนั้นจะแสดงตาม Port ถ้าหากว่า Port นั้นไม่ได้มีการกำหนดไว้ ก็จะไม่แสดงรายละเอียดของบริการนั้นๆ

6. การเขียนเอกสารอ้างอิง

[1] อำนาจ มีมงคล และ อรรณพ ขันธิกุล, ออกแบบและติดตั้งระบบ Wireless LAN 2nd Edition, ไอดีซี พรีเมียร์ จำกัด, นนทบุรี, 2553.
[2] T. Macaulay, Hardening IEEE 802.11 Wireless Networks, [Online]. Available: http://www.ewa-canada.com/Papers/Hardening_802.11.pdf, February 2002.
[3] อนุโชต วุฒิพรพงษ์ และ จตุชัย แพงจันทร์, เจาะระบบ Network ฉบับสมบูรณ์, ไอดีซี อินโฟ ดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์ จำกัด, นนทบุรี, 2546.
[4] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, Packet Sniffer, [Online]. Available: http://student.sut.ac.th/b4909446/comsec/sec2_pg4.htm, มิถุนายน 2552.
[5] เว็บไซต์เพื่อการศึกษาวิชาเครือข่ายคอมพิวเตอร์เบื้องต้น, โปรโตคอล, [Online]. Available: http://www.kruchanpen.com/network/protocal.htm, ตุลาคม 2550.
[6] Introduction to the WinPcap Networking Libraries, The Code Project, [Online]. Available: http://www.codeproject.com/KB/IP/winpcap_basic.aspx, 18 Oct 2008.
[7] A Packet Capture Framework for .NET, The Code Project, [Online]. Available: http://www.codeproject.com/KB/IP/sharppcap.aspx, 28 Jan 2010.

การจัดการจราจรข้อมูลบนโครงข่ายไอพี โดยการกำหนดค่าน้ำหนักเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
Traffic Engineering in IP Network by Using Genetic Algorithm for Weight Setting

ณัฐกุล หาญกิตติกาญจนา[1] และ กายรัฐ เจริญราษฎร์[2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
[1]zillnu_t@hotmail.com, [2]kairat.j@ku.ac.th

บทคัดย่อ

โครงข่ายอินเตอร์เน็ต หรือที่เรียกว่าโครงข่าย IP นั้น ในปัจจุบันนี้มีบทบาทสำคัญมากขึ้น ด้วยมีความต้องการที่จะเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์หลายเครื่องเข้าถึงกัน เพื่อเพิ่มความสามารถของระบบให้สูงขึ้นและลดต้นทุนของระบบโดยรวม ซึ่งโปรโตคอลชี้เส้นทางบนโครงข่ายไอพีในปัจจุบันที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด คือ Open Shortest Path First (OSPF) แต่เนื่องจากการที่เครือข่ายโอเอสพีเอฟใช้ Dijkstra 's Algorithm ในการค้นหาเส้นทางด้วยตัวเอง จึงทำให้การจัดเส้นทางให้แก่การไหลของข้อมูลไม่ตรงกับความต้องการในการใช้งานเครือข่ายนั้นๆ จึงประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยอาศัยการเลือกสรรทางธรรมชาติ การจับคู่ การกลายพันธุ์ เพื่อหาค่าน้ำหนักที่ดีของเส้นทางในเครือข่ายที่ต้องการ โดยวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถหาค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าค่าประสิทธิภาพเริ่มต้นได้ในช่วงโหนดดีกรีไม่เกิน 2.0 หรือเส้นทางไม่เกิน 2 เท่าของจำนวนโหนด และให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าโดยเฉลี่ย 10.92245 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม การตั้งค่าน้ำหนัก เครือข่ายโอเอสพีเอฟ

Abstract

IP Network becomes more important role because the computers need to be connected each other to enhance the system performance and reduce overall system cost. The Routing Protocol that is the most widely used is Open Shortest Path First (OSPF), because OSPF use Dijkstra's Algorithm to find its link. Therefore routing of traffic flow does not get together with the traffic requirement of such system. The Genetic Algorithms is applying through Natural Selection, Mating and Mutation to determine weight of link in the appropriate network. The problem of the experiment is solved by The Genetic Algorithms. From such method, the utilization is better than the result of the default method especially in a network that is not more than 2.0 Node degree (Link is not more than 2 times of amount of Node) with the average of the better utilization equal to 10.92245%.

Keyword: Genetic Algorithms, Weight Setting, OSPF Network

1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมีบทบาทสำคัญมากขึ้น เพราะการใช้งานคอมพิวเตอร์โดยเชื่อมต่อกันเป็นระบบเครือข่ายสามารถเพิ่มความสามารถของระบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและลดต้นทุนของระบบโดยรวมลง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ชี้เส้นทางของข้อมูลเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายภายในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้คือเราเตอร์ โดยเราเตอร์มีกลวิธีในการชี้เส้นทางหรือโปรโตคอลชี้เส้นทางหลากหลาย ที่ในปัจจุบันที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด คือ Open Shortest Path First (OSPF) [1] เนื่องจากมีจุดเด่นในหลายด้าน เช่น การใช้ Dijkstra's Algorithm ในการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดด้วยตัวเอง การรับรู้ถึงความเปลี่ยนแปลงในรูปแบบการเชื่อมต่อ หรือการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางในระบบเครือข่ายได้อย่างรวดเร็ว เป็นต้น แต่เนื่องจากการที่เครือข่ายโอเอสพีเอฟใช้ Dijkstra's Algorithm ในการค้นหาเส้นทาง ผู้ดูแลระบบเครือข่ายจะต้องทำการกำหนดค่าน้ำหนัก (Weight) ให้กับแต่ละเส้นทาง เพื่อใช้ในการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องมีการหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมให้แก่เส้นทางต่างๆ ภายในเครือข่ายนั้นๆ ซึ่งการหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับทุกเส้นทางในเครือข่ายเป็นปัญหาที่ยากและซับซ้อนในระดับ NP-Hard [2] ซึ่งการแก้ปัญหาด้วยวิธีคำนวณทางคณิตศาสตร์ เช่น การหาค่าน้ำหนักเส้นทางด้วยโปรแกรมเชิงเส้น [3] จะใช้เวลานานมากในการแก้ปัญหา ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำกระบวนการขั้นตอนทางพันธุกรรมมาใช้แก้ปัญหา เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับทุกเส้นทางในเครือข่ายด้วยเวลาการประมวลผลที่ไม่นานจนเกินไป

2. เทคนิคและวิธีการ

การวิจัยเรื่องการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการตั้งค่าน้ำหนักให้แก่เครือข่ายโอเอสพีเอฟ ผู้พัฒนาได้ศึกษาหลักการของทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานได้โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1. Open Shortest Path First

โอเอสพีเอฟเป็นโปรโตคอลชี้เส้นทางตัวหนึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดในระบบเครือข่าย เนื่องจากมีจุดเด่นในหลายด้าน เช่น การที่เป็นโปรโตคอลที่เส้นทางแบบโปรโตคอลการค้นหาเส้นทางสถานะแต่ละอินเตอร์เฟส (Link State) การที่มีอัลกอริทึมในการค้นหาเส้นทางได้ด้วยตัวเอง ในการคำนวณเส้นทางของโอเอสพีเอฟจะใช้ Dijkstra 's Algorithm ในการคำนวณเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยปกติแล้วเราเตอร์จะใช้ค่าน้ำหนักของเส้นทาง Cost) เป็นส่วนกลับแบนด์วิธของเส้นทางดังสมการ [4]

$$cost = \frac{10^8}{Link\ Bandwidth}$$

โดย *Link Bandwidth* คือค่าความเร็วสูงสุดที่รับได้ของช่องสัญญาณ ดังนั้นค่าน้ำหนักของเส้นทางก็คือส่วนกลับของ *Link Bandwidth* นั่นเอง

2.2. Dijkstra's Algorithm

เป็นหลักการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ ที่อาศัยรูปภาพเป็นตัวแทนของปัญหาซึ่งรูปภาพเหล่านี้เรียกว่าเครือข่าย (Network) หรือ กราฟ (Graph) ซึ่งเครือข่ายนี้ประกอบไปด้วย เซ็ตของวงกลมที่เรียกว่า โหนด (Node) เชื่อมโยงด้วยเส้นที่เรียกว่า อาร์ก (Arc) ซึ่งมีระยะทางเป็นตัวกำหนด

ในการนำเครือข่ายไปใช้ส่วนมากจะให้โหนดแทน Router สำหรับอาร์กจะนำไปใช้เป็นตัวแทนของ สิ่งเชื่อมระหว่างโหนดต่างๆ ในบางครั้งบนอาร์กจะมีตัวเลขที่แสดงถึงระยะทางที่ใช้เดินทางระหว่างโหนด หรือ ระยะเวลาที่ใช้ระหว่างโหนด หรือ ค่าใช้จ่ายบนเส้นทางนั้นๆ เรียกว่า ค่า Weight

ขั้นตอนการทำงานของ อัลกอริทึม Dijkstra [5]

1. เรียกโหนดว่า v เราจะอ้างถึงฟังก์ชั่น d(v) และ p(v) ในตอนเริ่ม ทุกโหนด จะมีค่า d(v) = Infinity และ p(v) = 0
2. สำหรับที่เชื่อมระหว่างโหนด i และ j เราจะเรียกว่า arc (i, j) ส่วนระยะทางระหว่างโหนด i และ j เราจะเรียกว่า weight (i, j)
3. เราจะแบ่งกลุ่มของโหนดเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม โหนดสีดำ และ กลุ่ม โหนดสีขาว ในตอนเริ่มต้นทุกโหนดจะมีสีขาว
4. เลือกโหนดเริ่มต้น จากกลุ่มสีขาว สมมุติว่าเป็นโหนด k และ ให้ d (k) = 0

5. (ขั้นเลือกโหนดระบายสีดำ) เลือกโหนด j จากกลุ่มสีขาว โดยที่มีค่า d(j) น้อยที่สุดในกลุ่มสีขาว ระบายสีดำใส่โหนด j และ arc(j, pred(j))

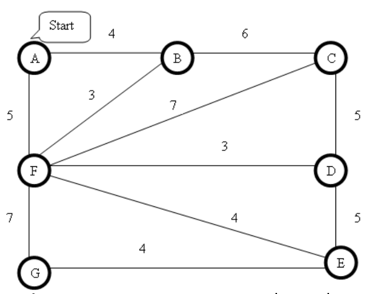
6. (ขั้นปรับปรุงระยะทาง) พิจารณาทุกอาร์กที่มีปลายหนึ่งติดกับโหนดที่มีสีดำ และ อีกปลายหนึ่งยังไม่มีสีดำสมมุติว่าเป็น arc(i,j) เราจะได้โหนด j เป็นโหนดที่ติดกับโหนด i โหนด i สีดำ และ โหนด j สีขาว

ถ้า d(i) + weight(i, j) < d(j) เราก็จะเปลี่ยนค่าของ d(j) โดยให้ d(j) = d(i) + weight(i, j) และ p(j) = i

7. กลับไปที่ทำขั้นที่ 5. และ 6. จนกระทั่ง ทุกโหนดมีสีดำ

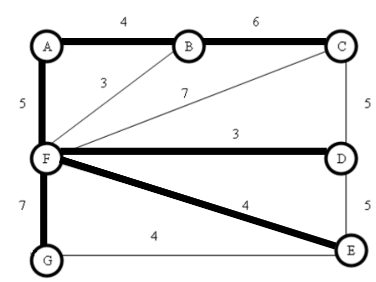
คำอธิบาย

1. ฟังก์ชั่น d(v) คือฟังก์ชั่นที่จะแสดงระยะทางที่สั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้นถึง โหนด v
2. ฟังก์ชั่น p(v) คือ การจัดเก็บของเส้นทางการเดินทาง ของแต่ละโหนดที่ผ่านมา
3. ฟังก์ชั่น weight(i,j) คือการจัดเก็บระยะทางของเส้นทาง
4. โหนดสีดำ สามารถมองไปยังโหนดถัดไปที่เชื่อมต่อกัน
5. Infinity คือ เป็นค่าเริ่มต้นของ d(v)



ภาพที่ 1: แสดงตัวอย่างเครือข่าย เริ่มต้นที่ A

สรุปเส้นทางจากโหนด A



ภาพที่ 2: แสดงสรุปเส้นทางจากโหนด A

ตารางที่ 1: สรุปการคำนวณของ อัลกอริทึมของ Dijkstra เริ่มต้นที่ A

โหนด	d(v)	p(v)
A	0	0
B	4	A
C	10	B
D	8	F
E	9	F
F	5	A
G	12	F

2.3. Genetic Algorithm [6], [7]

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นเทคนิคสำหรับค้นหาคำตอบโดยประมาณของปัญหา โดยอาศัยหลักการจากทฤษฎีวิวัฒนาการจากชีววิทยาและ การคัดเลือกตามธรรมชาตินั่นคือ สิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมที่สุดจึงจะอยู่รอด กระบวนการคัดเลือกได้เปลี่ยนแปลงสิ่งมีชีวิตให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ด้วยตัวปฏิบัติการทางพันธุกรรม เช่น การสืบพันธุ์ , การกลายพันธุ์, การแลกเปลี่ยนยีน

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อแก้ปัญหาหาค่าเหมาะที่สุด โดยการแทนคำตอบที่มีอยู่ให้อยู่ในลักษณะ โครโมโซม แล้วปรับปรุงคำตอบแต่ละชุด ด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวิวัฒนาการ การเปลี่ยนแปลงยีนแบบสุ่ม ด้วยตัวปฏิบัติการทางพันธุกรรม เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น โดยทั่วไปจะแทนคำตอบด้วยเลขฐานสอง (สายอักขระของเลข 0และ1) การวิวัฒน์เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด จะเริ่มจากประชากรที่ได้จากการสุ่มทั้งหมดและจะทำเป็นรุ่น ๆ ในแต่ละรุ่นคำตอบหลายชุดจะถูกสุ่มเลือกขึ้นมาเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการกลายพันธุ์ หรือสับเปลี่ยนยีนระหว่างกัน จนได้ประชากรรุ่นใหม่ที่มีค่าความเหมาะสมมากขึ้น การวิวัฒน์นี้จะทำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมตามต้องการ

2.3.1 การคัดเลือก (Selection)

กระบวนการคัดเลือกเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด หมายถึงเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาในแต่ละรุ่นของจำนวนโครโมโซมทั้งหมด กล่าวคือจำนวนโครโมโซมของปัญหาเราจะกำหนดเป็นชั่วรุ่น(Generation) แล้วจะมีการเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นเพื่อกำเนิดโครโมโซมในรุ่นต่อๆไป โดยเทคนิคของการคัดเลือกที่นิยมใช้ ได้แก่ Roulette Wheel Selection

Roulette Wheel Selection เป็นเทคนิคการคัดเลือกที่ง่ายที่สุด ซึ่งเทคนิคนี้สามารถนำมาเปรียบเทียบได้กับวงล้อ Roulette ที่มีช่อง Slot ซึ่งมีขนาดไม่เท่ากัน โดยช่อง Slot ที่มีขนาดใหญ่จะเทียบได้กับโอกาสของโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากและสามารถถูกเลือกไปสู่รุ่นถัดไปได้มากในขณะที่ช่อง Slot ที่มีขนาดเล็กจะเทียบได้กับโอกาสของโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยและจะถูกเลือกไปสู่รุ่นถัดไปได้น้อย ซึ่งขนาด Slot ของวงล้อ Roulette แต่ละช่องจะหาได้จากอัตราส่วนของค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัวกับค่าความเหมาะสมรวมของโครโมโซมทุกตัว ในการคัดเลือกจะทำการกำหนดจุดคงที่หนึ่งจุดแล้วหมุนวงล้อ Rouletteโดยการสุ่ม เมื่อวงล้อ Roulette หยุดที่จุดใด โครโมโซมที่ถูกแทนโดย Slot ช่องนั้นจะถูกคัดเลือกไปเป็นโครโมโซมของประชากรรุ่นต่อไป จากนั้นจะทำการหมุนวงล้อโดยการสุ่มต่อไปเพื่อคัดเลือกโครโมโซมจนครบตามจำนวนประชากรที่ต้องการ แต่วงล้อ Roulette ต้องถูกหมุนโดยการสุ่มอย่างแท้จริง

2.3.2 การแลกเปลี่ยนยีน (Crossing-over)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการคำนวณโดยใช้วิธีการทางพันธุกรรมเพื่อเปลี่ยนแปลงโครโมโซมที่ผ่านกระบวนการคัดเลือกมาแล้ว โดยวิธีการทางพันธุกรรมชนิดหนึ่งคือ การแลกเปลี่ยนยีน (Crossing-over) ซึ่งกระบวนการนี้จะเริ่มต้นด้วยการสุ่มเลือกโครโมโซมมาคู่หนึ่งจากโครโมโซมที่ผ่านกระบวนการคัดเลือก (Selection) มาแล้วโครโมโซมคู่นี้จะเรียกว่าโครโมโซมพ่อแม่ (Parent Individuals) และจากนั้นจะทำการแลกเปลี่ยนยีนกันระหว่างโครโมโซมพ่อแม่เกิดเป็นโครโมโซมลูกมาสองตัว แต่โดยทั่วไปแล้วการแลกเปลี่ยนยีนจะไม่ได้เกิดขึ้นกับทุกโครโมโซมพ่อแม่ที่ถูกเลือกมา ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการเกิดการแลกเปลี่ยนยีน โดยทั่วไปแล้วมักจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 0.9 โดยหากไม่เกิดการแลกเปลี่ยนยีน จะทำให้โครโมโซมลูกที่ได้มีลักษณะเหมือนโครโมโซมพ่อแม่ทุกประการ เทคนิคของการแลกเปลี่ยนยีน ที่ใช้กันมากคือ n-Point Crossing-over

n-Point Crossing-over เป็นเทคนิคการแลกเปลี่ยนยีน (Crossing-over) ชนิดนี้เกิดขึ้นได้โดยการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างโครโมโซมรุ่นลูกที่จับคู่กัน โดยที่การแลกเปลี่ยนยีนนี้จะเกิดขึ้นทางด้านใดด้านหนึ่งของจุดกำหนดแล้วสลับกันไปตามจุดของการแลกเปลี่ยนยีน โดยจำนวนจุดของการแลกเปลี่ยนยีน n จุดนี้จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1

2.3.3 การกลายพันธุ์ (Mutation)

บริเวณที่เกิดการกลายพันธุ์(Mutation) ของโครโมโซมโดย Allele ของยีนที่ตำแหน่งนี้จะถูกเปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ซึ่งการเกิดการกลายพันธุ์ (Mutation) นี้จะไม่ได้เกิดขึ้นในทุกตำแหน่ง ของยีนบนโครโมโซม แต่จะเกิดได้จากความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.1 เราจะเห็นได้ว่าเมื่อเทียบความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีนที่มีค่า อยู่ในช่วง 0.7 ถึง 0.9 กับ ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.1 แล้วการแลกเปลี่ยนยีน (Crossing-over) จะเป็นตัวดำเนินการหลักที่มีผลอย่างมากต่อการคำนวณของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ส่วนการกลายพันธุ์ (Mutation) แม้จะมีโอกาสในการเกิดน้อยกว่าจึงทำให้มีผลต่อการคำนวณน้อย แต่ก็เป็นตัวดำเนินการหนึ่งที่อาจจะสร้างโครโมโซมที่มีความเหมาะสมกว่าประชากรรุ่นพ่อแม่ได้ [8]

2.4. การวิเคราะห์การไหลของข้อมูล

การวิเคราะห์การไหลของข้อมูลเป็นการนำความต้องการเชิงสมรรถนะของการประยุกต์ใช้เครือข่าย มาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลตำแหน่งของอุปกรณ์ในเครือข่าย อุปกรณ์แม่ข่ายและสถานีปลายทาง การไหลของข้อมูลถือเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญมากในการออกแบบระบบเครือข่าย เพราะการไหลของข้อมูลใช้แสดงถึงภาระที่เครือข่ายจะต้องรองรับ การไหลของข้อมูลถือเป็นข้อมูลสำคัญที่ระบุทิศทางของข้อมูลพร้อมกับคุณสมบัติเชิงสมรรถนะของการไหล ในการวิเคราะห์ระบบเพื่อการออกแบบเครือข่ายจะใช้การไหลเป็นตัวแทนความต้องการในการใช้งานเครือข่ายของโปรแกรมหรือการส่งผ่านข้อมูลแต่ละชนิด [9]

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบโครโมโซมด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์

การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เพื่อให้มีความสามารถในการค้นหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย จำนวนของคัดเลือกทางธรรมชาติ (%S) , จำนวนจุดของการไขว้เปลี่ยนโครโมโซม (nC) และการกลายพันธุ์ การทดลองจะทำโดยการปรับค่าพารามิเตอร์ของการคัดเลือกทางธรรมชาติ , การไขว้เปลี่ยนโครโมโซม และการกลายพันธุ์ โดยมีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

(1) %S คือ จำนวนของคัดเลือกทางธรรมชาติ เพื่อให้ได้ชุดของค่าน้ำหนักที่ดีไปใช้ในขั้นตอนเลือกชุดของค่าน้ำหนัก 1 คู่ (Selection) ด้วยกระบวนการวงล้อรูเลท (Roulette Wheel Selection) ซึ่งในการทดลองนี้ทดลองปรับค่า %S เป็น 5% , 10%

(2) nC คือ จำนวนจุดของการไขว้เปลี่ยนโครโมโซม (1-5 จุด) เพราะจำนวนจุดของการไขว้เปลี่ยนโครโมโซมจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1

(3) มีขั้นการกลายพันธุ์ กับ ไม่มีขั้นการกลายพันธุ์ เพื่อเปรียบเทียบว่าการกลายพันธุ์มีผลต่อประสิทธิภาพของชุดคำตอบอย่างไร

ดังแสดงรายละเอียดการปรับค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2: ชุดของการปรับค่าพารามิเตอร์

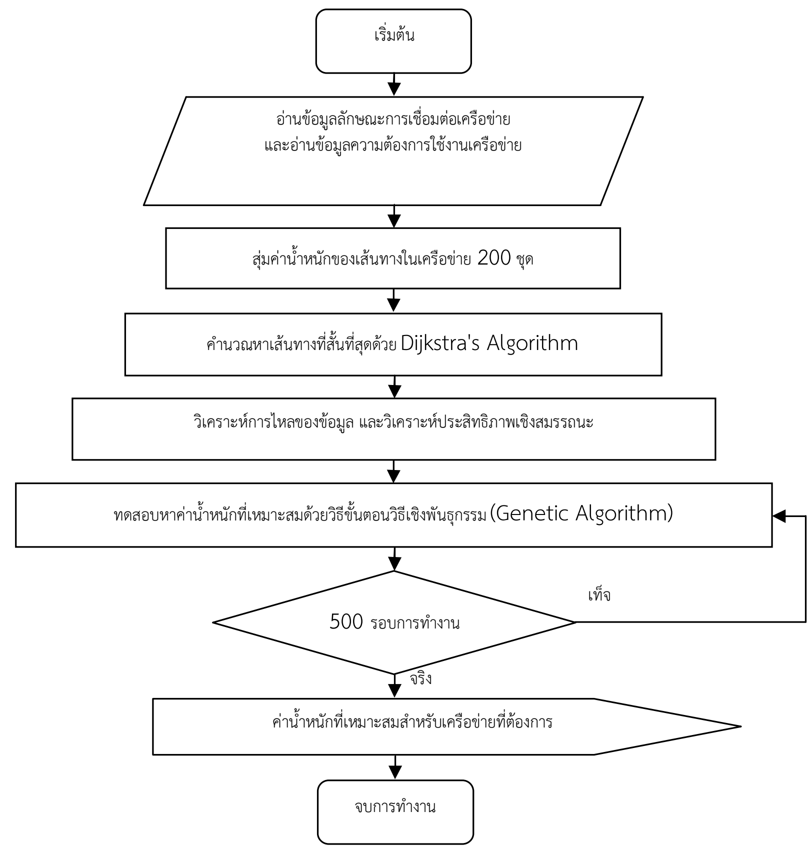
ชุดที่	%S	nC	Mutation	ชุดที่	%S	nC	Mutation
1	5	1	มี	11	5	1	ไม่มี
2	5	2	มี	12	5	2	ไม่มี
3	5	3	มี	13	5	3	ไม่มี
4	5	4	มี	14	5	4	ไม่มี
5	5	5	มี	15	5	5	ไม่มี
6	10	1	มี	16	10	1	ไม่มี
7	10	2	มี	17	10	2	ไม่มี
8	10	3	มี	18	10	3	ไม่มี
9	10	4	มี	19	10	4	ไม่มี
10	10	5	มี	20	10	5	ไม่มี

3.2 การออกแบบการทดลอง

ผู้วิจัยทำการทดสอบกับเครือข่ายขนาด 10 โหนด โดยกำหนดปริมาณข้อมูลที่ต้องการแลกเปลี่ยนในแต่ละคู่โหนดด้วยขนาด 500 Mbps, 600 Mbps, 700 Mbps ส่วนที่เครือข่ายขนาด 25 โหนด กำหนดปริมาณข้อมูลขนาด 50 Mbps, 100 Mbps, 150 Mbps และสำหรับเครือข่ายขนาด 50 โหนด กำหนดปริมาณข้อมูลขนาด 25 Mbps, 50 Mbps, 75 Mbps นอกจากนี้ยังทำการทดลองที่แปรผันค่าโหนดดีกรีของเครือข่ายตั้งแต่ 1.2 ถึง 2.0

การทดสอบการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยการสุ่มค่าน้ำหนักของเส้นทางในเครือข่ายจำนวน 200 ชุด แล้วนำมาวิเคราะห์การไหลของข้อมูล และวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงสมรรถนะ ขั้นตอนต่อมาจะทำการทดสอบค่าน้ำหนักด้วยขั้นตอนวิธีเชิง

พันธุกรรม โดยจะทำการทดสอบ 500รอบการทำงาน ซึ่งแต่ละรอบการทำงาน จะทำการคัดเลือกทางธรรมชาติจากค่าประสิทธิภาพเชิงสมรรถนะที่ดี แล้วเลือกสรรโครโมโซม 1 คู่ มาทำการไขว้เปลี่ยน และการกลายพันธุ์ เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นจะทำการเลือกชุดของค่าน้ำหนักที่มีค่าประสิทธิภาพเชิงสมรรถนะที่ดีที่สุด ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3: ผังงานระบบ

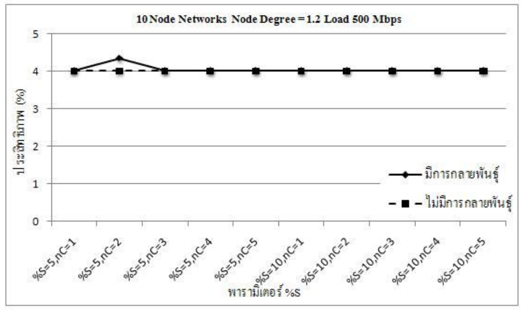
หลังจากทำการทดลองโดยแปรผันค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 2 แล้ว จึงจะนำผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา

4. ผลการศึกษา

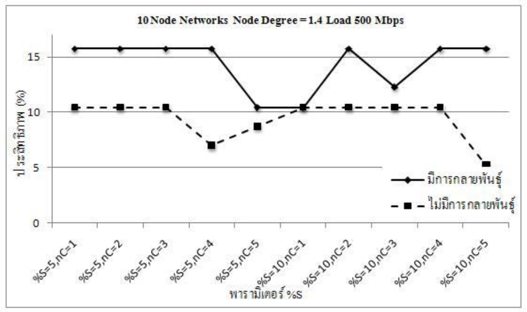
ผู้วิจัยวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายที่ได้จากการทดลอง โดยพิจารณาจากปริมาณข้อมูลสูงสุดที่ไหลผ่านเส้นทางในเครือข่าย (Max.U.) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความคับคั่งของทั้งเครือข่าย

4.1. การวิเคราะห์ขั้นการกลายพันธุ์ (Mutation)

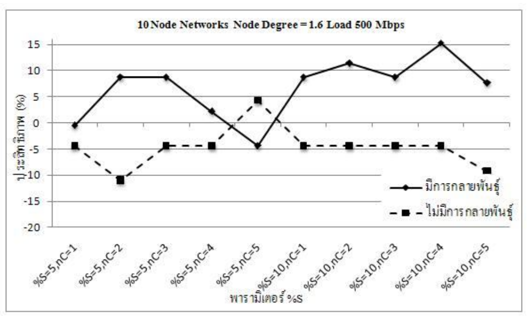
ผู้วิจัยนำผลประสิทธิภาพการปรับค่าพารามิเตอร์ต่อเครือข่ายแบบต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อ 3.2 โดยแสดงเป็นแผนภูมิกรณีตัวอย่างของเครือข่ายที่มีจำนวน 10 โหนด ดังภาพที่ 4 ถึง 8



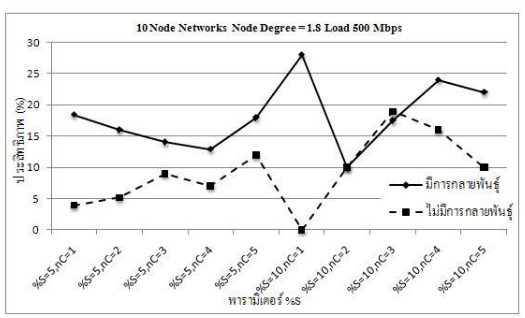
ภาพที่ 4: แผนภูมิแสดงร้อยละประสิทธิภาพที่ดีกว่าจากการปรับพารามิเตอร์ %S จากเครือข่ายขนาด 10 โหนด โหนดดีกรีเท่ากับ 1.2 ที่ มีการกลายพันธุ์ กับ ไม่มีการกลายพันธุ์ ด้วยปริมาณข้อมูล 500 Mbps



ภาพที่ 5: แผนภูมิแสดงร้อยละประสิทธิภาพที่ดีกว่าจากการปรับพารามิเตอร์ %S จากเครือข่ายขนาด 10 โหนด โหนดดีกรีเท่ากับ 1.4 ที่ มีการกลายพันธุ์ กับ ไม่มีการกลายพันธุ์ ด้วยปริมาณข้อมูล 500 Mbps

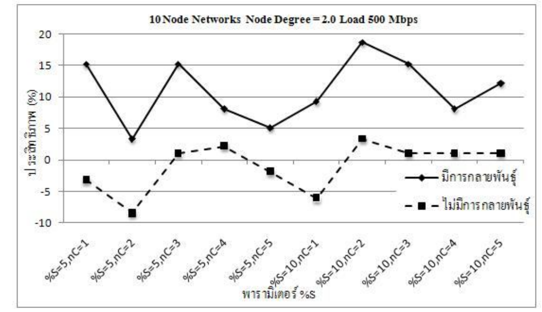


ภาพที่ 6: แผนภูมิแสดงร้อยละประสิทธิภาพที่ดีกว่าจากการปรับพารามิเตอร์ %S จากเครือข่ายขนาด 10 โหนด โหนดดีกรีเท่ากับ 1.6 ที่ มีการกลายพันธุ์ กับ ไม่มีการกลายพันธุ์ ด้วยปริมาณข้อมูล 500 Mbps



The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

ภาพที่ 7: แผนภูมิแสดงร้อยละประสิทธิภาพที่ดีกว่าจากการปรับพารามิเตอร์ %S จากเครือข่ายขนาด 10 โหนด โหนดดีกรีเท่ากับ 1.8 ที่ มีการกลายพันธุ์ กับ ไม่มีการกลายพันธุ์ ด้วยปริมาณข้อมูล 500 Mbps

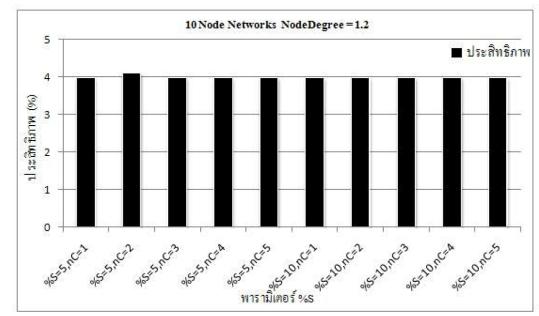


ภาพที่ 8: แผนภูมิแสดงร้อยละประสิทธิภาพที่ดีกว่าจากการปรับพารามิเตอร์ %S จากเครือข่ายขนาด 10 โหนด โหนดดีกรีเท่ากับ 2.0 ที่ มีการกลายพันธุ์ กับ ไม่มีการกลายพันธุ์ ด้วยปริมาณข้อมูล 500 Mbps

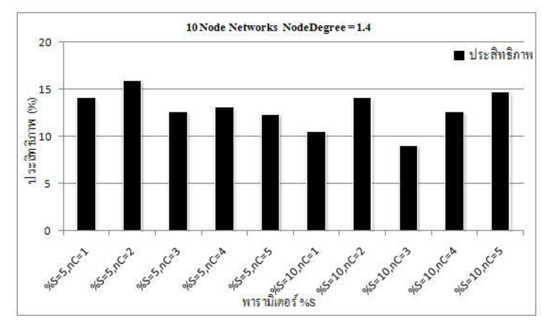
ส่วนการทดสอบด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมกรณีที่ มีการกลายพันธุ์ กับ ไม่มีการกลายพันธุ์ ของเครือข่ายขนาด 10 โหนด ผลการทดสอบนั้นพบว่ากรณีของการกลายพันธุ์นั้นจะให้ชุดของคำตอบที่ดีกว่า

4.2 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ %S และ nC

จากผลการทดลองในกรณีของเครือข่าย 10 โหนด สามารถนำมาพลอตเป็นแผนภูมิเพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ %S และ nC ได้ดังภาพที่ 9 ถึง 13 โดยแยกตามโหนดดีกรี 1.2 1.4 1.6 1.8 และ 2.0 ตามลำดับ

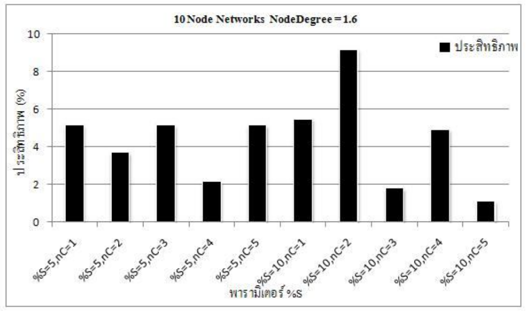


ภาพที่ 9: แผนภูมิประสิทธิภาพที่ดีกว่าจากการปรับค่าพารามิเตอร์ %S จากเครือข่ายขนาด 10 โหนด ที่โหนดดีกรี 1.2

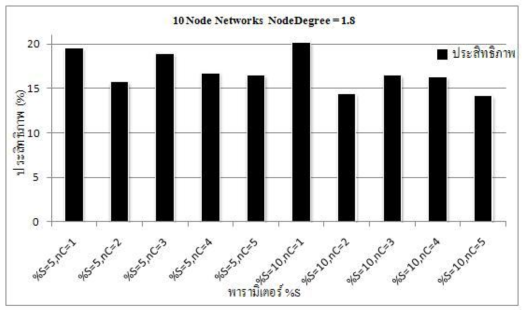


ภาพที่ 10: แผนภูมิประสิทธิภาพที่ดีกว่าจากการปรับค่าพารามิเตอร์ %S จากเครือข่ายขนาด 10 โหนด ที่โหนดดีกรี 1.4

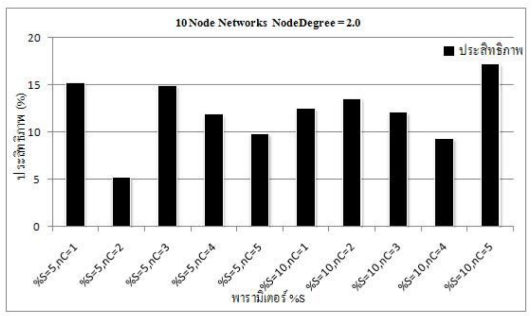
“75 ปีจากโรงเรียนสตรีฝึกหัดครูสู่มหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืนและการเตรียมพร้อมสู่ประชาคมอาเซียน”



ภาพที่ 11: แผนภูมิประสิทธิภาพที่ดีกว่าจากการปรับค่าพารามิเตอร์ %S จากเครือข่ายขนาด 10 โหนด ที่โหนดดีกรี 1.6



ภาพที่ 12: แผนภูมิประสิทธิภาพที่ดีกว่าจากการปรับค่าพารามิเตอร์ %S จากเครือข่ายขนาด 10 โหนด ที่โหนดดีกรี 1.8



ภาพที่ 13: แผนภูมิประสิทธิภาพที่ดีกว่าจากการปรับค่าพารามิเตอร์ %S จากเครือข่ายขนาด 10 โหนด ที่โหนดดีกรี 2.0

จากแผนภูมิ ในภาพที่ 9 – 13 ผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ %S และ nC พบว่าค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าโดยเฉลี่ยจากการทดสอบมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงค่าระหว่าง 3.975409836 ถึง 16.82377049 เปอร์เซ็นต์ และค่าพารามิเตอร์ที่ %S = 10 และ nC = 2 ส่วนใหญ่จะให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีในการทดสอบ ทั้งนี้ทั้งนั้นสำหรับกรณีเครือข่ายขนาด 25 โหนดและ 50 โหนดก็มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน

5. วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

การทดสอบการตั้งค่าน้ำหนักให้แก่เครือข่ายโอเอสพีเอฟด้วยการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนี้ เริ่มโดยการสุ่มค่าน้ำหนักของเส้นทางในเครือข่ายจำนวน 200 ชุด แล้วนำมาวิเคราะห์การไหลของข้อมูล และประสิทธิภาพเชิงสมรรถนะ ต่อมาจึงทำการทดสอบค่าน้ำหนักด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยจะทำการทดสอบ 500 รอบการทำงาน ซึ่งแต่ละรอบการทำงาน จะทำการคัดเลือกทางธรรมชาติจากค่าประสิทธิภาพเชิงสมรรถนะที่ดี แล้วเลือกสรรโครโมโซม 1 คู่ มาทำการไขว้เปลี่ยน และการกลายพันธุ์

เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นจะทำการเลือกชุดของค่าน้ำหนักที่มีค่าประสิทธิภาพเชิงสมรรถนะที่ดีที่สุด โดยทำการทดสอบด้วยการปรับพารามิเตอร์ %S และ nC เพื่อทดสอบที่โหนดดีกรีต่างๆ จากเครือข่ายขนาด 10 โหนด 25 โหนด และ 50 โหนด เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นจะนำผลการทดสอบจากทุกๆ เงื่อนไขการทดสอบมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ %S และ nC ที่ทำให้ได้ชุดของค่าน้ำหนักที่เหมาะสมกับเครือข่ายที่ต้องการ และวิเคราะห์หาช่วงของโหนดดีกรีที่สามารถทำให้การทดสอบได้ค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าประสิทธิภาพเริ่มต้น

ค่าประสิทธิภาพที่ดีกว่าจากการทดสอบมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงค่าระหว่าง -5.02227171 ถึง 99.84130094 เปอร์เซ็นต์ ค่าประสิทธิภาพที่มากที่สุดจากการทดสอบมีค่าที่มากที่สุดอยู่ระหว่าง -1.11358575 ถึง 99.86285266 เปอร์เซ็นต์ และค่าประสิทธิภาพที่น้อยที่สุดจากการทดสอบมีค่าที่น้อยที่สุดอยู่ระหว่าง -8.79732739 ถึง 99.82366771ส่วนมากของเงื่อนไขการทดสอบ ส่วนมากค่าพารามิเตอร์ที่ %S = 10 และ nC = 2 ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดี และขั้นการกลายพันธุ์ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพดีขึ้น

การหาค่าน้ำหนักของเส้นทางในเครือข่ายด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมนี้มีข้อดีเหมือนการใช้วิธีแก้ปัญหาด้วยเมตา-ฮิวริสติกทั่วๆไป คือสามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ด้วยเวลาที่ไม่นานนัก แต่อาจมีข้อเสียที่คำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดเหมือนแก้ปัญหาด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ แต่ถึงกระนั้น คำตอบที่ได้ก็ถือว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สามารถรับได้ หากปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้เหมาะสม

ในอนาคตเพื่อให้ผลการทดสอบมีค่าประสิทธิภาพดีมากขึ้น ผู้วิจัยจะทดลองด้วยการเพิ่มการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ให้เพิ่มมากขึ้น และปรับจำนวนรอบการทำงานให้มากขึ้น หรือทำการทดสอบค่าน้ำหนักดังกล่าวด้วยอัลกอริทึมอื่นๆ เช่น Ant Colony Algorithm เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] เว็บไซต์, “THAI ComPuter Engineer. (2552). Open Shortest Path First (OSPF)”, แหล่งที่มา: http://thaicpe.com/index.php?topic=760.0

[2] Fortz, B. and Thorup. M. “Internet Traffic Engineering by Optimizing OSPF Weights.” Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM). Tel-Aviv, Israel: IEEE, 2000.

[3] พิสิษฐ์ ชาญเกียรติก้อง, กายรัฐ เจริญราษฎร์ , “A DESIGN ALGORITHM FOR IP NETWORK WITH ECMP”, การประชุมทางวิชาการ NCIT2008 ครั้งที่ 2 (2nd National Conference on Information Technology 2008) เรื่อง “ การวิจัยเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการพัฒนาประเทศที่ยั่งยืน ”, 6–7 พฤศจิกายน 2551 ณ โรงแรมแกรนด์ เมอร์เคียว ฟอร์จูน กรุงเทพฯ

[4] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร. (2549). “Open Shortest Path First (OSPF) ตอนที่1 (CCNA)”, แหล่งที่มา: http://www.msit.mut.ac.th/newweb/phpfile/show.php?Qid=883prommast.org/pdf/OSPF.pdf

[5] เว็บไซต์, ดร. ชวลิต จีนอนันต์. (2545). “Network Optimization (Dijkstra's algorithm)”, แหล่งที่มา: http://www.vcharkarn.com/varticle/1124

[6] เว็บไซต์, แนวคิดทางพันธุศาสตร์. (2553), “Genetic Algorithm (GA)”, แหล่งที่มา: http://www.no-poor.com/JavaandAi/bookAI/Week9GeneticAlgorithm(Conts).pdf

[7] เว็บไซต์, อนันตพร ศรีสวัสดิ์ (2553), “Chapter 8 Genetic Algorithms”, แหล่งที่มา: http://www.kmitl.ac.th/~ksananta/Chapter8.pdf, 1 มีนาคม 2555

[8] เว็บไซต์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2553). “บทที่3 ทฤษฎีอัลกอริทึมทางพันธุศาสตร์”, แหล่งที่มา: http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2065/7/293246_ch3.pdf

[9] พิสิษฐ์ ชาญเกียรติก้อง (2550), “การออกแบบโครงข่ายคอมพิวเตอร์”, บริษัท เอเชียดิจิตอล การพิมพ์ จำกัด กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต.

การนำเสนอผลงานแบบบรรยาย

กลุ่มวิศวกรรมโทรคมนาคม ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ (EE)

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

เทคนิคการลดความซับซ้อนของการลดผลกระทบจากความขรุขระเชิงความร้อนในช่องสัญญาณผลตอบสนองบางส่วนแบบเข้ารหัส
Reduced-Complexity Iterative TA Suppression for Coded Partial Response Channels

สันติ กูลการขาย[1] และปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์[2]
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[1]santi@npru.ac.th, [2]piya@npru.ac.th

บทคัดย่อ

เทคนิคการลดผลกระทบจากความขรุขระเชิงความร้อน (TA: thermal asperity) ร่วมกับอีควอไลเซชันแบบเทอร์โบที่ไม่ได้ลดความซับซ้อนนั้น ทนทานต่อผลกระทบของ TA ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่อัตรากำลังสัญญาณต่อกำลังของสัญญาณรบกวน (SNR: signal-to-noise ratio) ต่ำ โดยทั่วไปแล้วที่ภาครับจะประกอบด้วย การลดผลกระทบจาก TA และอีควอไลเซอร์แบบเทอร์โบ นั้นจะมีความซับซ้อนสูงในรูปแบบของตัวดำเนินการคูณและการบวก บทความนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการลดความซับซ้อนของวิธีการลดผลกระทบจาก TA แบบวนซ้ำ เพื่อให้เหมาะกับการนำไปใช้ในงานประยุกต์จริงมากยิ่งขึ้น จากผลการทดลองพบว่าเทคนิคการลดความซับซ้อนที่นำเสนอให้สมรรถนะใกล้เคียงกับแบบที่ยังไม่ได้ลดความซับซ้อนในรูปแบบอัตราข้อผิดพลาดบิต (BER: bit-error rate)

คำสำคัญ: ความขรุขระเชิงความร้อน, การถอดรหัสแบบวนซ้ำ, การบันทึกเชิงแม่เหล็กแบบแนวตั้ง

Abstract

A full-complexity iterative TA suppression method, which performs TA suppression and turbo equalization jointly to combat the effects of thermal asperities (TAs) in disk drives operating at low signal-to-noise ratio. Although it outperforms the conventional receiver with separate TA suppression and turbo equalization, its complexity is high. This paper proposes a reduced-complexity (i.e., multiplication and addition operator) iterative TA suppression method to make it more implementable in real-life applications. Simulation results indicate that for low to moderate complexity, the reduced-complexity scheme provides bit-error rate (BER) performance similar to the conventional scheme (with full complexity).

Keyword: Thermal asperity, Iterative decoding, Perpendicular magnetic recording

1. บทนำ

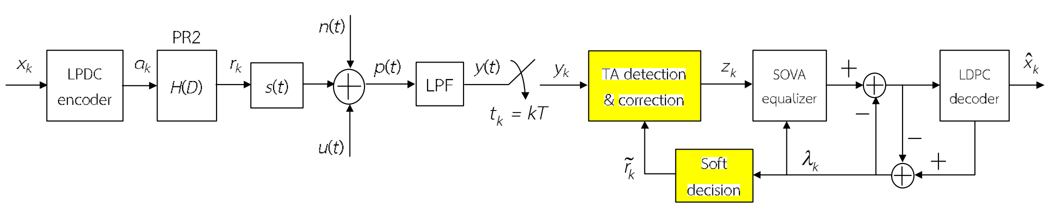
การบันทึกของฮาร์ดดิกส์ไดรฟ์ความจุสูงหัวอ่านแบบ MR (magneto-resistive) ถูกใช้ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux) ณ บริเวณที่มีการเปลี่ยนสถานะของสนามแม่เหล็กของบิตข้อมูลที่ถูกเขียนลงบนสื่อบันทึก ส่งผลทำให้ได้พัลส์เปลี่ยนสถานะ (pulse transition) ออกมาที่ขาออกของหัวอ่าน เมื่อหัวอ่านชนเข้ากลับความขรุขระ (asperity) หรือสิ่งสกปรก

ที่ฝังลงบนสื่อบันทึกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ (transient voltage) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะนี้เรียกว่า "สัญญาณ TA (thermal asperity signal)" [1] มาผสมกลับสัญญาณอ่านกลับ (readback signal) ส่งผลให้เส้นเชื่อมฐาน (baseline) ของสัญญาณอ่านกลับเปลี่ยนไปตามรูปร่างของสัญญาณ TA (ปกติเส้นเชื่อมฐานของสัญญาณอ่านกลับจะมีค่าเท่ากับค่าศูนย์)

ลักษณะของสัญญาณ TA เป็นสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ โดยจะมีช่วงเวลาเพิ่มระดับที่สั้นประมาณ 50-160 นาโนวินาที, แอมพลิจูดสูงสุด 2-3 เท่าของสัญญาณอ่านกลับ และช่วงเวลาลดระดับเป็นแบบเอ็กซ์โพแนนเชียล (exponential) 1-5 ไมโครวินาที ซึ่งการบันทึกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความจุสูง ระยะห่างระหว่างหัวอ่านกลับสื่อบันทึกจะน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร ส่งผลให้โอกาสที่หัวอ่านจะชนเข้ากับความขรุขระบนสื่อบันทึกมีมากขึ้น ดังนั้นถ้าหากไม่มีการลดผลกระทบจาก TA จะก่อให้เกิดข้อผิดพลาดจำนวนมากในระบบหรือทำให้เกิดข้อมูลที่ผิดพลาดจำนวนมากในหนึ่งเซ็กเตอร์ (sector) โดยทั่วไปแล้วข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจาก TA จะมีจำนวนมากจนเกินขีดความสามารถของการตรวจหาและแก้ไขข้อผิดพลาด (ECC: error-correction code)

งานวิจัยเกี่ยวที่ข้องกับเทคนิคการตรวจหาและแก้ไข TA ในปัจจุบันนั้นมีหลากหลายแบบดังต่อไปนี้ เนื่องจากสัญญาณ TA เป็นสาเหตุที่ทำให้เส้นเชื่อมฐานของสัญญาณอ่านกลับเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น [3] ได้นำเสนอเทคนิคการตรวจหา TA โดยใช้หลักการของการหาขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold-based approach) โดยจะใช้การเปลี่ยนเทียบระหว่างสัญญาณอ่านกับและค่าเฉลี่ยของสัญญาณอ่านกลับ สำหรับเทคนิคการแก้ไข TA เมื่อมีการตรวจพบ TA จะนำสัญญาณอ่านกลับไปผ่านวงจรกรองผ่านสูง (HPF: highpass filter) สำหรับ [4] ได้นำเสนอเทคนิคการลดผลกระทบจาก TA กับช่องสัญญาณการบันทึกแนวนอน PR4 โดยนำสัญญาณอ่านกลับไปผ่านวงจรกรองผ่านสูงคือ (1-*D*) เมื่อ *D* คือตัวดำเนินการหน่วงเวลา (delay operator) พบว่าทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้นมาก แต่พบว่ายังมีปัญหาที่เกิดจากการสหสัมพันธ์ของสัญญาณรบกวน (noise correlation) ณ ขาออกของวงจรกรอง (1-*D*) ดังนั้น [5] จึงได้แก้ไขด้วยการใช้วงจรทำนายสัญญาณรบกวน (noise predictor) อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่เหมาะสมกับช่องสัญญาณการบันทึกแบบแนวตั้งเพราะว่าสัญญาณส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของความถี่ต่ำ สำหรับการตรวจหาและแก้ไข TA สำหรับช่องสัญญาณการบันทึกแบบแนวตั้ง [6] ได้นำเสนอเทคนิคการใช้วงจรกรองผ่านสูงร่วมกับวงจรกรองผ่านต่ำ (LPF: lowpass filter) โดยที่ [7] ได้นำเสนอเทคนิคการตรวจหา TA โดยการหาเส้นเชื่อมฐานจากค่าเฉลี่ยของสัญญาณอ่านกลับร่วมหลักการของการหาขีดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการแก้ไข TA นั้นจะนำค่าเฉลี่ยของสัญญาณอ่านกลับมาหักออกจากสัญญาณอ่านกลับ และ [8] ได้นำเสนอเทคนิคการประมาณค่าสัญญาณ TA ด้วยเทคนิคการการปรับเส้นโค้งที่เหมาะสมจากค่าเฉลี่ยของสัญญาณอ่านกลับก่อนที่จะนำสัญญาณที่ได้มาหักออกจากสัญญาณอ่านกลับและ [2] ได้นำเทคนิคนี้ไปใช้ร่วมกับระบบการถอดรหัสแบบวนซ้ำ โดยอาศัยข้อมูลแบบซอฟต์ (soft information) เข้ามาช่วยในการตรวจหาและแก้ไข TA ซึ่งในบทความนี้จะทำการลดความซับซ้อนของเทคนิคที่นำเสนอโดย Kovinthavewat and Koonkarnkhai [2] ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบทำงานได้ดีขึ้นมากที่อัตรากำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวนต่ำ โดยจะทำการลดความซับซ้อนในรูปแบบของตัวดำเนินการคูณและการบวก

หลังจากอธิบายความเป็นมาของ TA และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการตรวจหาและแก้ไข TA แล้ว บทความนี้จะเริ่มต้นจากหัวข้อที่ 2 ซึ่งจะอธิบายแบบจำลองช่องสัญญาณการบันทึกเชิงแม่เหล็ก, หัวข้อที่ 3 อธิบายเทคนิคการตรวจหาและแก้ไข TA, หัวข้อที่ 4 แสดงเทคนิคการตรวจหาและแก้ไข TA ร่วมกับการถอดรหัสแบบวนซ้ำ, หัวข้อที่ 5 อธิบายการลดความซับซ้อนของการตรวจหาและแก้ไข TA, หัวข้อที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ความซับซ้อนของระบบ, หัวข้อที่ 7 อธิบายผลการจำลองระบบ, และหัวข้อที่ 8 สรุปเนื้อหาทั้งหมดของบทความนี้



ภาพที่ 1: แบบจำลองช่องสัญญาณ PR2 ร่วมกับการลดผลกระทบจาก TA แบบวนซ้ำ

2. แบบจำลองช่องสัญญาณ

พิจารณาแบบจำลองระบบช่องสัญญาณรหัส PR2 (PR: partial response) ในภาพที่ 1 เมื่อลำดับข้อมูลอินพุต $x_k \in \{0, 1\}$ ที่มีคาบบิต (bit period) เท่ากับ T ถูกเข้ารหัสแก้ไขข้อผิดพลาดด้วยรหัสแอลดีพีซี (LDPC: low-density parity-check) [9] ทำให้ได้

$a_k \in \{-1, 1\}$ และถูกป้อนเข้าช่องสัญญาณ PR2 เมื่อ $H(D) = \sum_{i=0}^{v} h_i D^i = 1 + 2D + D^2$ เมื่อ h_i คือสัมประสิทธิ์ลำดับที่ i ของช่องสัญญาณ และ v คือหน่วยความจำของช่องสัญญาณ โดยสัญญาณอ่านกลับ $p(t)$ สามารถเขียนได้เป็น

$$p(t) = \sum_k r_k s(t - kT) + n(t) + u(t), \tag{1}$$

เมื่อ $r_k = a_k * h_k$, * คือตัวดำเนินการคอนโวลูชัน (convolution operator), $s(t) = \sin(\pi t/T)/(\pi t/T)$ คือฟังก์ชันซิงก์ (sinc function) หรือสัญญาณพัลส์ไนควิสต์ (Nyquist pulse) ที่มีแบนด์วิดท์เกินเป็นศูนย์ (zero-excess-bandwidth), $n(t)$ คือสัญญาณรบกวนเกาส์สีขาวแบบบวก (AWGN: additive white Gaussian noise) ที่มีความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังแบบสองด้านเท่ากับ $N_0/2$ และ $u(t)$ คือสัญญาณ TA

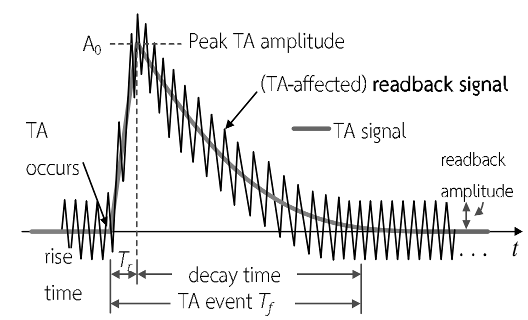
โดยทั่วไปสัญญาณ TA ที่นิยมใช้ในการจำลองระบบแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับสัญญาณที่ได้จากหัวอ่านแบบ MR ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ มีค่าเท่ากับ [7]

$$u(t) = \begin{cases} A_0 t / T_r, & 0 \le t \le T_r \\ A_0 \exp\left(-(t - T_r) / T_d\right), & T_r < t \le T_f \end{cases} \tag{2}$$

เมื่อ $A_0 = \beta \sum_k |h_k|$ คือแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณ TA โดยที่ $\beta \ge 0$ คือตัวประกอบการคูณของค่าสูงสุด (peak-factor), T_r คือช่วงเวลาเพิ่มระดับ (rise time), T_d ค่าคงที่การลดระดับ (decay constant) และ T_f คือช่วงเวลาทั้งหมดของสัญญาณ TA ซึ่งมีค่าเท่ากับ $T_f = T_r + 4T_d$ โดยที่ $4T_d$ เพียงพอที่จะทำให้แอมพลิจูดลดลงเหลือ 1.8% ของแอมพลิจูดสูงสุด

ณ ภาครับสัญญาณอ่านกลับ $p(t)$ ถูกส่งผ่านเข้าไปยังวงจรกรองผ่านต่ำแบบอุดมคติ โดยมีผลตอบสนองอิมพัลส์ (impulse response) $s(t)/T$ เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนนอกแถบความถี่ใช้งาน และถูกชักตัวอย่างด้วยอัตรา 500 เมกะบิตต่อวินาที [7] โดยสมมติว่า กระบวนการชักตัวอย่างมีการประสานเวลาอย่างสมบูรณ์ (perfect synchronization) ทำให้ได้ลำดับข้อมูล y_k และส่งเข้าไปยังวงจรตรวจหาและแก้ไข TA ทำให้ได้ลำดับข้อมูล z_k ที่ได้ทำการแก้ไขผลกระทบจาก TA

สำหรับระบบที่มีการถอดรหัสแบบวนซ้ำแบบทั่วไป เมื่อทำการลดผลกระทบจาก TA แล้ว สัญญาณจะถูกส่งเข้าไปยังอีควอไลเซอร์แบบเทอร์โบ (turbo equalizer) ซึ่งจะมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างวงจรตรวจหา SOVA (soft-output Viterbi algorithm) [10] กลับวงจรถอดรหัส LDPC และจะทำการส่งข่าวสารแบบซอฟต์ $\{\lambda_k\}$ กลับไปยังวงจรตรวจหา SOVA อีกครั้ง ตามจำนวนรอบของการวนซ้ำที่กำหนดไว้ ซึ่งจะไม่มีการใช้ประโยชน์จากข่าวสารแบบซอฟต์ในการลดผลกระทบจาก TA



ภาพที่ 2: แบบจำลองสัญญาณ TA

3. เทคนิคการตรวจหาและแก้ไข TA

สำหรับเทคนิคการตรวจหาและแก้ไข TA แบบทั่วไป จะหมายถึงเทคนิคที่ได้นำเสนอใน [8] ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้พัฒนามาจาก [7] จากภาพที่ 1 ในบล็อกของ TA detection/correction เริ่มจากลำดับข้อมูล $\{y_k\}$ ของสัญญาณอ่านกลับจะถูกส่งเข้าไปหาเส้นเชื่อมฐานโดยวิธีการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณอ่านกลับ $\{q_k\}$ จาก

$$q_k = \frac{1}{L} \sum_{i=k-\alpha}^{k+\alpha} y_i \tag{3}$$

เมื่อ y_i คือสัญญาณอ่านกลับลำดับที่ i, L คือความกว้างของหน้าต่างที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยเป็นจำนวนเต็มเลขคี่ และ $\alpha = (L-1)/2$ ในกระบวนการของการตรวจหา TA การหาขีดเริ่มเปลี่ยนของสัญญาณ $\{q_k\}$ โดยจะมีการตรวจพบ TA เมื่อ $q_k \geq m$ สำหรับในกระบวนการแก้ไขจะใช้การประมาณค่าสัญญาณ TA ด้วยเทคนิคการปรับเส้นโค้งที่เหมาะสมคือในช่วงเพิ่มระดับจะใช้เทคนิคการประเส้นโค้งที่เหมาะสมด้วยสมการเชิงเส้นและในช่วงลดระดับจะใช้เทคนิคการปรับเส้นโค้งที่เหมาะสมด้วยสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล (exponential) [8]

การประมาณค่าสัญญาณ TA ในช่วงเพิ่มระดับจะทำการเก็บแซมเปิลข้อมูลของค่าเฉลี่ยของสัญญาณอ่านกลับ $\{q_k\}$ ตั้งแต่มีการตรวจพบสัญญาณ TA ไปจนถึงตำแหน่งที่สัญญาณ $\{q_j\}$ เมื่อ j คือตำแหน่งที่ $\{q_k\}$ มีค่าสูงสุด โดยสมการที่ใช้การประมาณค่าสัญญาณช่วงเป็นแบบเชิงเส้นคือ

$$\hat{u}_r(t) = at + b \tag{4}$$

เมื่อ $\hat{u}_r(t)$ คือค่าประมาณของช่วงเวลาเพิ่มระดับ, a และ b คือสัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้นที่เป็นตัวเลขจำนวนจริงที่ได้จาก

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} t_i^2 & \sum_{i=1}^{n} t_i \\ \sum_{i=1}^{n} t_i & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} t_i q_i \\ \sum_{i=1}^{n} q_i \end{bmatrix} \tag{5}$$

เมื่อ q_i คือค่าเฉลี่ยของสัญญาณอ่านกลับลำดับที่ i, t_i คือเวลาที่สอดคล้องกับค่าของ q_i และ n คือจำนวนแซมเปิลที่ใช้ในการประมาณค่าสัญญาณ TA ในช่วงเวลาเพิ่มระดับ

สำหรับการประมาณค่าสัญญาณ TA ในช่วงเวลาระดับจะให้เทคนิคการปรับเส้นโค้งที่เหมาะสมด้วยสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งจะทำการเก็บแซมเปิลข้อมูล $\{q_k\}$ ตั้งแต่ $\{q_j\}$ มีค่าเท่ากับค่าสูงสุดจนถึง $\{q_{j+4Td}\}$ ซึ่งจะมีรูปแบบสมการที่ใช้ในการปรับเส้นโค้งที่เหมาะสมเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลคือ

$$\hat{u}_d(t) = A\exp(Bt) \tag{6}$$

เมื่อ $\hat{u}_d(t)$ คือสัญญาณ TA ในช่วงเวลาลดระดับที่ได้จากการประมาณค่า, A และ B คือสัมประสิทธิ์ของสมการเอ็กซ์โพเนนเชียลที่เป็นตัวเลขจำนวนจริง โดยที่สัมประสิทธิ์ A หาได้จาก $A = \exp(z)$ เมื่อ

$$z = \frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i^2 q_i)\sum_{i=1}^{n}(q_i \ln q_i) - \sum_{i=1}^{n}(t_i q_i)\sum_{i=1}^{n}(t_i q_i \ln q_i)}{\sum_{i=1}^{n}(q_i)\sum_{i=1}^{n}(t_i^2 q_i) - (\sum_{i=1}^{n}(t_i^2 q_i))^2} \tag{7}$$

และสัมประสิทธิ์ B หาได้จาก

$$B = \frac{\sum_{i=1}^{n}(q_i)\sum_{i=1}^{n}(t_i q_i \ln q_i) - \sum_{i=1}^{n}(t_i q_i)\sum_{i=1}^{n}(q_i \ln q_i)}{\sum_{i=1}^{n}(q_i)\sum_{i=1}^{n}(t_i^2 q_i) - (\sum_{i=1}^{n}(t_i^2 q_i))^2} \tag{8}$$

เมื่อ ln(.) คือฟังก์ชันลอการิทึมฐานธรรมชาติ (natural logarithm function), q_i คือค่าเฉลี่ยของสัญญาณอ่านกลับลำดับที่ i, t_i คือเวลาที่สอดคล้องกับค่าของ q_i และ n คือจำนวนแซมเปิลทั้งหมดที่ใช้ในการประมาณค่าสัญญาณ TA ในช่วงเวลาลดระดับ

เมื่อมีการประมาณค่าสัญญาณ TA ทั้งสองช่วงเสร็จสิ้นแล้วจะนำมารวมกันเพื่อให้ได้ค่าประมาณของสัญญาณ TA นั่นคือ

$$\hat{u}(t) = \begin{cases} \hat{u}_r(t) & T_y \leq t \leq \hat{T}_p \\ \hat{u}_d(t) & \hat{T}_p < t \leq \hat{T}_f \end{cases} \tag{9}$$

เมื่อ T_y คือเวลาที่มีการตรวจพบ TA, $\hat{T}_p$ คือเวลาที่ $\{q_k\}$ มีค่าสูงสุด และ $\hat{T}_f$ คือระยะเวลาของสัญญาณ TA ที่ได้จากการประมาณค่าหลังจากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้จากการประมาณค่าสัญญาณมาหักออกจากสัญญาณอ่านกลับ

$$z_k = \begin{cases} y_k - \hat{u}_k & \text{if TA is present} \\ y_k & \text{if TA is absent} \end{cases} \tag{10}$$

เมื่อ z_k คือสัญญาณอ่านกลับที่ลดผลกระทบจาก TA, $\hat{u}_k = \hat{u}(kT)$ คือสัญญาณ TA ที่ได้จากการประมาณค่าและหลังจากการลดผลกระทบจาก TA จะทำให้ได้ลำดับข้อมูล z_k จะถูกเข้าไปยังอีควอไลเซอร์แบบเทอร์โบ

4. การลดผลกระทบจาก TA ร่วมกับอีควอไลเซชันแบบเทอร์โบ

การทำงานร่วมกันระหว่างการลดผลกระทบจาก TA และอีควอไลเซชันแบบเทอร์โบ เริ่มจากรอบแรกของการวนซ้ำจะเหมือนกับวงจรภาครับที่ใช้กันทั่วไป คือสัญญาณ ณ ขาออกของวงจรชักตัวอย่าง $\{y_k\}$ จะถูกส่งเข้าไปยังวงจรตรวจหาและแก้ไข TA ในหัวข้อที่ 3 ทำให้ได้เป็นลำดับข้อมูล $\{z_k\}$ และถูกส่งต่อไปยังวงจรตรวจหา SOVA ซึ่งจะมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างวงจรตรวจหา SOVA กับการถอดรหัส LDPC หลังจากที่มีการวนซ้ำรอบแรกสิ้นสุดแล้วจะทำให้ได้ข่าวสารแบบซอฟต์ $\{\lambda_k\}$ เพื่อนำไปใช้ในการหาค่าประมาณแบบซอฟต์ของลำดับข้อมูล $\{r_k\}$ [9] นั่นคือ $\{\tilde{r}_k\}$ โดยที่ $\tilde{r}_k = E[r_k|\lambda_k]$ เมื่อ $E[.]$ คือตัวดำเนินการคาดหมาย (expectation operator) สามารถเขียนใหม่ได้

$$\tilde{r}_k = \frac{A+B+C}{2\cosh(\lambda_k/2)\cosh(\lambda_{k-1}/2)\cosh(\lambda_{k-2}/2)} \tag{11}$$

เมื่อ $A = 2\sinh((\lambda_k + \lambda_{k-1} + \lambda_{k-2})/2)$, $B = \sinh((\lambda_k + \lambda_{k-1} - \lambda_{k-2})/2)$, และ $C = \sinh((-\lambda_k + \lambda_{k-1} + \lambda_{k-2})/2)$ โดยรายละเอียดการคำนวณดูได้จากภาคผนวก ก ซึ่งในการวนซ้ำรอบที่สองขึ้นไปจะนำลำดับข้อมูล $\{\tilde{r}_k\}$ ไปหักล้างออกจากสัญญาณอ่านกลับ $\{y_k\}$ ทำให้ได้ $c_k = y_k - \tilde{r}_k$ นั่นคือถ้า $\{\tilde{r}_k\}$ มีค่าเท่ากับ $\{r_k\}$ จะทำให้ $\{c_k\}$ เหลือเพียงสัญญาณรบกวนและสัญญาณ TA เท่านั้น และจะส่งลำดับข้อมูล c_k เข้ากระบวนการตรวจหาและแก้ไข TA ใหม่อีกครั้ง ซึ่งทำให้เทคนิคการประมาณค่าสัญญาณ TA ด้วยเทคนิคการปรับเส้นโค้งที่เหมาะสมในแต่ละรอบของการวนซ้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น [2] ส่งผลทำให้อัตราข้อผิดพลาดของบิตลดลงไปด้วย

5. การลดความซับซ้อนของการตรวจหาและแก้ไข TA

การลดความซับซ้อนของการตรวจหาและแก้ไข TA ทำได้โดยการลดจำนวนตัวดำเนินการบวกและตัวดำเนินการคูณที่ใช้ในการประมาณค่าสัญญาณ TA ด้วยเทคนิคการปรับเส้นโค้ง เพื่อไม่ให้การลดความซับซ้อนมีผลกระทบต่อการตรวจหา TA และง่ายต่อการพิจารณาความซับซ้อนของแต่ละวิธี โดยจะทำการลดความซับซ้อนในการประมาณค่าสัญญาณ TA เฉพาะช่วงเวลาลดระดับเท่านั้น ซึ่งเทคนิคการลดความซับซ้อนของการประมาณค่าสัญญาณ TA มีดังต่อไปนี้

- วิธีที่ 1 ในการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณอ่านกลับ $\{q_k\}$ ที่ใช้ในการประมาณค่าสัญญาณ TA ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลทุกๆแซมเปิล ดังนั้นวิธีการลดความซับซ้อนวิธีนี้จะทำการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณอ่านกลับทุกๆ r แซมเปิล นั่นคือจะหาค่าเฉพาะตำแหน่งที่ $\{q_{ir}\}$ โดยที่ $r > 1$ และเป็นจำนวนเต็มบวก โดยจะเรียกประสิทธิภาพของวิธีการลดความซับซ้อนนี้ว่า "M1"
- วิธีที่ 2 เนื่องจากสัมประสิทธิ์ A และ B ในสมการที่ (7) - (8) ต้องใช้ลำดับข้อมูล $\{q_k\}$ เป็นจำนวน $4T_d$ แซมเปิลในการประมาณค่าสัญญาณ TA ช่วงเวลาลดระดับ ดังนั้นเทคนิคการลดความซับซ้อนวิธีนี้จะลดความซับซ้อนโดยใช้จำนวนแซมเปิลของ $\{q_k\}$ น้อยกว่า $4T_d$ นั่นคือจะใช้จำนวนแซมเปิลเป็นร้อยละ x ของ $4T_d$ โดยจะเรียกประสิทธิภาพของวิธีนี้ว่า "M2"
- วิธีที่ 3 จะหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณอ่านกลับทุกๆ r แซมเปิล เมื่อ $r > 1$ และใช้ความยาวของข้อมูลน้อยกว่า $4T_d$ ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ (7) - (8) นั่นคือเป็นการนำวิธีการลดความซับซ้อนของ M1 และ M2 มาใช้ร่วมกันซึ่งจะเรียกประสิทธิภาพของวิธีนี้ว่า "M3"

6. การวิเคราะห์ความซับซ้อน

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนความซับซ้อนของแต่ละโมดูลที่แสดงในภาพที่ 1 ในรูปแบบของตัวดำเนินการคูณและการบวก เมื่อ P คือความยาวของข้อมูล r_k, $Q = 2^v$ เมื่อ v คือหน่วยความจำของทาร์เก็ต (target), δ คือความลึกของการถอดรหัส (decoding depth), N_{in} คือจำนวนรอบการถอดรหัสภายใน LDPC, R คืออัตราการเข้ารหัส, K คือพารามิเตอร์สำหรับ LDPC, T_d คือช่วงเวลาลดระดับ, T_r คือช่วงเวลาเพิ่มระดับ, T_f คือความยาวทั้งหมดของ TA, r คือพารามิเตอร์สำหรับการลดความซับซ้อนของ

M1, x คือพารามิเตอร์สำหรับการลดความซับซ้อนของ M2, C = 0 เมื่อ N = 1 และ C = 1 เมื่อ N >1 โดยที่ N คือจำนวนรอบในการวนซ้ำภายนอก

ตารางที่ 1: จำนวนตัวดำเนินการต่อ 1 บิต ของแต่ละโมดูล

Module	จำนวนตัวดำเนินการ	
	การบวก	การคูณ
SOVA	$7Q + (\delta^2 + 9\delta+9)/2+1$	$6Q + 1$
Data exchange	2	0
Soft decision	8	9
LDPC	$(1+ (K - 1)(1 - R))N_{in} + 1$	$(1 - R)N_{in}$
TA suppression method (M0)	$(L-1) + (14T_d+5T_r+T_f - 11)/P + C$	$1 + \{18T_d + 2T_r + 11\}/P$
M1	$(L-1) + \{14T_d/r + 5T_r + T_f - 11\}/P + C$	$1 + \{18T_d/r + 2T_r + 11\}/P$
M2	$(L-1) + \{14xT_d/100 + 5T_r + T_f - 11\}/P + C$	$1 + \{18xT_d/100 + 2T_r + 11\}/P$
M3	$(L-1) + \{14xT_d/(100r) + 5T_r + T_f - 11\}/P + C$	$1 + \{18xT_d/(100r) + 2T_r + 11\}/P$

ตารางที่ 2: ความซับซ้อนโดยรวมของระบบในการลดผลกระทบจาก TA แต่ละวิธีต่อ 1 บิต

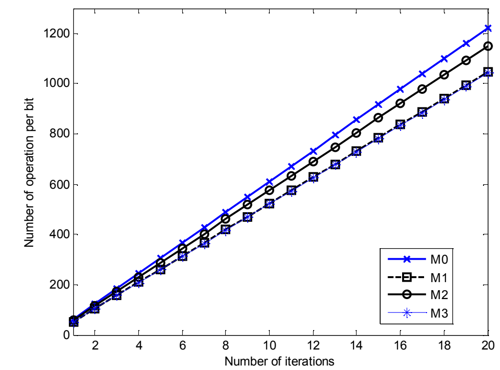
เทคนิคการลดผลกระทบ TA	จำนวนตัวดำเนินการ	
	ตัวดำเนินการบวก	ตัวดำเนินการคูณ
M0	$(283.7+C)N$	$39.74N$
M1	$(280.88+C)N$	$35.9N$
M2	$(283.19+C)N$	$39.74N$
M3	$(280.79+C)N$	$35.79N$

6.1 การวิเคราะห์ความซับซ้อนของการลดผลกระทบจาก TA

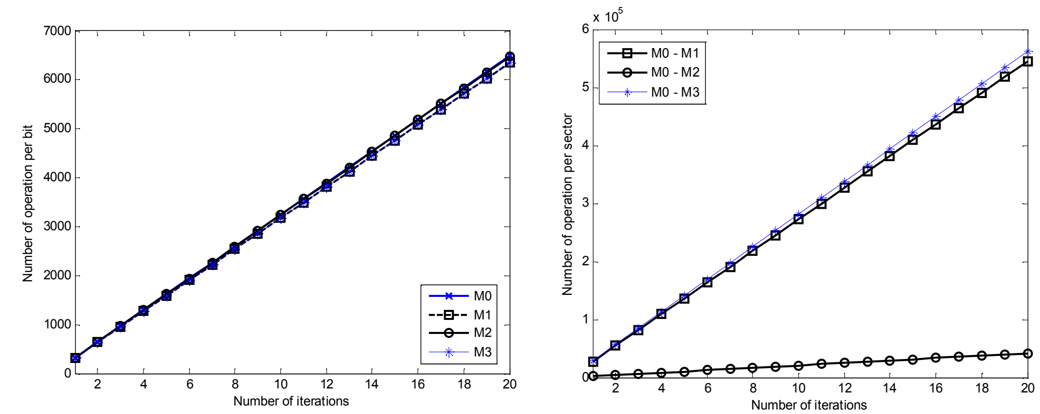
การวิเคราะห์ความซับซ้อนของการลดผลกระทบจาก TA จะนับตัวดำเนินการเฉพาะอัลกอริทึมการลดผลกระทบจาก TA ในแต่ละรอบ ตารางที่ 2 แสดงความซับซ้อนโดยรวมของระบบในการลดผลกระทบจาก TA สำหรับแต่ละวิธีที่ใช้ในการคำนวณเอาต์พุต 1 บิต เมื่อกำหนดให้ L = 51; T_d = 1000 บิต, T_r = 30 บิต, T_f =1030 บิต, P = 4096 บิต และพารามิเตอร์สำหรับลดความซับซ้อนใน M1, M2 และ M3 คือ r = 8 และ x = 80 [11] ภาพที่ 3 แสดงความซับซ้อนของเทคนิคต่างๆ ในแต่ละรอบของการวนซ้ำ พบว่า M3 มีความซับซ้อนน้อยสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบอื่นๆ

6.2 การวิเคราะห์ความซับซ้อนโดยรวมของระบบ

สำหรับช่องสัญญาณ PR2 ความซับซ้อนโดยรวมของระบบในแต่ละรอบของการถอดรหัสแบบการวนซ้ำสำหรับการลดผลกระทบจาก TA นั้น ในตารางที่ 2 เป็นตัวดำเนินการต่อการคำนวณบิตเอาต์พุต 1 บิต เมื่อ M0 คือเทคนิคการลดผลกระทบ TA ที่ไม่มีการลดความซับซ้อน, P = 4097 บิต, Q = 4, δ = 15, N_{in} = 3, R = 8/9, K = 9, T_d = 1000 บิต, T_r = 30 บิต, T_f =1030 บิต, r = 8 และ x = 80 และภาพที่ 4 (ก) แสดงจำนวนตัวดำเนินการโดยรวมของระบบสำหรับเทคนิคการลดผลกระทบจาก TA แบบต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณเอาต์พุต 1 บิต พบว่าการลดความซับซ้อนของวงจรตรวจหาและแก้ไข TA นั้นลดลงน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความซับซ้อนโดยรวมของทั้งระบบ (วงจรตรวจหา SOVA และวงจร LDPC) ที่จำนวนการวนซ้ำภายนอก 1 ถึง 20 รอบ นอกจากนี้ภาพที่ 4 (ข) แสดงความแตกต่างของจำนวนตัวดำเนินการระหว่างระบบที่ไม่มีการลดความซับซ้อน (M0) กับระบบที่มีการลดความซับซ้อน (M1, M2 และ M3) ที่ใช้ในการคำนวณเอาต์พุต 1 เซ็กเตอร์ (ในที่นี้ 1 เซ็กเตอร์มีข้อมูล 4095 บิต) พบว่าสามารถลดการใช้ตัวดำเนินการได้เป็นจำนวนมาก และภาพที่ 4 (ข) ยังแสดงให้ทราบว่าเทคนิคการลดความซับซ้อน M3 ใช้ตัวดำเนินการน้อยสุด รองลงมาคือ M1 และ M2 ตามลำดับ



ภาพที่ 3: เปรียบเทียบจำนวนตัวดำเนินการของการลดผลกระทบจาก TA แต่ละวิธี



(ก) (ข)

ภาพที่ 4: (ก) เปรียบเทียบความซับซ้อนโดยรวมของระบบของแต่ละวิธี และ (ข) เปรียบเทียบผลต่างของจำนวนตัวดำเนินการระหว่างแบบที่ไม่ลดความซับซ้อนกับแบบที่มีการลดความซับซ้อนวิธีต่างๆ

7. ผลการทดลอง

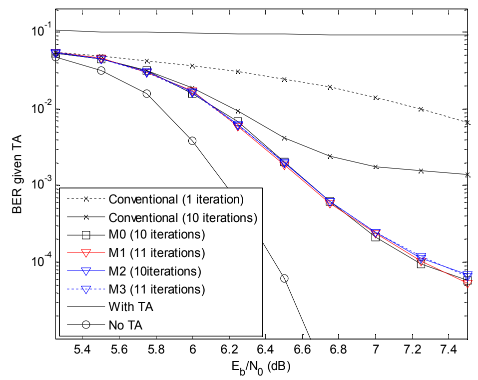
ในการจำลองระบบจะพิจารณาช่องสัญญาณการบันทึก PR2 โดยที่ลำดับข้อมูลอินพุต $\{x_k\}$ จำนวน 3640 บิต ถูกเข้ารหัส LDPC แบบ (3, 27) ด้วยอัตรารหัสเท่ากับ 8/9 [9] ที่ขาออกของวงจรเข้ารหัสจะทำให้ลำดับข้อมูล $\{a_k\}$ มีจำนวนเท่ากับ 4095 บิต โดยที่เมทริกซ์ตรวจสอบพาริตี (parity check matrix) ในแต่ละแนวตั้งจะมีจำนวนเลข 1 อยู่ 3 ตัว และในแต่ละแถวจะมีจำนวนเลข 1 อยู่ 27 ตัว โดยที่การถอดรหัส LDPC จะดำเนินการบนพื้นฐานของ message-passing algorithm จะมีการวนซ้ำภายใน 3 รอบ

นอกจากนี้จะกำหนดให้หนึ่งเซ็กเตอร์มีข้อมูลเท่ากับ 4095 บิต และมีผลกระทบจาก TA เกิดขึ้นที่ ณ ตำแหน่งบิตที่ 1000T ของทุกๆ เซ็กเตอร์ โดยสัญญาณ TA จะมีลักษณะคือ β = 2, T_r = 60 นาโนวินาที, และ T_d = 0.5 ไมโครวินาที ซึ่งทำให้ได้จำนวนแซมเปิลทั้งหมดของสัญญาณ TA เท่ากับ T_f = 1030T ซึ่งถือว่าเป็นกรณีที่ด้อยสุด (worst case) โดยในกรณีนี้ถ้าหากไม่มีการลดผลกระทบจาก TA จะทำให้เกิดข้อมูลที่ผิดพลาดจำนวนมากในหนึ่งเซ็กเตอร์ ในการคำนวณค่าอัตราข้อผิดพลาดของบิตจะอยู่บนพื้นฐานของข้อมูล 10000 เซ็กเตอร์และมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นอย่างน้อย 1000 บิต ซึ่งจะเรียกว่า "BER given TA" สำหรับช่องสัญญาณ PR2 ในกระบวนการตรวจหา TA จะใช้ L = 51 และ m = 2.8 [2]

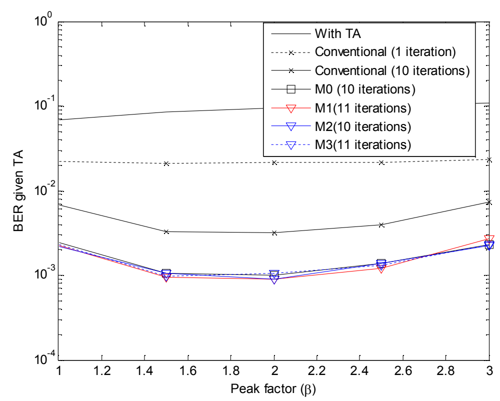
จากภาพที่ 5 จะนิยามประสิทธิภาพของระบบที่ไม่มีผลกระทบจาก TA ว่า "No TA", ประสิทธิภาพของระบบที่ไม่ได้มีการลดผลกระทบจาก TA จะเรียกว่า "With TA" ประสิทธิภาพของระบบที่มีการผลกระทบจาก TA แบบทั่วไปที่นำเสนอใน [7] จะเรียกว่า "Conventional" และประสิทธิภาพของระบบที่ไม่ได้มีการลดความซับซ้อนจะเรียกว่า "M0" โดยจะพิจารณาระบบ M0, M1, M2 และ M3 ที่ความซับซ้อนเท่ากัน (จำนวนตัวดำเนินการคูณและการบวกรวมกัน) นั่นคือที่ M0 มีจำนวนรอบในการวนซ้ำเท่ากับ 10

รอบ, M= 11 รอบ, M2 = 10 รอบ และ M3 = 11รอบ พบว่าประสิทธิภาพของการลดผลกระทบจาก TA ของระบบ M1, M2, และ M3 ให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับ M0 และให้ประสิทธิภาพดีกว่าแบบ Conventional

ภาพที่ 6 แสดงประสิทธิภาพในรูปแบบของแอมพลิจูดสูงสุดของ TA กับ BER ณ E_b/N_0 ที่ทำให้ BER ของระบบที่ไม่มีผลกระทบจาก TA มีค่า BER = 10^{-5} นั่นคือ E_b/N_0 = 6.62 dB พบว่าการลดผลกระทบจาก TA แบบ M1, M2, M3 ให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับ M0 และให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบ Conventional



ภาพที่ 5: ประสิทธิภาพของเทคนิคการลดความซับซ้อนแบบต่างๆ ในรูปแบบของ BER กับ E_b/N_0



ภาพที่ 6: ประสิทธิภาพของเทคนิคการลดความซับซ้อนวิธีต่างๆ ในรูปแบบของ BER กับแอมพลิจูดสูงสุดของสัญญาณ TA

8. สรุป

เทคนิคการร่วมกันระหว่างการลดผลกระทบจาก TA กับอีควอไลเซชันแบบเทอร์โบที่ไม่ได้ลดความซับซ้อนนั้น พบว่าทนทานต่อผลกระทบจาก TA ณ ค่า SNR ต่ำ แต่ความซับซ้อนโดยรวมของระบบยังสูง จึงทำให้ไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในงานประยุกต์ที่ต้องการความเร็วสูงอย่างระบบการบันทึกของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังนั้นบทความนี้จึงได้นำเสนอวิธีการลดความซับซ้อนของการตรวจหาและแก้ไข TA โดยพิจารณาจากจำนวนตัวดำเนินการบวกและการคูณ ซึ่งพบว่าวิธี M3 มีความซับซ้อนน้อยที่สุด รองลงมาคือ M1 และ M2 ตามลำดับ นอกจากนี้วิธี M3 ยังคงให้สมรรถนะที่ใกล้เคียงกับการลดผลกระทบจาก TA แบบทั่วไป (เมื่อใช้ตัวดำเนินการเท่ากัน) และให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับแบบที่ไม่ได้มีการลดความซับซ้อน

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Stupp S. E., Baldwinson M. A., McEwen P., Crawford T. M., and Roger C. T., "Thermal asperity trends," *IEEE Transactions on Magnetic*, vol. 35, no. 2, pp. 752 – 757, March 1999.

[2] Kovintavewat P. and Koonkarnkhai S., "Joint TA suppression and turbo equalization for coded partial response channels," *IEEE Transactions on Magnetic*, vol. 46, no. 6, pp. 1393-1396, June 2010.

[3] Klaassen K. B. and van Peppen J. C. L., "Electronic abatement of thermal interference in (G)MR head output signals," *IEEE Transactions on Magnetic*, vol. 33, pp. 2611 – 2616, September 1997.

[4] Dorfman V. and Wolf J. K., "A method for reducing the effects of thermal asperities," *IEEE J. Selected Areas Communication*, vol. 19, no. 4, pp. 662 – 667, April 2001.

[5] Dorfman V. and Wolf J. K., "Viterbi detection for partial response channels with colored noise," *IEEE Transactions on Magnetic*, vol. 38, pp. 2316-2318, 2002.

[6] Erden M. F. and Kurtas E. M., "Thermal asperity detection and cancellation in perpendicular recording systems," *IEEE Transactions on Magnetic*, vol. 40, no. 3, pp. 1732 – 1737, May 2004.

[7] Mathew G. and Tjhia I., "Thermal asperity suppression in perpendicular recording channels," *IEEE Transactions on Magnetic*, vol. 41, no. 10, pp. 2878 – 2880, October 2005.

[8] Kovintavewat P. and Koonkarnkhai S., "Thermal asperity suppression based on least squares fitting in perpendicular magnetic recording systems," *Journal of Applied Physics*, vol. 105, no. 7, 07C114, March 2009.

[9] Gallager R., "Low-density parity-check codes," *IRE Transactions on Information Theory*, vol. IT-8, pp. 21-28, January 1962.

[10] Hagenauer J. and Hoeher P., "A Viterbi algorithm with soft-decision outputs and its applications," in *Proc. of Globecom'89*, pp. 1680 – 1686, November 1989.

[11] สันติ กูลการขาย, ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์, และ พงษ์ศักดิ์ กีรติวินทกร, "การลดความซับซ้อนของอัลกอริทึมการตรวจหาและแก้ไขความขรุขระเชิงความร้อนในช่องสัญญาณการบันทึกแบบแนวตั้ง," *วารสารวิจัย มข.*, หน้า 132-141, กุมภาพันธ์ 2553.

ภาคผนวก ก.
การคำนวณค่าประมาณแบบซอฟต์สำหรับช่องสัญญาณ PR2

พิจารณาช่องสัญญาณ PR2 ในภาพที่ 1 เมื่อลำดับบิตข้อมูลอินพุต $a_k \in \{-1, 1\}$ โดยข้อมูลบิต -1 และ 1 มีความน่าจะเป็นในการเกิดเท่ากัน นั่นคือ $\Pr[a_k = -1] = \Pr[a_k = 1] = 0.5$ โดยลำดับข้อมูล $\{a_k\}$ ถูกกรองด้วยช่องสัญญาณ PR2 ที่มีผลตอบสนองของช่องสัญญาณคือ $H(D) = \sum_{i=0}^{v} h_i D^i = 1 + 2D + D^2$ เมื่อ D ตัวดำเนินการหน่วงเวลาหนึ่งหน่วย ทำให้ได้ลำดับข้อมูลเอาต์พุต $\{r_k\}$ ซึ่งมีค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดคือ $m_i \in \{-4, -2, 0, 2, 4\}$

ณ วงจรภาครับ อีควอไลเซชันแบบเทอร์โบจะสร้างข่าวสารแบบซอฟต์ (LLR: log-likelihood ratio) $\{\lambda_k\}$ ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนระหว่างวงจรตรวจหา SOVA และ LDPC ถ้าพิจารณาระบบไม่มีหน่วยความจำ (memoryless) วงจรสไลเซอร์แบบซอฟต์จะใช้ค่า LLR $\{\lambda_k\}$ ในค่าประมาณแบบซอฟต์จาก $\tilde{r}_k = E[r_k|\lambda_k]$ ซึ่งสมการการสำหรับค่าประมาณแบบซอฟต์ $\tilde{r}_k$ จะสอดคล้องกับ $\tilde{r}_k = \sum_i m_i \Pr[r_k = m_i \mid \{\lambda_k\}]$ เมื่อ $m_i \in \{-4, -2, 0, 2, 4\}$ สามารถเขียนใหม่ได้

$$\tilde{r}_k = (-4)\Pr[r_k = -4 \mid \{\lambda_k\}] + (-2)\Pr[r_k = -2 \mid \{\lambda_k\}] + (2)\Pr[r_k = 2 \mid \{\lambda_k\}] + (4)\Pr[r_k = 4 \mid \{\lambda_k\}] \qquad (ก\text{-}1)$$

โดยที่ค่าLLRสามารถหาได้จาก $\lambda_k = \log\left(\frac{\Pr\left[a_k = 1 \mid \{\lambda_k\}\right]}{\Pr\left[a_k = -1 \mid \{\lambda_k\}\right]}\right)$ และสามารถเขียนใหม่ได้เป็น $\Pr\left[a_k = 1 \mid \{\lambda_k\}\right] = \frac{e^{\lambda_k/2}}{e^{\lambda_k/2} + e^{-\lambda_k/2}}$,และ $\Pr\left[a_k = -1 \mid \{\lambda_k\}\right] = \frac{e^{-\lambda_k/2}}{e^{\lambda_k/2} + e^{-\lambda_k/2}}$

จากสมการ (ก-1) เอาต์พุตของช่องสัญญาณ $r_k = -4$ ก็ต่อเมื่ออินพุตของช่องสัญญาณคือ $\{a_k, a_{k-1}, a_{k-2}\} = \{-1, -1, -1\}$ สามารถกระจายได้เป็น

$$\Pr\left[r_k = -4 \mid \{\lambda_k\}\right] = \Pr\left[a_k = -1 \mid \{\lambda_k\}\right].\Pr\left[a_{k-1} = -1 \mid \{\lambda_k\}\right].\Pr\left[a_{k-2} = -1 \mid \{\lambda_k\}\right] = \left(\frac{e^{-\lambda_k/2}}{e^{\lambda_k/2} + e^{-\lambda_k/2}}\right)\left(\frac{e^{-\lambda_{k-1}/2}}{e^{\lambda_{k-1}/2} + e^{-\lambda_{k-1}/2}}\right)\left(\frac{e^{-\lambda_{k-2}/2}}{e^{\lambda_{k-2}/2} + e^{-\lambda_{k-2}/2}}\right) \qquad (ก\text{-}2)$$

เมื่อเอาต์พุตของช่องสัญญาณ $r_k = 4$ ก็ต่อเมื่ออินพุตของช่องสัญญาณคือ $\{a_k, a_{k-1}, a_{k-2}\} = \{1, 1, 1\}$ สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\Pr\left[r_k=-4\,|\,\{\lambda_k\}\right]=\Pr\left[a_k=1\,|\,\{\lambda_k\}\right].\Pr\left[a_{k-1}=1\,|\,\{\lambda_k\}\right].\Pr\left[a_{k-2}=1\,|\,\{\lambda_k\}\right]=\left(\frac{e^{\lambda_k/2}}{e^{\lambda_k/2}+e^{-\lambda_k/2}}\right)\left(\frac{e^{\lambda_{k-1}/2}}{e^{\lambda_{k-1}/2}+e^{-\lambda_{k-1}/2}}\right)\left(\frac{e^{\lambda_{k-2}/2}}{e^{\lambda_{k-2}/2}+e^{-\lambda_{k-2}/2}}\right) \quad (ก\text{-}3)$$

เอาต์พุตของช่องสัญญาณ $r_k = -2$ ก็ต่อเมื่ออินพุตของช่องสัญญาณคือ $\{a_k, a_{k-1}, a_{k-2}\} = \{-1, -1, 1\}$ หรือ $\{1, -1, -1\}$ สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned}\Pr\left[r_k=-2\,|\,\{\lambda_k\}\right]&=\left(\Pr\left[a_k=-1\,|\,\{\lambda_k\}\right].\Pr\left[a_{k-1}=-1\,|\,\{\lambda_k\}\right].\Pr\left[a_{k-2}=1\,|\,\{\lambda_k\}\right]\right)+\left(\Pr\left[a_k=1\,|\,\{\lambda_k\}\right].\Pr\left[a_{k-1}=-1\,|\,\{\lambda_k\}\right].\Pr\left[a_{k-2}=-1\,|\,\{\lambda_k\}\right]\right)\\&=\left(\frac{e^{-\lambda_k/2}}{e^{\lambda_k/2}+e^{-\lambda_k/2}}\right)\left(\frac{e^{-\lambda_{k-1}/2}}{e^{\lambda_{k-1}/2}+e^{-\lambda_{k-1}/2}}\right)\left(\frac{e^{\lambda_{k-2}/2}}{e^{\lambda_{k-2}/2}+e^{-\lambda_{k-2}/2}}\right)+\left(\frac{e^{\lambda_k/2}}{e^{\lambda_k/2}+e^{-\lambda_k/2}}\right)\left(\frac{e^{-\lambda_{k-1}/2}}{e^{\lambda_{k-1}/2}+e^{-\lambda_{k-1}/2}}\right)\left(\frac{e^{-\lambda_{k-2}/2}}{e^{\lambda_{k-2}/2}+e^{-\lambda_{k-2}/2}}\right)\end{aligned} \quad (ก\text{-}4)$$

สุดท้ายเมื่อเอาต์พุตของช่องสัญญาณ $r_k = 2$ จะมีอินพุตของช่องสัญญาณคือ $\{a_k, a_{k-1}, a_{k-2}\} = \{-1, 1, 1\}$ หรือ $\{1, 1, -1\}$ สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned}\Pr\left[r_k=-2\,|\,\{\lambda_k\}\right]&=\left(\Pr\left[a_k=-1\,|\,\{\lambda_k\}\right].\Pr\left[a_{k-1}=1\,|\,\{\lambda_k\}\right].\Pr\left[a_{k-2}=1\,|\,\{\lambda_k\}\right]\right)+\left(\Pr\left[a_k=1\,|\,\{\lambda_k\}\right].\Pr\left[a_{k-1}=1\,|\,\{\lambda_k\}\right].\Pr\left[a_{k-2}=-1\,|\,\{\lambda_k\}\right]\right)\\&=\left(\frac{e^{-\lambda_k/2}}{e^{\lambda_k/2}+e^{-\lambda_k/2}}\right)\left(\frac{e^{\lambda_{k-1}/2}}{e^{\lambda_{k-1}/2}+e^{-\lambda_{k-1}/2}}\right)\left(\frac{e^{\lambda_{k-2}/2}}{e^{\lambda_{k-2}/2}+e^{-\lambda_{k-2}/2}}\right)+\left(\frac{e^{\lambda_k/2}}{e^{\lambda_k/2}+e^{-\lambda_k/2}}\right)\left(\frac{e^{\lambda_{k-1}/2}}{e^{\lambda_{k-1}/2}+e^{-\lambda_{k-1}/2}}\right)\left(\frac{e^{-\lambda_{k-2}/2}}{e^{\lambda_{k-2}/2}+e^{-\lambda_{k-2}/2}}\right)\end{aligned} \quad (ก\text{-}5)$$

เมื่อกำหนดให้ $a = \lambda_k/2$, $b = \lambda_{k-1}/2$ และ $c = \lambda_{k-2}/2$ แทนลงในสมการ (ก-2) – (ก-5) และแทนสมการ (ก-2) – (ก-5) ลงในสมการ (ก-1) ทำให้ได้เป็น

$$\tilde{r}_k=\left\{\frac{\left(-4e^{-a}e^{-b}e^{-c}\right)+\left(4e^{a}e^{b}e^{c}\right)+\left(-2e^{-a}e^{-b}e^{c}\right)+\left(-2e^{a}e^{-b}e^{-c}\right)+\left(2e^{-a}e^{b}e^{c}\right)+\left(2e^{a}e^{b}e^{-c}\right)}{\left(e^{a}+e^{-a}\right)\left(e^{b}+e^{-b}\right)\left(e^{c}+e^{-c}\right)}\right\} \quad (ก\text{-}6)$$

เนื่องจาก $\cosh(x) = (e^{x} + e^{-x})/2$ และ $\sinh(x) = (e^{x} - e^{-x})/2$, สมการ (ก-6) สามารถลดรูปได้เป็น

$$\begin{aligned}\tilde{r}_k&=\left\{\frac{\left(-2e^{-a}e^{-b}e^{-c}\right)+\left(2e^{a}e^{b}e^{c}\right)+\left(-e^{-a}e^{-b}e^{c}\right)+\left(-e^{a}e^{-b}e^{-c}\right)+\left(e^{-a}e^{b}e^{c}\right)+\left(e^{a}e^{b}e^{-c}\right)}{4\cosh(a)\cosh(b)\cosh(c)}\right\}\\&=\left\{\frac{-2e^{-(a+b+c)}+2e^{(a+b+c)}-e^{-(a+b-c)}-e^{-(-a+b+c)}+e^{(-a+b+c)}+e^{(a+b-c)}}{4\cosh(a)\cosh(b)\cosh(c)}\right\}\\&=\left\{\frac{2\sinh(a+b+c)+\sinh(a+b-c)+\sinh(-a+b+c)}{2\cosh(a)\cosh(b)\cosh(c)}\right\}\end{aligned} \quad (ก\text{-}7)$$

แทนค่า $a = \lambda_k/2$, $b = \lambda_{k-1}/2$ และ $c = \lambda_{k-2}/2$ ลงในสมการ (ก-7) จะทำให้ได้รูปแบบสมการทั่วไปของการประมาณค่าแบบซอฟต์ของลำดับข้อมูล $\{r_k\}$ สำหรับช่องสัญญาณ PR2 ซึ่งสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\tilde{r}_k=\left\{\frac{2\sinh\left(\left(\lambda_k+\lambda_{k-1}+\lambda_{k-2}\right)/2\right)+\sinh\left(\left(\lambda_k+\lambda_{k-1}-\lambda_{k-2}\right)/2\right)+\sinh\left(\left(-\lambda_k+\lambda_{k-1}+\lambda_{k-2}\right)/2\right)}{2\cosh\left(\lambda_k/2\right)\cosh\left(\lambda_{k-1}/2\right)\cosh\left(\lambda_{k-2}/2\right)}\right\} \quad (ก\text{-}8)$$

สายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสามเหลี่ยมสามชั้นแบบสองความถี่

Dual-Band Three layers of Triangle Microstrip Patch Antenna

ประกาศิต ตันติอลงการ[1] โอภาส ศิริครรชิตถาวร[2]
จักรวาล จิตดล[3] และ บุษบา จันทร์ดี[4]

[1-4]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[1]Email : pstk@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ทำการออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสามเหลี่ยมสามชั้นให้ใช้งานแบบสองความถี่ย่าน 2.4 GHz และ 5.1 GHz ลงบนแผ่นวงจรพิมพ์อีพร็อกซี่สำหรับงานทางด้านไมโครเวฟชนิด FR4 ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε_r) 4.4 ความหนาของชั้นไดอิเล็กตริก (h) 1.6 มิลลิเมตร จำลองการทำงานของสายอากาศด้วยโปรแกรมออกแบบสายอากาศย่านความถี่ไมโครเวฟ (IE3D) จากผลการทดสอบสายอากาศที่สร้างขึ้นพบว่าสายอากาศสามารถทำงานแบบสองความถี่ได้ที่ย่าน 2.4 GHz และ 5.1 GHz มีค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเท่ากับ -15.64 dB และ -28.95 dB เกณฑ์การขยาย 0.41 dBi และ 3.33 dBi ตามลำดับ ซึ่งแถบความถี่อยู่ในย่านการใช้งานของระบบสื่อสารไร้สายอาทิ GSM 1800, GSM 1900, IMT-2000 และระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) ทั้งสองความถี่สายอากาศที่สร้างขึ้นมีขนาดสูง 42.6 มิลลิเมตรและกว้าง 31 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: สายอากาศ ไมโครสตริป สามเหลี่ยมสามชั้น สองความถี่

Abstract

This Research presents the designation and implementation of Dual-Band Three layers of Triangle Microstrip Patch Antenna at frequencies 2.4 GHz and 5.1 GHz. The antennas have been designed on inexpensive FR4 dielectric substrate with relative dielectric constant (ε_r) of 4.4, a thickness (h) of 1.6 mm, simulated by IE3D program. The result shows the proposed antennas can be achieved dual-band operations. The 10-dB return loss at lower frequency band is -15.64 dB and at the upper frequency band is -28.95 dB. The antenna gain at lower and higher frequency band are 0.41 dBi and 3.33 dBi respectively. This antenna can be employed for several application bands such as GSM1800, GSM1900, IMT-2000 and wireless LAN network of both 2.4 GHz and 5.1 GHz. The antenna have the overall dimensions to be 42.6 mm length by 31 mm width.

Keyword: Antenna, Microstrip, Three layers of triangle, Dual-band frequency.

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารได้มีบทบาทและความสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก ซึ่งได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและแพร่หลายจนทำให้โลก ณ ปัจจุบันนั้น มีความก้าวหน้าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งทำให้การสื่อสารหรือการติดต่อเชื่อมโยงกันนั้น สามารถทำได้ง่ายกว่าช่วงเวลาในอดีต สายอากาศจึงเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการพัฒนาอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เห็นได้จากสิ่งที่อยู่รอบตัวเราล้วนมีสายอากาศเป็นส่วนประกอบหลักทั้งสิ้น เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่และการรับสัญญาณโดยตรงจากดาวเทียม ชนิดของสายอากาศนั้นอาจจะแบ่งตามลักษณะโครงสร้างคือ สายอากาศเส้นลวด สายอากาศไมโครสตริป สายอากาศแถวลำดับ สายอากาศแบบสะท้อน และอื่นๆอีกมากมาย [1] แต่สายอากาศที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างกว้างขวางมากในปัจจุบันคือสายอากาศไมโครสตริป เนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ชนิดของสายอากาศไมโครสตริปมีหลายแบบไม่ว่าจะเป็นแพทช์รูปสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม[2] วงกลม[3] และวงรี แต่รูปร่างที่นิยมนำมาสร้างและออกแบบคือ แบบสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม และแบบวงกลม[4]

สายอากาศจึงจัดว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบสื่อสารแบบไร้สาย[5] การวิจัยและพัฒนาโครงสร้างของสายอากาศให้มีการใช้งานที่ความถี่กว้าง[6] มุ่งเน้นให้มีการลดขนาดของสายอากาศ การขยาย Bandwidth เพิ่ม Return Loss ของสายอากาศและการเพิ่มเกณฑ์ของสายอากาศ[7] ในการเลือกใช้งานของสายอากาศแต่ละชนิดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานย่านความถี่ของสัญญาณ และทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นไฟฟ้า เพราะสายอากาศ แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ในการเลือกใช้จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน และสายอากาศไมโครสตริปยังมีการแพร่กระจายคลื่นไฟฟ้าแบบทุกทิศทาง

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบสายอากาศ

งานวิจัยสายอากาศแบบไมโครสตริปแพทช์รูปสามเหลี่ยมสามชั้นแบบสองความถี่มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบ สร้าง และทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศ โดยการออกแบบสายอากาศจะใช้การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม IE3D วิธีการคือ

1. ศึกษาและออกแบบสายอากาศให้มีค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณเท่ากับ 50 Ω

2. หลังจากได้ค่าจากการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดจากการจำลองการทำงานแล้ว จากนั้นทำการสร้างสายอากาศขึ้นมาโดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์อีพร็อกซี่สำหรับงานทางด้านไมโครเวฟชนิด FR4 ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ε_r) 4.4 ความหนาของชั้นไดอิเล็กตริก (h) 1.6 mm. ความหนาของชั้นตัวนำทองแดง (t) เท่ากับ 0.018 mm. และมีค่าการสูญเสียแทนเจนท์ (tan δ) เท่ากับ 0.02

3. วัดค่า Retune Loss, Gain ของสายอากาศจากเครื่อง Network Analyzer แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดกับผลที่ได้จากการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม IE3D

2.2 การจำลองผลการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศ

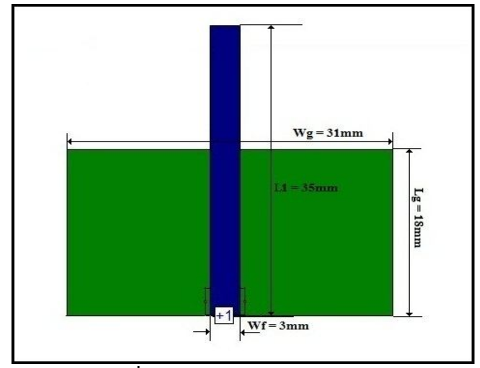
ค่าความยาวคลื่นที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่า 125 mm. และความถี่ 5.1 GHz มีค่า 57.69 mm. ดังนั้นจึงนำเอาค่าความยาวคลื่นของทั้ง 2 ความถี่มาเป็นตัวกำหนดความยาวของตัวแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่สร้างขึ้น โดยค่าความยาวของตัวแผ่กระจายคลื่นที่นิยมออกแบบจะมีความยาวคลื่นประมาณหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่น (λ /4) ในการออกแบบสร้างสายอากาศนี้ใช้รูปแบบการสุ่มขนาดของสตับในรูปแบบต่างๆ แล้วทดลองปรับขนาดของแพทช์นั้นๆ ทีละขนาด จากนั้นเลือกค่าที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากค่า Return Loss, Bandwidth และช่วงความถี่ที่ต้องการ

ลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสามเหลี่ยมสามชั้นแบบสองความถี่ที่สร้างขึ้นมีขนาดของสายนำสัญญาณกว้าง (W_f)=3 mm ได้มาจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม LineGuage เมื่อกำหนดค่าความถี่กลางไว้ที่ 3.6 GHz และอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเท่ากับ 50 Ω

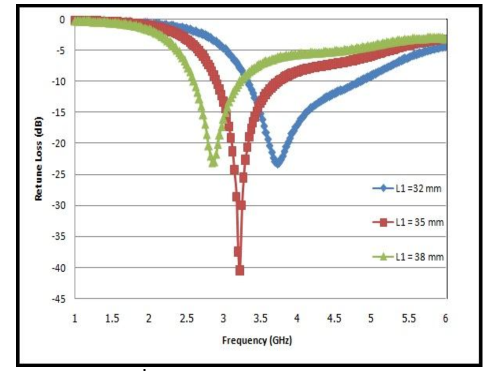
ภาพที่ 1 เป็นการหาขนาดของ L1 ที่เหมาะสม ภาพที่ 2 แสดงผลการวัดค่า Return loss ของสายอากาศเมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ L1 พบว่าเมื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์ L1 ความถี่เรโซแนนท์จะลดลง ในช่วงที่เหมาะสมกับการออกแบบมากที่สุดคือ L1=35mm ที่มีค่า Return loss ประมาณ –41 dB

ภาพที่ 3 เพิ่มแพทช์รูปสามเหลี่ยมหนึ่งชั้น ภาพที่ 4 และ 5 เป็นผลจากการจำลองซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำแพทช์รูปสามเหลี่ยมมาใช้ร่วมกับแพทช์เดิม เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์ W1 และ L2 พบว่าขณะที่ค่าพารามิเตอร์ปรับเพิ่มขึ้นจะทำให้ความถี่เรโซแนนท์ลดลง แต่จะมีผลต่อค่า Return Loss ค่าสูงสุดคือ -45 dB ผู้วิจัยเลือกค่า W1 = 14.625 mm และ L2 = 9 mm

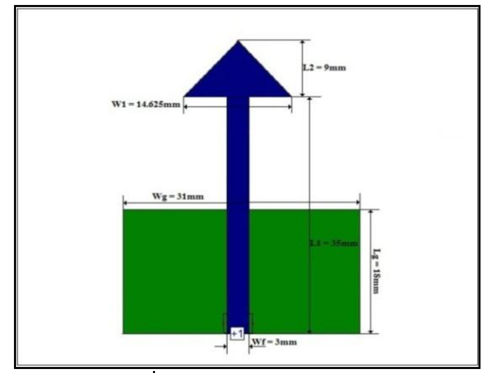
The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012



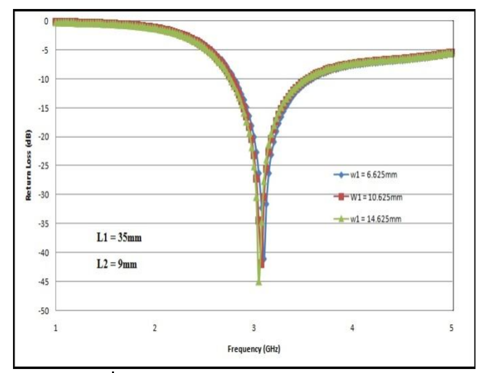
ภาพที่ 1 : การปรับค่า L1 ของสายอากาศ



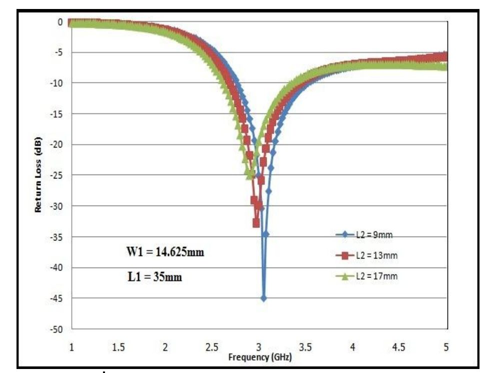
ภาพที่ 2 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า L1



ภาพที่ 3 : เพิ่มแพทช์รูปสามเหลี่ยมหนึ่งชั้น

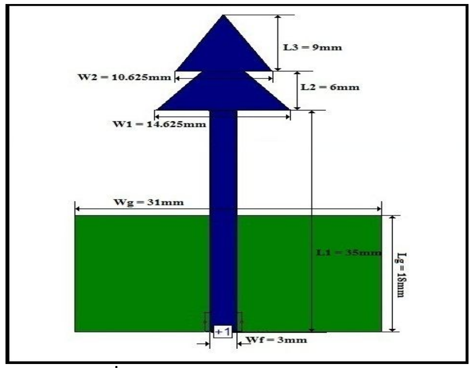


ภาพที่ 4 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า W1

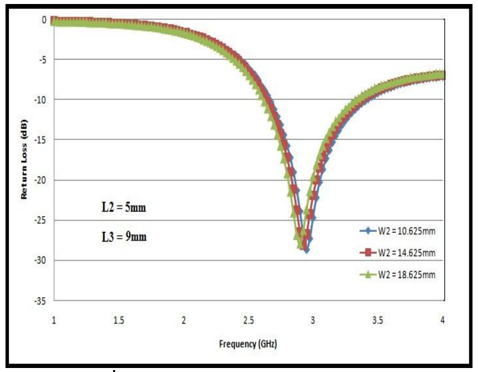


ภาพที่ 5 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า L2

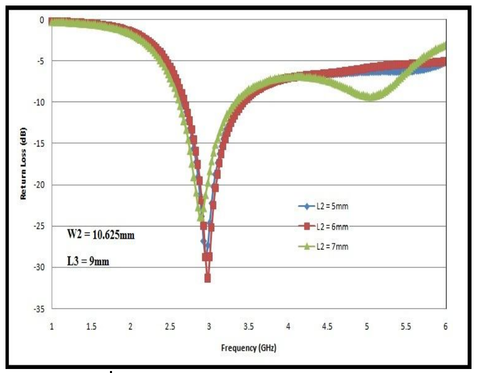
ภาพที่ 6 เพิ่มแพทช์รูปสามเหลี่ยมเป็นสองชั้น จากภาพที่ 7, 8 และ 9 ผลจากการจำลองสายอากาศแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มแพทช์รูปสามเหลี่ยมขึ้นอีกหนึ่งชั้นแล้วทำการปรับพารามิเตอร์ W2 , L2 และ L3 ของสายอากาศตามลำดับ พบว่าเมื่อทำการปรับเพิ่มค่า W2 จะส่งผลทำให้ความถี่เรโซแนนท์ลดลง ผู้วิจัยเลือกค่า W2 = 10.625 mm ส่วนการปรับค่า L2 คือระยะห่างระหว่างสตับของรูปสามเหลี่ยมสองรูป เมื่อนำมาวางซ้อนกันจะเห็นได้ว่าระยะห่างที่เลือกคือ 6 mm เป็นความห่างระหว่างชั้นที่เหมาะสมที่สุดมีค่า Return Loss ที่ -31.5 dB ส่วนการปรับค่า L3 คือความสูงของสตับรูปสามเหลี่ยมรูปที่สอง ระยะห่างที่เลือกคือ 9 mm มีค่า Return Loss ที่ -26.5 dB สายอากาศในภาพที่ 3 และภาพที่ 6 พบว่ายังคงมีความถี่เรโซแนนท์เพียงค่าเดียว



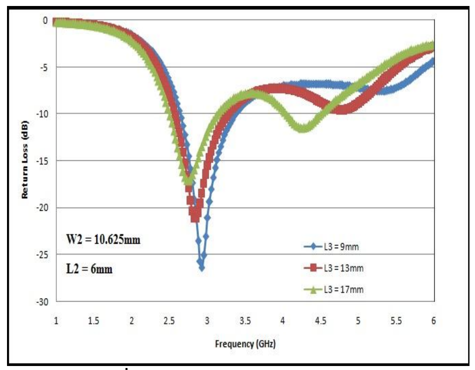
ภาพที่ 6 : เพิ่มแพทช์รูปสามเหลี่ยมสองชั้น



ภาพที่ 7 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า W2

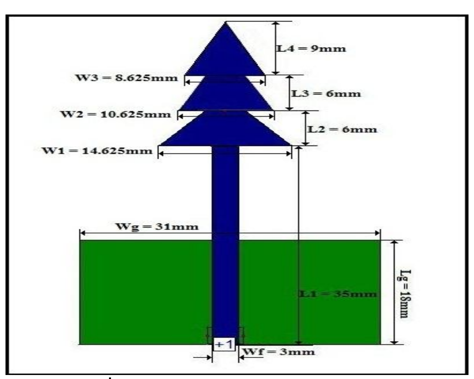


ภาพที่ 8 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า L2

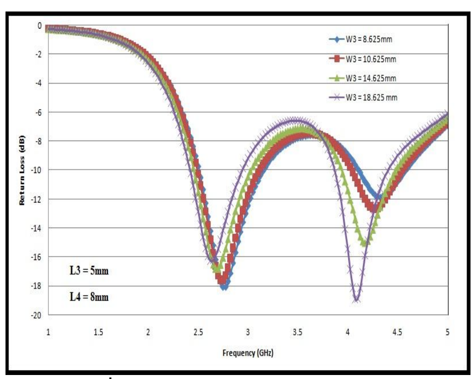


ภาพที่ 9 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า L3

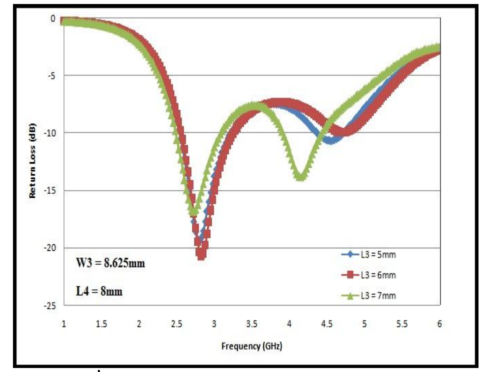
ภาพที่ 10 เพิ่มแพทช์รูปสามเหลี่ยมเป็นสามชั้น จากภาพที่ 11, 12 และ 13 ผลการจำลองสายอากาศซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำแพทช์รูปสามเหลี่ยมมาเพิ่มเป็นสามชั้นจะเกิดความถี่เรโซแนนท์เป็นแบบสองความถี่ แล้วเมื่อทำการปรับพารามิเตอร์ W3, L3 และ L4 ของสายอากาศ พบว่าถ้าปรับค่า W3 ให้มากขึ้นจะส่งผลให้ค่า Return Loss ในช่วงความถี่แรกมีค่าน้อยแต่จะเพิ่มขึ้นในช่วงความถี่ที่สอง ในส่วนของการปรับค่า L3 ในขั้นแรกมีระยะห่างของ L3 อยู่ที่ 5 mm แต่เมื่อมีการปรับระยะห่างของ L3 ขึ้นลงจะเห็นความแตกต่างของแต่ละช่วงได้ชัดขึ้น ในกราฟจะเห็นได้ว่าถ้าปรับค่า L3 ให้ห่างขึ้นความถี่เรโซแนนท์แรกจะลดลงเล็กน้อยและค่า Return Loss ในช่วงความถี่แรกจะลดลง แต่จะเพิ่มในช่วงความถี่ที่สอง ดังนั้นระยะห่างของ L3 ที่เลือกใช้คือ L3 = 6 mm จากนั้นทำการปรับความสูงของยอดสามเหลี่ยมหรือ L4 โดยดูจากการเปรียบเทียบกราฟเพื่อให้ได้ช่วงความถี่ที่เหมาะสมมากที่สุด จึงได้เลือก L4 = 9 mm



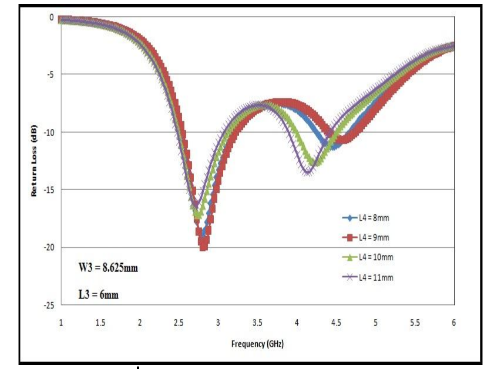
ภาพที่ 10 : เพิ่มแพทช์รูปสามเหลี่ยมสามชั้น



ภาพที่ 11 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า W3

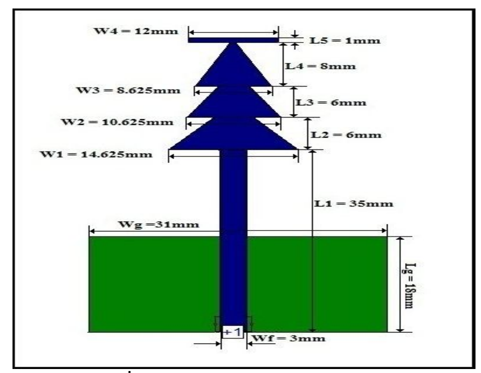


ภาพที่ 12 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า L3

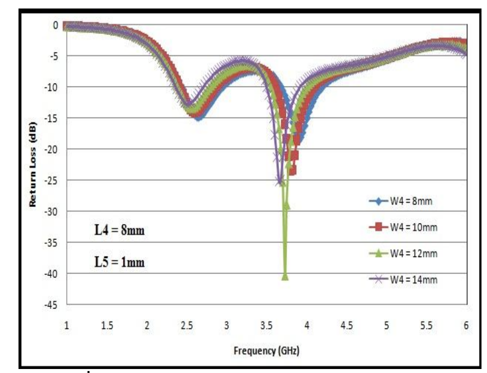


ภาพที่ 13 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า L4

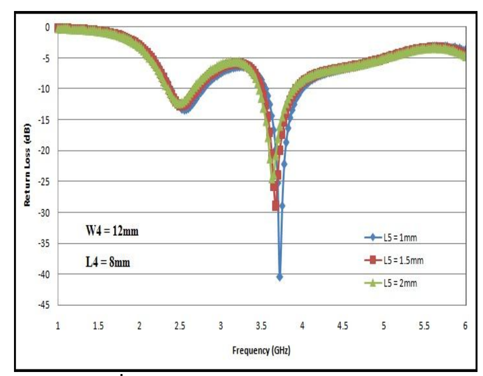
ภาพที่ 14 เพิ่มสตับรูปสี่เหลี่ยมที่ยอดบนสุด จากภาพที่ 15, 16 และ 17 ผลการจำลองสายอากาศในภาพ แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำสตับที่ปลายยอดของรูปสามเหลี่ยมอีกหนึ่งชั้นซึ่งสตับที่เติมลงไปนี้เป็นสตับสี่เหลี่ยม เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์ W4 , L4 และ L5 ของสายอากาศพบว่าขณะที่เพิ่มสตับไป มีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนคือทั้งสองช่วงความถี่ ในความถี่แรกลดลงจาก 2.9 GHz = -17 dB เป็น 2.6 GHz = -14 dB แต่กลับกันช่วงความถี่ที่สองจาก 4.6 GHz = -12 dB เป็น 3.7 GHz = -40 dB ในช่วงของการใช้งาน W4 = 12 mm ในส่วนของการปรับ L4 คือการหาระยะห่างของชั้นสตับเพื่อให้ได้ระยะความห่างที่เหมาะสม ในที่นี้ใช้ระยะความห่าง L4 = 8 mm แล้วทำการปรับ L5 คือความหนาของรูปสตับสี่เหลี่ยม จากการทดลองสังเกตได้ว่า ถ้าความหนาของสตับมีผลในเรื่องของค่า Return Loss ของช่วงความถี่ที่สองจะลดลงเป็นลำดับแต่จะส่งผลในเรื่องความถี่เรโซแนนท์จะมีค่าน้อยมาก



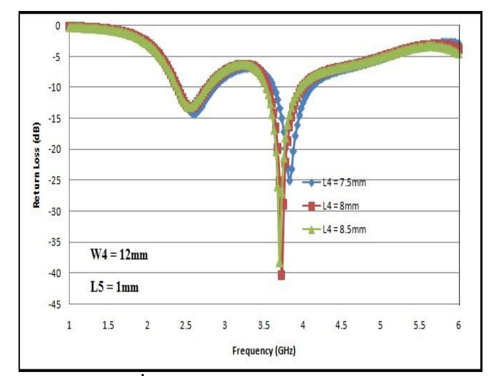
ภาพที่ 14 : เพิ่มสตับรูปสี่เหลี่ยมที่ยอดบนสุด



ภาพที่ 15 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า W4

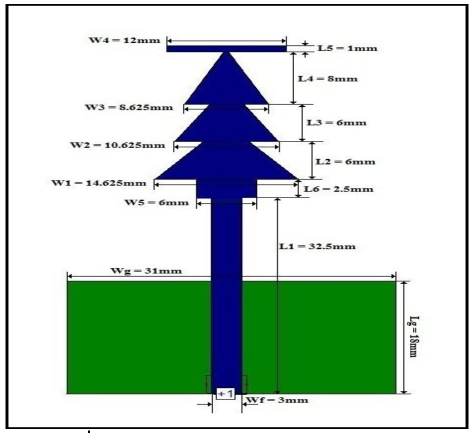


ภาพที่ 16 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า L5

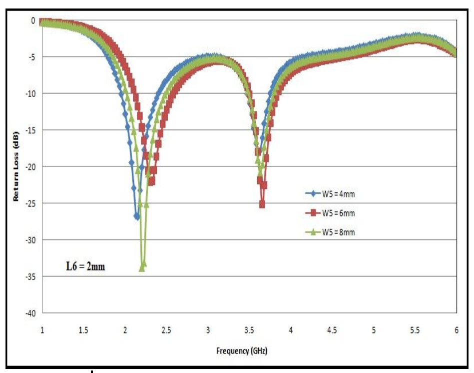


ภาพที่ 17 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า L4

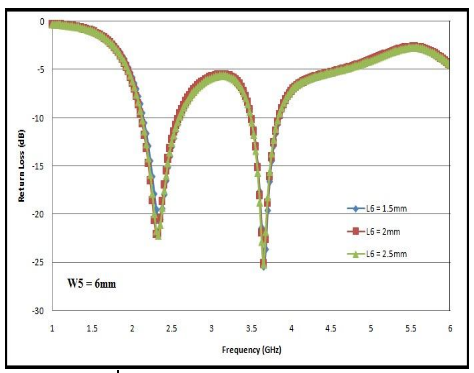
ภาพที่ 18 เพิ่มสตับรูปสี่เหลี่ยมที่ฐานสตับล่างสุด จากภาพที่ 19 และ 20 ผลการจำลองสายอากาศในภาพ แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำสตับรูปสี่เหลี่ยมอีกหนึ่งรูปมาใช้ร่วมกับแพทช์เดิมโดยการใส่แทรกลงไปที่โคนฐานของสตับรูปสามเหลี่ยมรูปแรกเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงความถี่แรกทำให้ค่าเรโซแนนท์ลดลงแต่ค่า Return Loss เพิ่มขึ้นในช่วงความถี่แรก แต่ในช่วงความถี่ที่สองนั้นกลับไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆมากนัก แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการปรับพารามิเตอร์ W5 และ L6 เพิ่มขึ้นและลดลงจะมีผลต่อช่วงความถี่ที่สองไม่มากนัก มีผลทำให้สายอากาศสามารถตอบสนองช่วงความถี่แรกได้มากกว่าช่วงความถี่ที่สองจึงเลือกใช้ W5 = 6 mm และ L6 = 2.5 mm



ภาพที่ 18 : เพิ่มสตับรูปสี่เหลี่ยมที่ฐานสตับล่างสุด

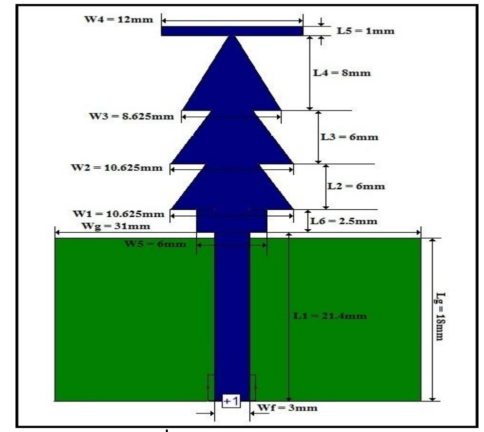


ภาพที่ 19 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า W5

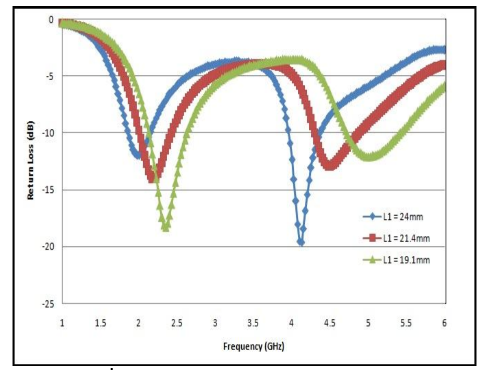


ภาพที่ 20 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า L6

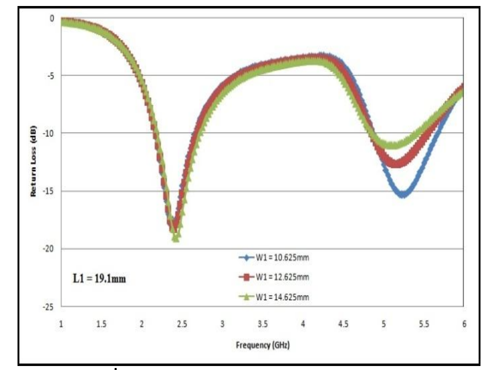
ภาพที่ 21 เป็นการปรับลดค่า L1 จากภาพที่ 22 และ 23 ผลการจำลองสายอากาศในภาพ แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการทดสอบโครงสร้างสายอากาศ จะได้ขนาดของโครงสร้างสายอากาศที่สามารถตอบสนองความถี่ที่ต้องการสร้างขึ้น โดยวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้คือ สายอากาศที่จะสร้างนั้นมีขนาด 40x40 mm^2 แต่ในการสร้างเลือกใช้โครงสร้างนี้มีความสูงรวมแล้ว 56 mm จึงทำการเลื่อนสตับทุกๆ สตับลงมาพร้อมๆ กันโดยการเปลี่ยนแปลงที่ L1 = 19.1 mm ช่วงความถี่แรกจะตกที่ 2.4 GHz แต่ช่วงความถี่ที่สองนั้นจะอยู่ที่ 5.0 GHz จึงลองลดค่า W1 ลง ผลการทดลองคือมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงของความถี่ที่สองคือค่า Return Loss เพิ่มขึ้นและช่วงความถี่ขยับเข้าอยู่ในช่วง 5.1 GHz ที่ W1 = 10.625 mm จะได้ช่วงความถี่ทั้งสองช่วงดังนี้ 2.4 GHz = -17.81dB และ 5.1 GHz = -15.12dB



ภาพที่ 21 : การปรับลดค่า L1



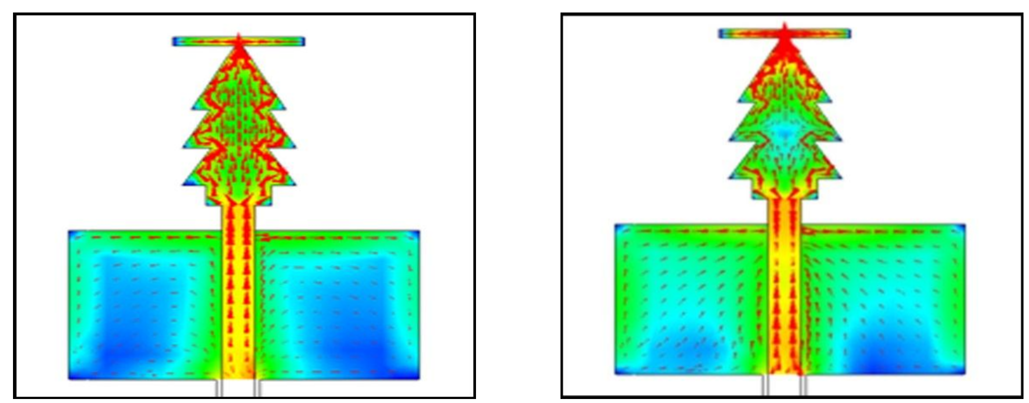
ภาพที่ 22 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า L1



ภาพที่ 23 : ค่า Return Loss จากการปรับค่า W1

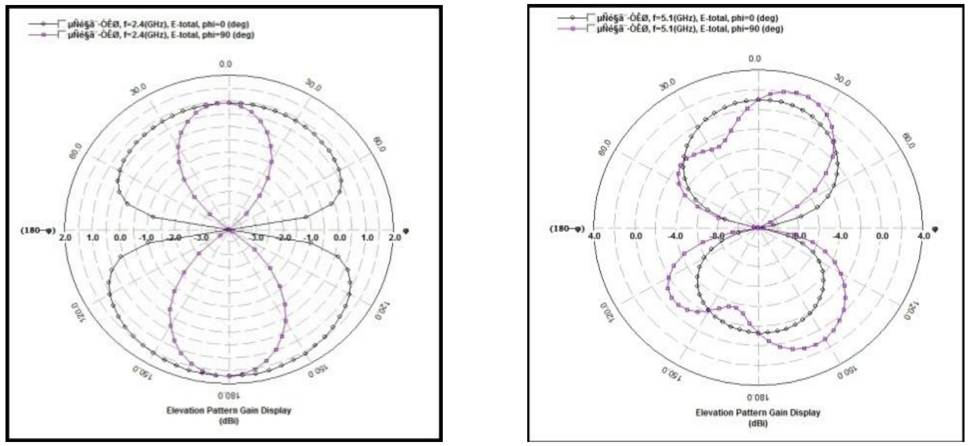
2.3 การจำลองความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นและรูปแบบการแผ่พลังงาน

ผลการจำลองความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสามเหลี่ยมสามชั้นที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.1 GHz แสดงไว้ในภาพที่ 24 และผลการจำลองรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสามเหลี่ยมสามชั้นที่ (X-Y plane) ในแบบ 2 มิติและ 3 มิติ ที่ความถี่ 2.4 GHz และ 5.1 GHz แสดงไว้ในภาพที่ 25 และ 26



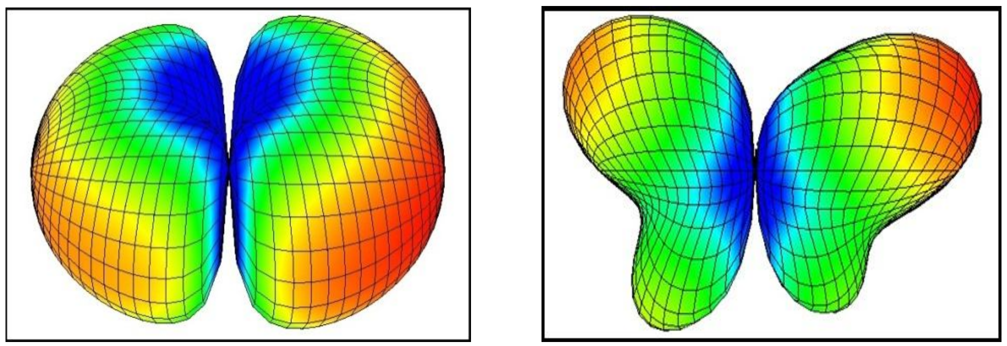
2.4 GHz 5.1 GHz

ภาพที่ 24 : ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสามเหลี่ยมสามชั้น



2.4 GHz 5.1 GHz

ภาพที่ 25 : รูปแบบการแพร่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสามเหลี่ยมสามชั้น X-y plane



2.4 GHz 5.1 GHz

ภาพที่ 26 : รูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสามเหลี่ยมสามชั้น (ø = 90º)

3. ผลการดำเนินงาน

จากผลการจำลองการทำงานทำให้ทราบว่าค่าที่เหมาะสมในการออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสามเหลี่ยมสามชั้นคือสายอากาศที่มีขนาด 42.6 x 31 ตารางมิลลิเมตรและขนาดของสายอากาศที่เหมาะสมมีค่าดังนี้ L1=19.1 mm, L2=6 mm, L3=6 mm, L4=8 mm, L5=1 mm, L6=2.5 mm, W1 =10.625 mm, W2= 10.625 mm, W3= 8.625mm, W4= 12 mm. และ W5= 6mm. ตามลำดับ ภาพที่ 27 คือชิ้นงานจริงที่สร้างขึ้น

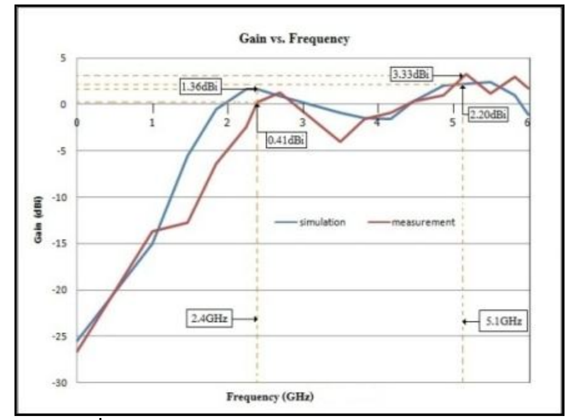
ภาพที่ 27 : สายอากาศไมโครสตริปแพทช์รูปสามเหลี่ยมสามชั้นที่สร้างขึ้น

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

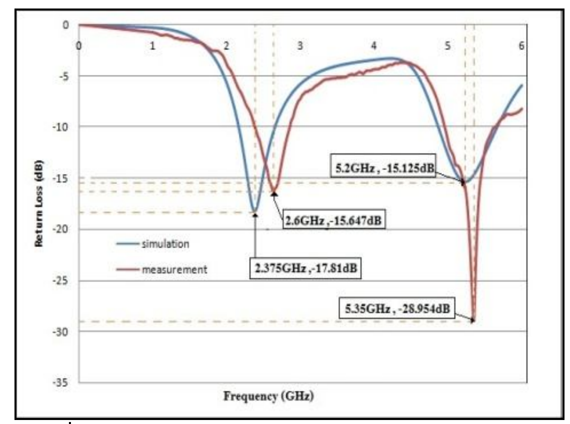
3.1 การวัดอัตราการขยายและค่าสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ

การวัดค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ของสายอากาศทำได้โดยวัดจากค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศ โดยค่าอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ของสายอากาศจะคิดที่ค่าการสูญเสียย้อนกลับของสายอากาศมีค่าต่ำกว่า -10 dB การวัดอัตราการขยายของสายอากาศโดยโปรแกรมเปรียบเทียบกับการวัดอัตราการขยายด้วย Network Analyzer

อัตราการขยายของสายอากาศไมโครสตริปที่ได้จากการจำลองการทำงานและการวัดจริงจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) ที่ความถี่ 2.4 GHz = 1.3 dBi และที่ความถี่ 5.1 GHz = 2.2 dBi จากการออกแบบด้วยโปรแกรมและที่ความถี่ 2.4 GHz = 0.41 dBi ที่ความถี่ 5.1GHz = 3.33 dBi จากการวัดจริงแสดงไว้ในภาพที่ 28 และภาพที่ 29



ภาพที่ 28 : การเปรียบเทียบ Gain ของค่าที่จำลองและค่าที่วัดจริง



ภาพที่ 29 : การเปรียบเทียบ Return Loss ของค่าที่จำลองและค่าที่วัดจริง

4. สรุป

การสร้างสายอากาศไมโครสตริปสร้างเพื่อศึกษาและพัฒนาโครงสร้างสายอากาศให้มีขนาดเล็กช่วงความถี่ที่ใช้งานในการสร้างสายอากาศนี้คือช่วง 2.4 GHz และ 5.1 GHz คือช่วงการสื่อสารสำหรับระบบสื่อสารไร้สายอาทิ GSM 1800, GSM 1900, IMT-2000 และระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) ทั้งสองความถี่และผลการวัดจริงอยู่ในช่วงที่เราสามารถนำไปใช้งานได้จริงโดยมีค่า Bandwidth กว้าง 565 MHz ในช่วงความถี่แรกและ 650 MHz ในช่วงความถี่ที่สอง

5. **กิตติกรรมประกาศ**

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้ให้โอกาสทุนสนับสนุนในการทำวิจัยและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิจัยจนสำเร็จด้วยดี และขอขอบคุณกลุ่มวิจัยการสื่อสารไร้สาย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้คำปรึกษาและให้ใช้โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบและจำลองการทำงานของสายอากาศ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] C. A. Balanis. Antenna Theory Analysis and Design. 3rd Edition. John Wiley and Sons : New Jersey, 2005.

[2] วรเดช อภิรมรัตน์., "สายอากาศไมโครสตริปแบบแพทช์สามเหลี่ยมด้านเท่า", ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.

[3] อุษา คงเมือง., "สายอากาศไมโครสตริปสองความถี่แบบโพลาไรซ์เชิงวงกลม", วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2549.

[4] R. Best, "On the Resonant Properties of the Koch Fractal and Other Wire Monopole Antennas", IEEE Antennas and Wireless propagation, Vol. 1, pp.74-76, 2002.

[5] นรกมล วงษ์ศิลป์., "การออกแบบและสร้างสายอากาศแบนด์คู่สำหรับเครือข่ายแลนไร้สาย", ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552.

[6] วสันต์ พุกกะ., "การออกแบบและสร้างสายอากาศแบบแถบความถี่กว้างยิ่ง", ปริญญานิพนธ์อุตหาสกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์(โทรคมนาคม) ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553

[7] Prakasit Tunti-a-longkarn and Jeerasak Chuangchai., "Study of Various Shapes of Feed Line Stub in the CPW-fed Rectangular Slot Antennas", The Journal of Industrial Technology Vol. 4, No. 1, January- June, 2008. pp. 11-16.

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

การพัฒนาระบบการวิเคราะห์และตรวจวัดการใช้พลังงานของหม้อแปลงจำหน่าย
The Development Power Monitoring System and Analysis Using Energy of Distribution Transformer

วิโรจน์ บัวงาม[1]

[1]กลุ่มโปรแกรมวิศวกรรมและเทคโนโลยี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
wirot@npru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบการวิเคราะห์ และตรวจวัดการใช้พลังงานของหม้อแปลงจำหน่าย เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมและการใช้พลังงานจริงของผู้ใช้ไฟฟ้าในอาคาร แล้วทำการเปรียบเทียบกับขนาดของหม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้งกับอาคาร ทำให้ทราบถึงความเหมาะสมและประสิทธิภาพการใช้งานจริงของหม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้ง นอกจากนั้นยังสามารถนำข้อมูลจากการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าไปใช้ในการวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอนาคตได้ จะช่วยให้หน่วยงานต่างๆ สามารถประหยัดพลังงาน อีกทั้งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายใหม่ในอนาคต

การวิจัยมีการเก็บข้อมูลของการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคารลงฐานข้อมูล เพื่อนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ามาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าจากหม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้ง นอกจากนั้นยังสามารถตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต และการตรวจสอบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าระยะไกล

คำสำคัญ: หม้อแปลงจำหน่าย,โปรแกรมแล็ปวิว

Abstract

This paper was developed to analyze and measuring the energy consumption of distribution transformers. The measure and monitor energy consumption behavior of consumers in buildings, then compare the size of distribution transformer installed on buildings. In addition to the data from measurement of electrical energy used in the planning of electric power in the future and allowing agencies to save energy, also reduces costs for installation of new distribution transformers in the future.

This paper, measurement of actual energy consumption of the building and data recoding by the database. The data measuring by LabVIEW Programming can be analyzed using energy efficiency, energy consumption of distribution transformers installed. It also can measure the electrical energy through the internet system and monitoring energy usage remote measurement.

Keyword: Distribution Transformer, LabVIEW

1. บทนำ

ปัจจุบันในระบบจำหน่ายแรงต่ำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีการติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายสำหรับอาคาร หรือสถานที่ต่างๆ ทั่วประเทศมีจำนวนมากกว่า 190,000 เครื่อง โดยทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้กับอาคารทั้งภาครัฐและเอกชน หม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้งระบบจำหน่ายมีอยู่ด้วยกันหลายขนาดโดยมีขนาดตั้งแต่ขนาด 50kVA-2000kVA ในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงนั้นจะต้องไม่เกินพิกัดของตัวหม้อแปลงจำหน่าย แต่ในความเป็นจริงอาคาร หรือสถานที่ต่างๆที่มีการติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายหลายๆเครื่องนั้น หม้อแปลงแต่ละเครื่องเมื่อติดตั้งในแต่ละอาคารนั้นอาจจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากหม้อแปลงไม่เหมาะสมกับขนาดของหม้อแปลงที่ติดตั้ง คือติดตั้งหม้อแปลงขนาดสูงเกินกว่าค่าโหลดจริงมากเกินไป หรือติดตั้งหม้อแปลงพิกัดสูงๆ แต่มีการใช้โหลดน้อยๆ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าอย่างไม่เกิดประโยชน์ เพราะว่าหม้อแปลงจำหน่ายทุกตัวเมื่อจ่ายไฟฟ้าตัวหม้อแปลงจำหน่ายจะเกิดค่าความสูญเสีย(Loss) ขึ้น โดยค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ตัวหม้อแปลงจะมีตลอดเวลา ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss) ซึ่งเป็นการสูญเสียคงที่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับขนาดหม้อแปลงโดยหม้อแปลงขนาดใหญ่จะเกิดค่าความสูญเสียมาก และส่วนที่สองเป็นการสูญเสียในขดลวด(Copper Loss) เป็นค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นอยู่กับการจ่ายกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลง ค่าความสูญเสียของหม้อแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียโดยไม่มีการใช้ประโยชน์ อีกทั้งผู้ใช้ไฟฟ้าจำเป็นจะต้องจ่ายค่าไฟฟ้าในส่วนนี้ ถ้าภายในหน่วยงานต่างๆ มีการติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายขนาดใหญ่หลายๆ เครื่องแล้วมีการใช้โหลดไม่เหมาะสมกับขนาดหม้อแปลงที่ติดตั้งจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าโดยไม่จำเป็น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญในเรื่องของการใช้พลังงานไฟฟ้าและการสูญเสียของหม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้งตามอาคารหรือสถานที่ต่างๆ โดยการวิจัยระบบการวิเคราะห์ และตรวจวัดการใช้พลังงานของหม้อแปลงจำหน่ายเพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานจริงของหม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้งในอาคาร หรือสาถานที่ต่างๆ ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมและการจ่ายพลังงานจริงของหม้อแปลงจำหน่ายแต่ละเครื่อง ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการใช้งานจริง และค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นจริงของหม้อแปลงจำหน่าย

ในการวิจัยนี้นอกจากจะทราบถึงการใช้พลังงานของหม้อแปลงจำหน่ายแล้ว ยังสามารถทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารต่างๆ ที่ติดตั้งหม้อแปลงและยังสามารถนำข้อมูลจากการวิจัยมาเป็นข้อมูลในการว่างแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอนาคตได้ ช่วยให้หน่วยงานต่างๆ ประหยัดพลังงาน หรือช่วยลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายใหม่ ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าของหน่วยงานหรือสถานที่ต่างๆ ที่ติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายและสามารถตรวจสอบการใช้พลังงานผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ทำให้เราสามารถตรวจสอบการใช้พลังจริงได้ สำหรับเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อไป

2. การออกแบบและพัฒนาระบบวัดพลังงานไฟฟ้า

การออกแบบ และพัฒนาระบบการวัดพลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วยส่วนวัดกำลังงานไฟฟ้า ประกอบการวัดปริมาณกระแส และแรงดันไฟฟ้า เซนเซอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าโดยใช้ Fluke i430 Flex เซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าโดยใช้หม้อแปลงแรงดันแรงดัน (Voltage Transformer :VT) โดยใช้การ์ดรับข้อมูล DAQ6024E รับข้อมูลสัญญาณแรงดัน และกระแสไฟฟ้าเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW สำหรับคำนวณขนาด และเฟส เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้า เพาเวอร์แฟ็กเตอร์ เก็บข้อมูลเข้าฐานข้อมูล และเชื่อมต่อผ่านระบบอินเตอร์เน็ตผ่านทางเว็ปไซต์พัฒนาโดยใช้โปรแกรมจูมลา(Joomla) ติดต่อสื่อสารกับโปรแกรม LabVIEW โดยแสดงขั้นตอนการออกแบบดังต่อไปนี้

2.1 การออกแบบการวัดกำลังไฟฟ้า (Power Measurement Design)

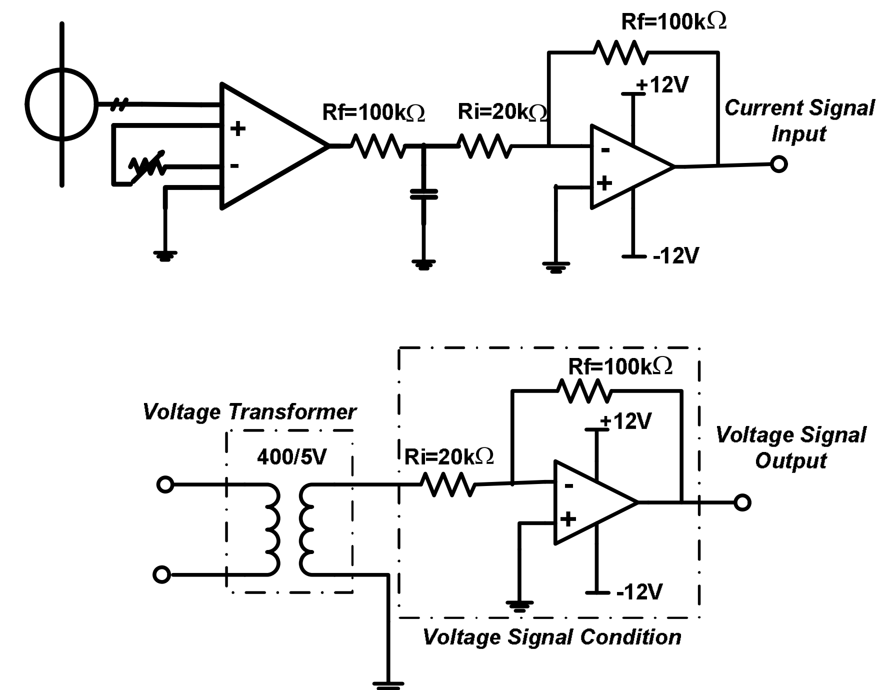
การออกแบบการวัดกำลังไฟฟ้าโดยการใช้ข้อมูลจากสัญญาณแรงดัน กระแสไฟฟ้า และความต่างเฟสระหว่างแรงดันกับกระแสไฟฟ้าคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า ประกอบด้วย กำลังไฟฟ้าปรากฎ(Apparent Power) กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) และกำลังไฟฟ้าต้านกลับ (Reactive Power) นอกจากนั้นยังสามารถวัดเพาเวอร์แฟ็กเตอร์ (Power Factor)

การออกแบบวัดกระแสไฟฟ้ากำหนดพิกัดวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 2,000 A ตามพิกัดของหม้อแปลงจำหน่ายพิกัดสูงสุดขนาด 1,250kVA ที่ติดตั้งภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ปริมาณจ่ายกระแสได้สูงสุด 1,804 A โดยใช้ Fluke i430 Flex ของบริษัท FLUKE ขนาด 3000A แสดงดังภาพที่ 1

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

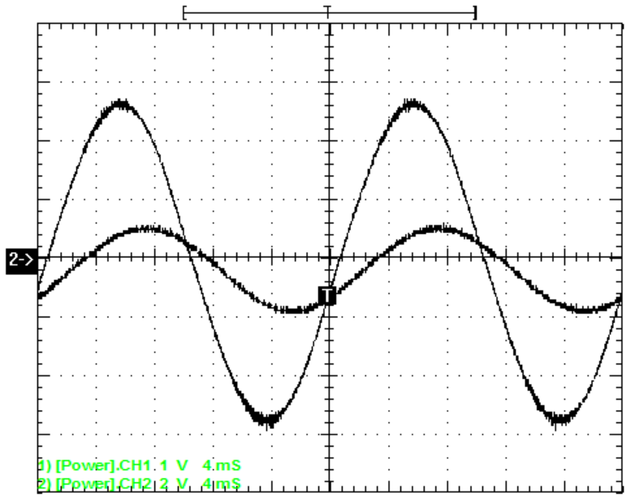
ภาพที่ 1: เซนเซอร์วัดกระแส Fluke i430 ชนิด Flex

สัญญาณแรงดันเอาต์พุตจาก Fluke i430 Flex มีระดับสัญญาณที่ต่ำจำเป็นต้องปรับแต่งสัญญาณแรงดันเอาต์พุตจาก Fluke i430 Flex ให้มีระดับแรงดันสูงขึ้นโดยใช้อินสทรูเมนท์แอมป์ INA126 และ ออปแอมป์ LF353 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณแสดงดังภาพที่ 3.2 การออแบบการวัดแรงดันไฟฟ้าพิกัดสูงสุด 500V โดยหม้อแปลงแรงดัน(Voltage Transformer) โดยมีอัตราส่วน 400/5V แรงดันเอาต์พุตจากหม้อแปลงแรงดันมีการปรับแต่งสัญญาณด้วยวงจรออปแอมป์ขยายสัญญาณแบบกลับเฟสแสดงดังภาพที่ 2 การกำหนดแรงดันเอาต์พุตของวงจรปรับแต่งสัญญาณแรงดันโดยกำหนดแรงดันที่วัดสูงสุด 500V แรงดันเอาต์พุต $5V_{rms}$



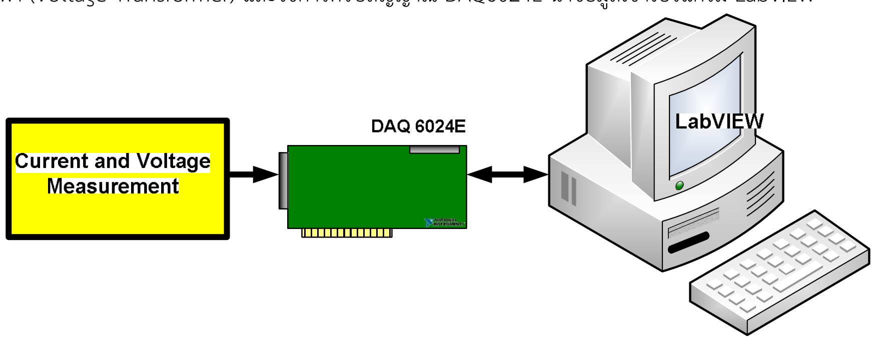
ภาพที่ 2: วงจรวัดสัญญาณกระแส และแรงดันไฟฟ้า

การทดสอบการวัดกำลังไฟฟ้าโดยใช้เครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A จ่ายกำลังไฟฟ้าจากเครื่องโดยกำหนดให้เครื่อง Fluke 5500A จ่ายแรงดัน 380V จ่ายกระแส 2 A กำหนดค่ามุมเฟสเป็นศูนย์ 30 องศาล้าหลัง และมุมเฟส 30 องศานำหน้า และทำการวัดสัญญาณ และมุมเฟสของสัญญาณระหว่างแรงดัน กับกระแสไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3: สัญญาณแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าล้าหลังเป็นมุม 30 องศา หรือเพาเวอร์แฟ็กเตอร์ล้าหลัง 0.866

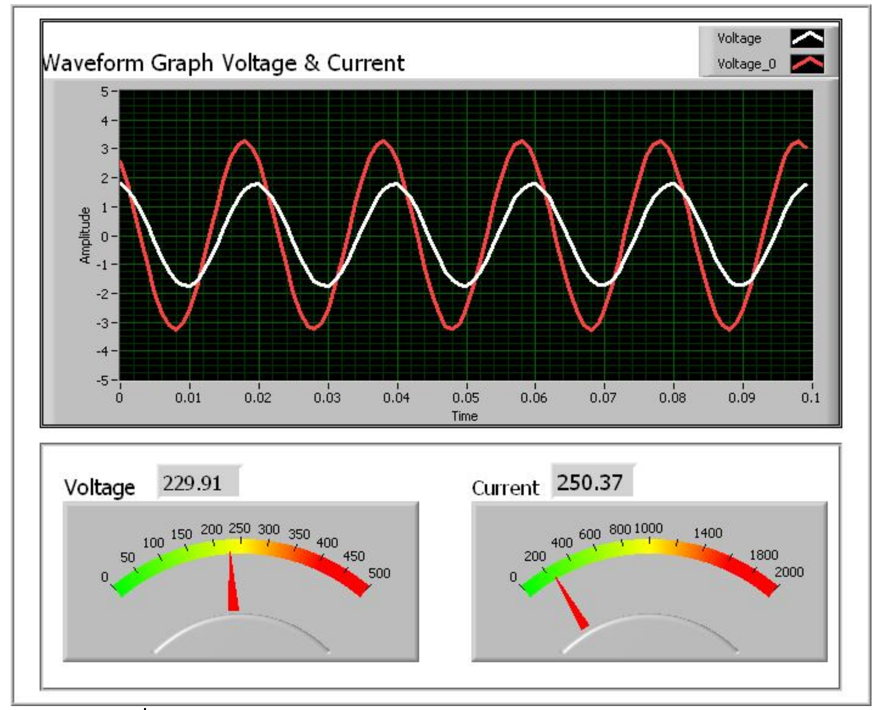
จากภาพที่ 4 แสดงการวัดกระแส และแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม LabVIEW คำนวณปริมาณกระแส และแรงดันไฟฟ้า โดยรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากวงจรปรับแต่งสัญญาณที่ส่งสัญญาณจากเซนเซอร์วัดกระแส โดย Fluke i430 Flex และหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Voltage Transformer) และใช้การ์ดรับสัญญาณ DAQ6024E นำข้อมูลเข้าโปรแกรม LabVIEW



ภาพที่ 4: การรับข้อมูลสำหรับคำนวณกระแส และแรงดันไฟฟ้าด้วยโปรแกรม LabVIEW

2.6 การวัดกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม LabVIEW

การวัดกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยการอ่านข้อมูลสัญญาณแรงดัน และกระแสไฟฟ้าจาก DAQ6024E การคำนวณกำลังไฟฟ้าโดยนำค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าชั่วขณะคำนวณกำลังไฟฟ้าจริง(Active Power :P) ซึ่งเป็นการหาค่าเฉลี่ย $p(t) = v(t) \cdot i(t)$ การคำนวณกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power:S) โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า อาร์เอ็มเอสคือ $S = V_{rms} \times I_{rms}$ การคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Reactive Power:Q) จาก $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ และคำนวณค่าตัวประกอบกำลัง(Power Factor) $P.F. = \frac{P}{S}$



ภาพที่ 5: ฟอร์นพาแนลแสดงผลการคำนวณกระแส และแรงดันไฟฟ้าด้วยโปรแกรม LabVIEW

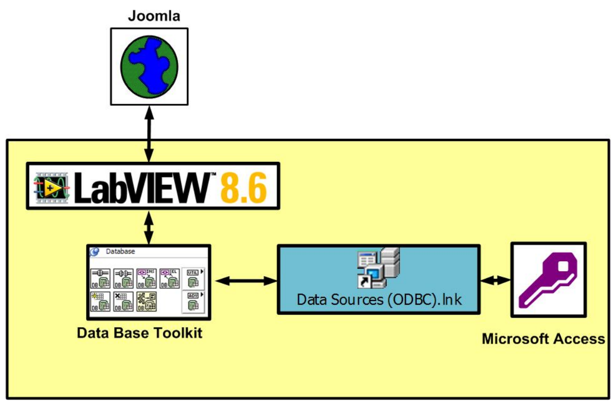
Fluke 5500A						LabVIEW					
V (V)	I (A)	φ	S (kVA)	P (kW)	Q (kVar)	V (V)	I (A)	φ	S (kVA)	P (kW)	Q (kVar)
230	200	0.86	46.00	39.56	23.00	230	201.32	0.85	45.89	40.48	22.8
230	400	0.86	92.00	79.12	46.00	230	399.89	0.85	92.55	78.88	45.89
230	600	0.86	138.00	118.68	59.34	230	601.02	0.86	137.90	117.53	60.14
230	800	0.86	184.00	158.24	92.00	230	799.88	0.86	185.30	157.94	93.10
230	1000	0.86	230.00	197.8	115.00	230	1000.01	0.86	231.21	198.21	116.10
230	1200	0.86	276.00	237.36	138.00	230	1201.02	0.86	277.40	236.34	137.56
230	1400	0.86	322.00	276.92	161.00	230	1399.89	0.86	321.84	275.89	160.78
230	1600	0.86	368.00	316.48	184.00	230	1601.10	0.86	369.45	317.09	185.26
230	1800	0.86	414.00	356.04	207.00	230	1802.64	0.86	415.71	355.64	208.72
230	2000	0.86	460.00	395.60	230.00	230	2003.56	0.86	461.39	394.21	231.89

ตารางที่ 1: การวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยโปรแกรม LabVIEW เปรียบเทียบกับแรงดันจาก Fluke 5500A

การทดสอบการวัดกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่ออกแบบสร้าง โดยทดสอบความถูกต้องเปรียบเทียบกับเครื่องสอบเทียบ Fluke 5500A จะเห็นว่าโปรแกรม LabVIEW สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องสอบเทียบได้ถูกต้อง คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าจริง ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่ากำลังไฟฟ้าต้านกลับและค่าเพาเวอร์แฟ็กเตอร์ ได้ถูกต้องโดยสามารถแสดงผลการวัดเป็นรูปภาพกราฟฟิกได้แสดงดังภาพที่ 5

2.7 การเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล และการสร้างเว็ปเพจด้วยโปรแกรมLabVIEW

การนำข้อมูลพลังงานไฟฟ้าเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม LabVIEW 8.6 โดยนำข้อมูลเก็บด้วยโปรแกรม Database Access การออกแบบเริ่มจากสร้างโปรแกรมสำหรับแสดงผล และเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล โดยใช้โมดูล Database Toolkit จากโปรแกรม LabVIEW เชื่อมต่อการเก็บข้อมูล ลำดับถัดมาสร้างไฟล์ Microsoft Access โดยกำหนดตารางและค่าต่างเพื่อเก็บลงฐานข้อมูลโดยการเปิดโปรแกรม Microsoft Office Access เพื่อสร้างฐานข้อมูล โดยกำหนดตารางต่างๆ ให้สัมพันธ์กับข้อมูล และช่องที่ต้องการเก็บข้อมูล ดังภาพที่ 6 โดยกำหนดจำนวนข้อมูลที่จำเก็บ ดังเช่น วันเวลา จำนวนแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและกำหนดค่า DSN (ODBC) Data Source Administrator สร้างโปรแกรม LabVIEW เพื่อส่งข้อมูลที่ทำการเก็บลงฐานข้อมูล นอกจากนั้นต้องทำการ Create Data Link.. เพื่อทำการติดต่อของข้อมูลจากโปรแกรม LabVIEW เพื่อส่งข้อมูลกำลังไฟฟ้าเก็บลงฐานข้อมูล



ภาพที่ 6: การติดต่อระหว่างโปรแกรม LabVIEW และ Microsoft Access

การสร้าง Webpage ด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยการสร้างไฟล์ที่สามารถเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย(Server) ซึ่งคอมพิวเตอร์ลูกข่ายแสดงข้อมูล หรือเชื่อมต่อข้อมูลแสดงผลผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตโดยการสร้าง Webpage โดยใช้คำสั่ง Web Publishing Tool จากโปรแกรม LabVIEW เมื่อสร้างไฟล์เสร็จสมบูรณ์จะสามารถแสดงของมูลที่หน้า Web Browser

2.9 การสร้างเว็ปเพจด้วยโปรแกรมJoomla ติดต่อกับโปรแกรมLabVIEW

การสร้างเว็ปเพจด้วยโปรแกรม Joomla โดยติดตั้งที่เซอร์เวอร์ ณ ศูนย์คอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย โดยตำแหน่งของเว็ปเพจคือ http://home.npru.ac.th/power การติดต่อสื่อสารระหว่างเว็ปเพจกับโปรแกรม LabVIEW สำหรับการแสดงผลพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นกราฟฟิกส์นั้นโดยการสร้างเมนูเชื่อมโยงในส่วนของเมนูหลักของโปรแกรม Joomla หลังจากสร้างเมนูเชื่อมโยงหน้าเว็ปเพจ และทำการทดสอบการทำงานของการแสดงผลข้อมูลแล้วผลการทดสอบสามารถแสดงหน้าเว็ปเพจจากโปรแกรมLabVIEW โดยการเชื่อมโยงกับโปรแกรม LabVIEW ผ่านลิงค์ http://power-e200a14e6.mshome.net:81/signal2ch_Lab5_Power-3-0.html ที่สร้างขึ้นโดยหน้าเว็ปเพจทำหน้าที่แสดงผลข้อมูลต่างๆ ของการวัดพลังงานหม้อแปลงจะหน่าย จากผลการทดสอบพบว่าออกแบบระบบการวัดกำลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตสามารถแสดงผลการวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลงจำหน่ายได้อย่างถูกต้อง โดยสามารถเรียกดูข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต นอกจากนั้นยังสามารถนำข้อมูลจากการวัดพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลงจำหน่ายไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลงจำหน่ายได้

3. การทดสอบการหาประสิทธิภาพหม้อแปลงจำหน่ายและการแสดงผลผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

3.1 การทดสอบประสิทธิภาพของหม้อแปลงจำหน่าย

การทดสอบการหาประสิทธิภาพหม้อแปลงจำหน่ายโดยติดตั้งชุดวัดพลังงานไฟฟ้าวัดพลังงานไฟฟ้าที่หม้อแปลงจำหน่ายจ่ายให้กับอาคาร เก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล ส่งข้อมูลการแสดงผลต่างๆ ผ่านเว็บเพจ เพื่อสามารถตรวจสอบสถานะของการใช้พลังงานผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

การทดสอบหม้อแปลงอาคารวิศวกรรม และเทคโนโลยี มีพิกัดขนาด 1000kVA บริษัท เอกรัฐ เป็นชนิด

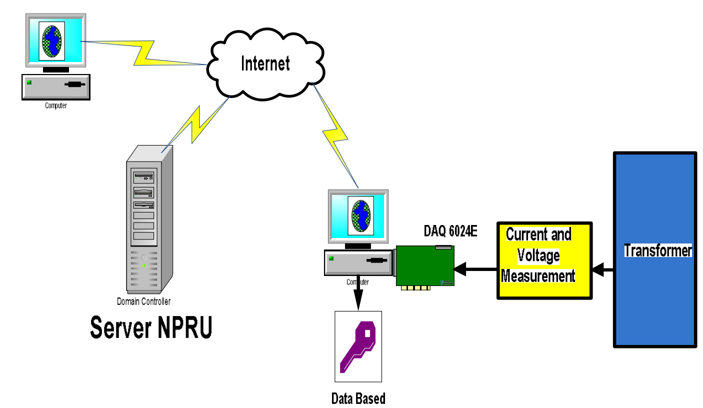
Type: Oil-immersed transformer Hermetically Sealed Type

Voltage: 3Ph. 50Hz 22KV - 400/230 V , Off-circuit tap changer +/- 2 X 2.5% on HV side, Vector connection Dyn11

Rating (KVA)	No-Load **Loss** (w)	Load Loss 75°C (w)	%Z 75°C	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)	Total Weight (Kg)
1000	1600	13500	6	1940	1190	1730	2930

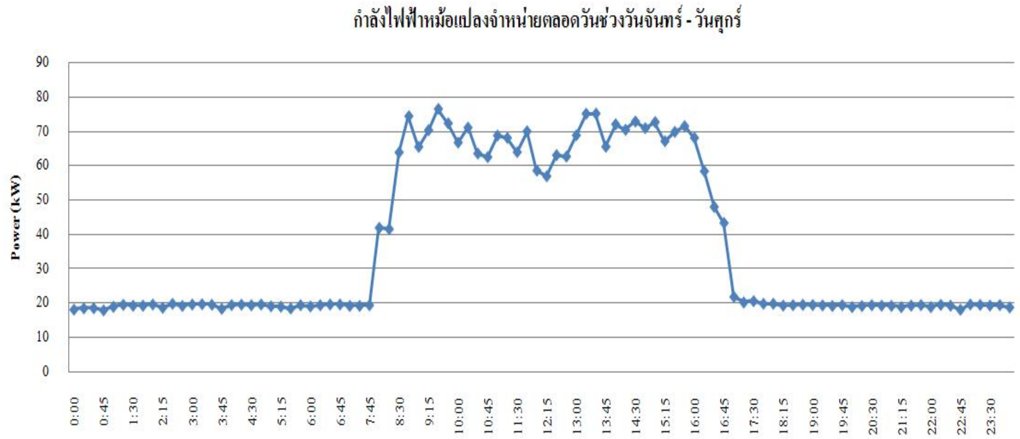
ตารางที่ 2 พิกัดหม้อแปลงขนาด 1000kVA บริษัท เอกรัฐ จำกัด

จากภาพที่ 7 แสดงระบบการวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลงจำหน่าย ระบบทำการวัดพลังงานไฟฟ้าจากหม้อแปลงจำหน่ายโดยตรง ด้วยโปรแกรม LabVIEW และเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลด้วย Microsoft Access เพื่อเก็บข้อมลการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า เพาเวอร์แฟ็กเตอร์

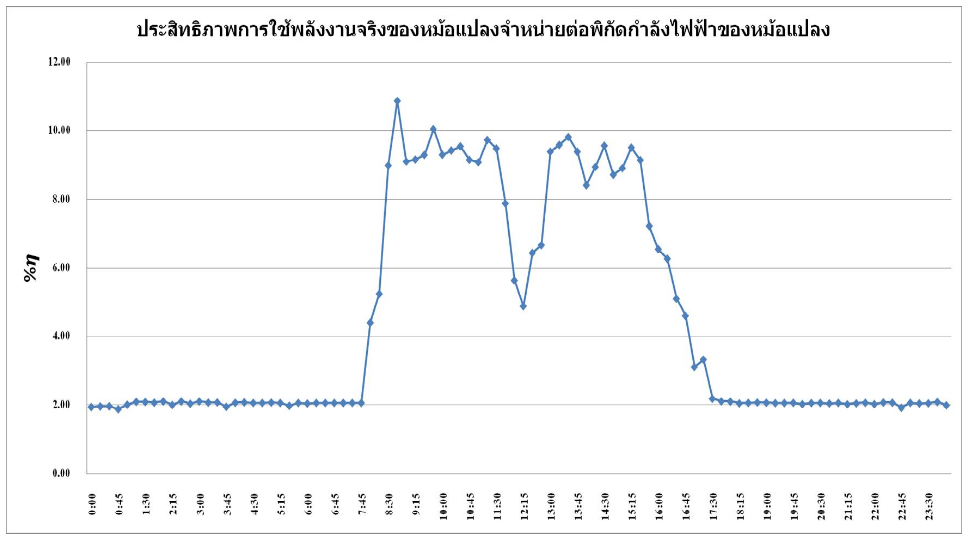


ภาพที่ 7 ระบบวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าหม้อแปลงจำหน่าย

จากภาพที่ 8 และภาพที่ 9 แสดงผลการบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานหม้อแปลงจำหน่ายจากการเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล Microsoft Access โดยเก็บข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ค่าเพาเวอร์แฟ็กเตอร์ จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมากวิเคราะห์การจ่ายพลังงานของหม้อแปลงจำหน่ายได้ โดยการหาค่าประสิทธิภาพโดยคำนวณจากอัตราส่วนพลังงานเอาต์พุตต่อพลังงานอินพุต ส่วนพลังงานเอาต์พุตคือกำลังงานไฟฟ้าจริงจ่ายจากหม้อแปลง($P=VI\cos\theta$) พลังงานอินพุตคือพลังงานเอาต์พุตรวมกับค่าความสูญเสียของหม้อแปลง(Loss) โดยส่วนสูญเสียของหม้อแปลงประกอบด้วยสองส่วนคือ การสูญเสียจากแกนเหล็ก (Core Loss) จะคงที่ซึ่งอ้างอิงจากโรงงานผู้ผลิต ส่วนการสูญเสียจากขดลวด (Copper Loss) จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกของหม้อแปลง



ภาพที่ 8: แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลงจำหน่ายตลอดวันช่วงวันจันทร์ – วันศุกร์

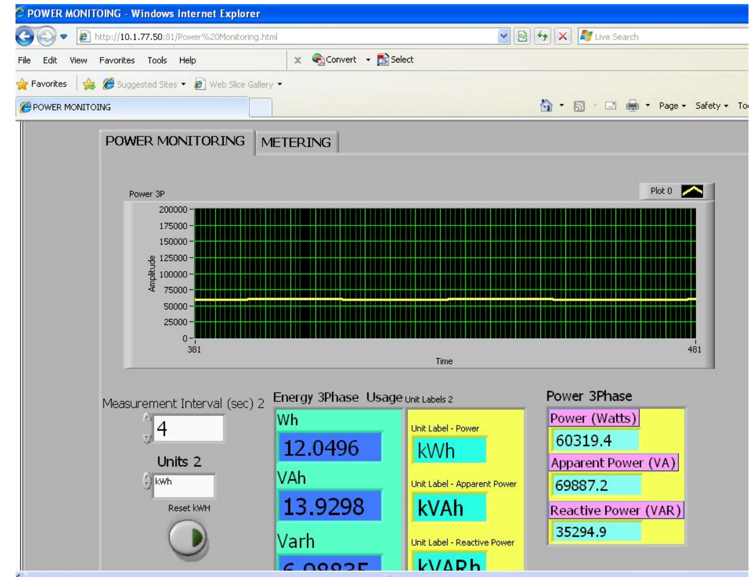


ภาพที่ 9: แสดงประสิทธิภาพการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจริงต่อพิกัดของหม้อแปลงจำหน่ายที่พิกัด 1000kVA

การบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นการเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง การวิเคราะห์ข้อมูลจะแบ่งเป็นการวัดการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจริงของหม้อแปลง และการวัดหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงโดยแบ่งออกเป็นประสิทธิภาพระหว่างพลังงานเอาต์พุตต่อพลังงานอินพุต และประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงต่อพิกัดของหม้อแปลงจำหน่าย ช่วงเวลาการวัดพลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็นช่วงหนึ่งสัปดาห์ ผลจากการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 8 จะเห็นว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารวิศวกรรมและเทคโนโลยี การใช้พลังงานระยะเวลาประมาณ 8 ชั่วโมงจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยวันจันทร์-วันศุกร์ ประมาณ 75-100kW และจากภาพที่ 9 แสดงแสดงประสิทธิภาพการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจริงต่อพิกัดของหม้อแปลงจำหน่ายที่พิกัด 1000kVA โดยสามารถแสดงประสิทธิภาพของหม้อแปลงช่วงเวลาการทำการหม้อแปลงจะมีประสิทธิภาพสูง โดยพบว่าอาคารวิศวกรรมฯ มีการใช้พลังงานสูงสุดไม่เกิน 10% หรือประมาณ 100kVA ของพิกัดของหม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้ง

3.2 การแสดงผลการวัดพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลงจำหน่ายผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

การแสดงผลการวัดพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลงจำหน่ายผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต โดยเวบไซท์สำหรับแสดงผลการวัดพลังงานอยู่ ณ เซอร์เวอร์ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ตำแหน่งคือ http://home.npru.ac.th/power โดยผู้วิจัยใช้โปรแกรม Joomla เขียนเวบไซท์ ติดต่อกับโปรแกรม LabVIEW สำหรับการเชื่อมโยงส่วนแสดงการวัดประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของมห้อแปลง จากเครื่องมือสดสอบที่ติดตั้งอยู่ที่หม้อแปลง แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10: เว็บเพจแท็ปแสดงกราฟ และการวัดการใช้พลังงานหม้อแปลงจำหน่าย

การทดสอบการวัดการใช้พลังงานหม้อแปลงจำหน่ายผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ซึ่งสามารถแสงดผลการใช้พลังงานของหม้อแปลงจำหน่ายได้ โดยใช้โปรแกรม Joomla ติดต่อกับโปรแกรม LabVIEW สามารถแสดงผลเป็นแบบตามเวลาจริง (Real Time Monitoring) ทำให้สามารถตรวจสอบพารามิเตอร์ หรือการวัดค่าพลังงานต่างๆได้ และสามารถตรวจสอบในระยะไกล (Remote Monitoring) ได้นอกจากนั้นโปรแกรมยังนำข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่วัดเก็บลงฐานข้อมูล โดยสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์การใช้พลังงานของหม้อแปลงจำหน่ายได้

4. สรุป

การวิจัยการพัฒนาระบบการวิเคราะห์ และตรวจวัดการใช้พลังงานของหม้อแปลงจำหน่าย ผู้วิจัยสามารถออกแบบระบบการตรวจวัดการใช้พลังงานของหม้อแปลงจำหน่ายได้ โดยการออกแบบชุดวัดกระแสไฟฟ้าโดยใช้ Fluke i430 Flex เป็นเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า 3 เฟส และชุดวัดแรงดันไฟฟ้าโดยใช้หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า(Voltage Transformer) สำหรับลดทอนแรงดัน และมีการปรับแต่งสัญญาณเป็นสัญญาณมาตรฐาน ส่งสัญญาณไปยังชุดอ่านข้อมูล DAQ6024E โดยใช้โปรแกรม LabVIEW อ่านค่าข้อมูลของสัญญาณแรงดัน และกระแสไฟฟ้า สำหรับการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เพาเวอร์แฟ็กเตอร์(Power Factor) กำลังไฟฟ้าจริง(Active Power) กำลังไฟฟ้าปรากฏ(Apparent Power) และกำลังไฟฟ้าด้านกลับ(Reactive Power) โดยโปรแกรม LabVIEW ช่วยในการแสดงผลการวัดอยู่ในรูปแบบการแสดงผลเป็นกราฟฟิกส์มีความสวยงาม และสะดวก นอกจากนั้นผู้วิจัยยังนำข้อมูลจากการวัดการใช้พลังงานหม้อแปลงเก็บลงฐานข้อมูล Microsoft Access โดยกำหนดการเก็บข้อมูลทุกๆ 15นาที ทำให้เราสามารถนำข้อมูลจากฐานข้อมูลที่เก็บมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหม้อแปลงจำหน่ายได้

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอาคารวิศวกรรม และเทคโนโลยี นั้นจะเห็นว่าการใช้พลังงานของอาคารประมาณ 10% หรือประมาณ 100kVA เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของหม้อแปลงที่ติดตั้ง(1000kVA) จะเห็นว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคารต่ำมากเมื่อเทียบกับหม้อแปลงที่ติดตั้ง นอกจากนั้นการวิเคราะห์การ

ใช้พลังงานตลอด 24 ชั่วโมง จากกราฟการแสดงการใช้พลังงานจะเห็นว่าอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงประมาณ 8 ชั่วโมง หรือช่วงเวลามีการเรียนการสอน และเมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างวันจันทร์ –วันศุกร์ จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำกว่าช่วงเวลาวันเสาร์-อาทิตย์ จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอาคารวิศวกรรมและเทคโนโลยียังสามารถจ่ายโหลดได้อีก 90% โดยสามารถจ่ายโหลดในอนาคตได้โดยใช้หม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้ง

การออกแบบระบบการตรวจวัดการใช้พลังงานหม้อแปลงจำหน่ายผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตโดยผู้วิจัยออกแบบระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านเว็บไซต์โดยใช้โปรแกรม Joomla ติดต่อเชื่อมโยงกับโปรแกรม LabVIEW โดยติดตั้งโปรแกรม Joomla ที่เซอร์เวอร์ของมหาวิทยาลัยฯ โดยเชื่อมโยงการแสดงผลกับระบบตรวจวัดวัดพลังงานไฟฟ้าหม้อแปลงจำหน่ายของอาคาร จากการทดสอบสามารถตรวจวัดการใช้พลังงานหม้อแปลงจำหน่ายผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้

จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์สำหรับระบบการวัดพลังงานไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น การวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ทำให้สามารถตรวจวัด และวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าได้ทันทีทันใด นอกจากนั้นยังสามารถนำข้อมูลจากการวัดพลังงานไฟฟ้าจริงไปวิเคราะห์บริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบประหยัดพลังงานไฟฟ้า ระบบการตรวจวัดพลังงานระยะไกลเป็นต้น

5. เอกสารอ้างอิง

[1] เอกสารคู่มือหม้อแปลง บริษัท เอกรัฐ จำกัด

[2] Operator Reference Guide 5500A Multi-Product Calibrator

[4] William M. Flanagan "HANDBOOK OF TRANSFORMER DESIGN AND APPLICATIONS" McGraw-Hill Companies 2nd ed.

[5] H.C. Lin "On Line Web-based Maximum Wind Power Monitoring and Control System", *2006 IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics* , October 8-11 , 2006 , Taipei , Taiwan.

[6] M.Xiren , L. Subin and Z.Liping. "Electromagnetic Apparatus Testing System Based-on Network" *The Eighth International Conference on Electronic Measurement and Instruments. ICEMI 2007.*

[7] C.P. Young, W.L. Juang and J. Devaney "Real Time Intranet-Controlled Visual Instrument Multiple-Circuit Power Monitoring" *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENT AND MEASURENENT,* VOL.49, NO. 3 , JUNE 2000.

[8] C.P. Young, W.L. Juang and J. Devaney "Universal Serial Bus Enhances Visual Instrument-Based Distributed Power Monitoring" *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASURMENT*, VOL. 50, NO.6, DECEMBER 2001.

[9] Minghao Yang, Yajun Shi, and Jing Zhag "Efficent Operation regions of Power Distribution Transformers" IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL.19, NO. 4 OCTOBER 2004.

[10] C.P. Yong , W.L. Juang and M.J. Devaney " Real-time Intranet Controlled Visual Instrument Multiple-circuit Power Monitoring" Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on Issue: 3, pp: 57 9 – 584, Jun 2000

[11] Abdul-Rahman Al-Ali, Abdul Khaliq & Muhammad Arshad "GSM-Based Distribution Transformer Monitoring System" IEEE MELECON 2004, May 12-15,2004, Dubrovnik, Croatia.

การศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติของ cantenna กับสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม

Study and Comparison of Qualification Characteristic of Cantenna and Rectangular Microstrip Antenna

สรายุทธ บรรหาร[1], หฤทัย ดิ้นสกุล[2], โสภาพรรณ สุวรรณสว่าง[3]

[1,2,3]กลุ่มโปรแกรมวิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

t_b_bk@hotmail.com[1], harutai@npru.ac.th[2], sopapun@gmail.com[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบ การสร้าง และการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศ 2 ชนิด ได้แก่ สายอากาศแบบ cantenna และสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม โดยออกแบบให้สายอากาศทั้งสองชนิดที่ความถี่ใช้งาน 2.4 GHz เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย จำลองการทำงานด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio 2009 และวัดค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับที่ได้จากอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่าย ผลการทดสอบพบว่าสายอากาศแบบ cantenna มีค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเท่ากับ -19.508 dB *และสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม มีค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเท่ากับ -21.595 dB* ซึ่งสามารถนำมาใช้งานได้ทั้งสองชนิด

คำสำคัญ: *สายอากาศแบบ cantenna , สายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม*,อุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่าย

Abstract

This paper presents to developed for the design implementation and comparison between cantenna antenna and rectangular microstrip antenna. Both antenna can be use for wireless communication. The developed antenna has been similated by CST program and return loss has been measured by network analyzer. The result showed cantenna antenna has return loss to -19.508 dB *and rectangular microstrip antenna has return loss to -21.595 dB. In addition, both antenna can be used in wireless communication systems .*

Keyword: *cantenna antenna , Microstrip antenna*,Network Analyzer

1. บทนำ

สายอากาศในระบบสื่อสารไร้สายในปัจจุบันนี้มีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร สายอากาศแบบไมโครสตริปถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการออกแบบและการสร้าง และสามารถพัฒนาในวงจรรวมไมโครเวฟได้ แต่งานบางงานไม่ได้คำนึงถึงโครงสร้างที่มีขนาดเล็ก แต่คำนึงถึงการสร้างที่ง่าย งานวิจัยนี้จึงได้เปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศแบบ cantenna ที่มีวิธีการสร้างที่ไม่ยุ่งยาก กับ สายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม ในย่านความถี่ใช้งานเดียวกันคือ 2.4 GHz พบว่าสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม มีค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเท่ากับ -21.595 dB ซึ่งดีกว่า สายอากาศแบบ cantenna มีค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเท่ากับ -19.508 dB

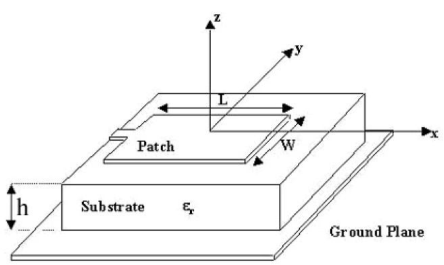
2. ที่มาและแรงจูงใจของปัญหา

จากผลการวิจัยและพัฒนาที่ผ่านมาพบว่าโครงสร้างที่เป็นไมโครสตริปจะประสบปัญหา และข้อจำกัด เช่นเมื่อต้องการเชื่อมต่ออุปกรณ์จำเป็นจะต้องมีช่องผ่าน (viaholes) เพื่อเชื่อมต่อตัวนำด้านบนกับระนาบกราวด์ด้านล่าง ซึ่งจะทำ ให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณสูง (highdispersion) และการสูญเสียสูง (high insertion loss) [1] ความหนาของสตริปโดยปกติจะมีค่าน้อยมากๆ จนอาจพิจารณาได้ว่าเป็นศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติค่าความหนาดังกล่าวมิใช่ศูนย์ตามที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ ซึ่งค่าความหนาดังกล่าวจะมีผลต่อทั้งค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ อย่างไรก็ตามความหนาของสตริปจะมีผลอย่างยิ่งต่อการสูญเสียของคลื่นความถี่บนแผ่นตัวนำ (Conductor Loss) ของสายนำสัญญาณบนไมโครสตริป [2] ผู้วิจัยได้ศึกษาโครงสร้างของสายอากาศแบบ cantenna พบว่าในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไม่จำเป็นต้องมีช่องผ่านและไม่มีผลกระทบเรื่องความหนาของสตริป จึงได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติในการรับส่งของสายอากาศแบบ cantenna และสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมขึ้น พบว่าสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม มีค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเท่ากับ -21.595 dB ซึ่งดีกว่า สายอากาศแบบ cantenna มีค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเท่ากับ -19.508 dB แต่สายอากาศแบบ cantenna มีโครงสร้างที่ง่ายต่อการออกแบบและสร้าง

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 สายอากาศไมโครสตริป (microstrip antenna)

สายอากาศไมโครสตริป คือสายอากาศซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นโลหะวางติดบนสารแผ่นฐาน ซึ่งเป็นสารไดอิเล็กตริกเหนือกราวด์เพลน อาจมีวัสดุห่อหุ้ม (radome) เพื่อใช้ป้องกันสายอากาศได้ [3] ดังภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป



ภาพที่ 1: โครงสร้างทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป

3.2 สายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม

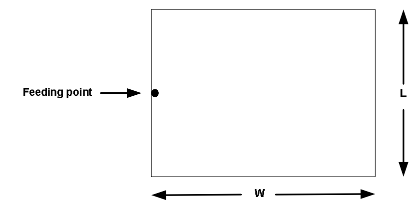
สายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม ประกอบด้วยพารามิเตอร์ คือ ความยาว (L) และความกว้าง (W) แสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งค่าความยาวของสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมจะเป็นสิ่งกำหนดค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศ และค่าความกว้างเป็นสิ่งกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ [4] ในการออกแบบต้องคำนวณหาค่าคงที่ดังสมการที่ 1

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\varepsilon_r}} \qquad (1)$$

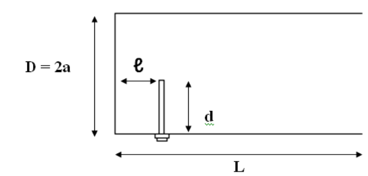
โดย F คือค่าคงที่, f_r คือความถี่ที่ใช้งาน, ε_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของซับสเตรทและหารัศมีของแผ่นตัวนำ (a) ได้จากสมการที่ 2

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \varepsilon_r F}\left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1.7726\right]\right\}^{1/2}} \qquad (2)$$

โดย a คือรัศมีของแผ่นตัวนำ , F คือค่าคงที่ , h คือความสูงของซับสเตรท และ ε_r คือค่าคงที่ไดอิเลกตริกของซับสเตรท



ภาพที่ 2 : ลักษณะโครงสร้างของสาอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม



ภาพที่ 3 : โครงสร้างของสายอากาศท่อนำคลื่นวงกลมปลายเปิดด้านเดียว

3.3 โครงสร้างของสายอากาศท่อนำคลื่นแบบกลมปลายเปิดด้านเดียว

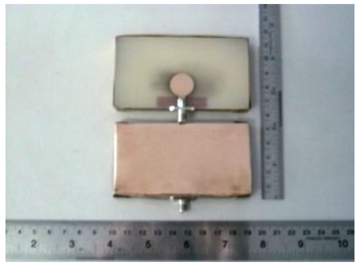
โครงสร้างของสายอากาศท่อนำคลื่นแบบกลมปลายเปิดด้านเดียว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของสายอากาศ คือ D และ L ตำแหน่งและความยาวของตัวนำที่ยื่นเข้าไปในภายในท่อนำคลื่น คือ ℓ และ d ดังภาพที่ 3 โดยท่อนำคลื่นที่ปลายปิดจะมีลักษณะเทียบได้กับการลัดวงจรของสายโคแอกเชียล เมื่อมีคลื่นเข้ามาจะเกิดการสะท้อนจากด้านท้าย ซึ่งก็คือคลื่นนิ่ง (standing wave) การออกแบบ cantenna จะต้องกำหนดความถี่ใช้งานและรัศมีของกระป๋องและหาความยาวคลื่นในท่อนำคลื่น โดยหาได้จากสมการที่ 3 และสมการที่ 4 ตามลำดับ

$$\lambda_c = \frac{c}{f} \qquad (3)$$

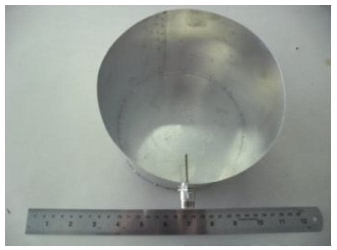
โดย λ_c คือความยาวคลื่นของความถี่ใช้งาน, C คือความเร็วแสงในอากาศเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที และ f คือความถี่ที่ใช้งาน

$$\lambda_g = \frac{\lambda_c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_c}{3.412(a)}\right)^2}} \qquad (4)$$

โดย λ_g คือความยาวคลื่นในท่อนำคลื่น, λ_c คือความยาวคลื่นของความถี่ใช้งาน และ a คือรัศมีของกระป๋อง



ภาพที่ 4 : รูปทรงของสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม



ภาพที่ 5: รูปทรงของCantenna

4. รายละเอียดการพัฒนา

ในการวิจัยนี้ ทำการออกแบบสายอากาศ 2 ชนิด คือสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม มีจุดฟีด (feed) กับระนาบกราวด์ (ground plane) เป็นทองแดง แพทซ์เป็นรูปวงกลมมีรัศมีเท่ากับ 8 มิลลิเมตร วัสดุที่ใช้เป็นแผ่นวงจรพิมพ์แบบหน้าเดียว ชนิด FR-4 และออกแบบสายอากาศแบบ cantenna ซึ่งเป็นสายอากาศท่อนำคลื่นวงกลมปลายเปิดด้านเดียว โดยทำการคำนวณที่รัศมีกระป๋องขนาด 50 มิลลิเมตร เพื่อหาความยาวของกระป๋อง , ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับก้านฟีด (Feed) จากก้นกระป๋อง และความสูงของก้านฟีด (Feed)

4.1 การออกแบบไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม มีรูปทรงแบบโมโนโพลวงกลม แสดงดังภาพที่ 4 สายอากาศถูกสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR-4 มีค่าสูญเสียไดอิเล็กตริก (ε_r) เท่ากับ 4.6 ค่า Loss Tangent (δ) เท่ากับ 0.025 ความสูงของฐานรองไดอิเล็กตริก (h) เท่ากับ 1.6 มิลลิเมตร และความหนาของทองแดงเท่ากับ(T_k) 0.016 มิลลิเมตร ซึ่งสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมมีความกว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาว 90 มิลลิเมตร และสูง 1.6 มิลลิเมตร มีจุดฟีด (feed) กับระนาบกราวด์ (ground plane) เป็นทองแดง แพทซ์เป็นรูปวงกลมมีรัศมีเท่ากับ 8 มิลลิเมตร , สายนำสัญญาณมีความกว้าง (W_f) เท่ากับ 4.8 มิลลิเมตร และระนาบกราวด์มีความกว้าง 34 มิลลิเมตร

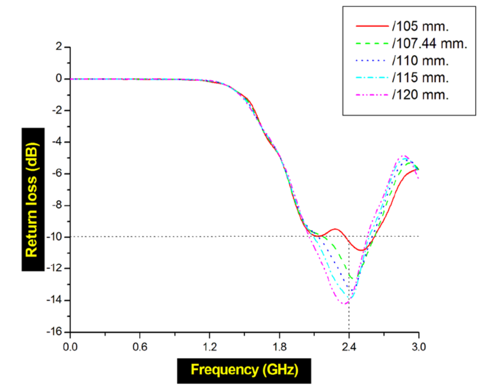
4.2 การออกแบบสายอากาศแบบ cantenna

สายอากาศแบบcantenna เป็นสายอากาศท่อนำคลื่นวงกลมปลายเปิดด้านเดียว มีรูปทรงกระบอกคล้ายกระป๋อง แสดงไว้ในภาพที่ 5 โดยสายอากาศถูกสร้างด้วยแผ่นอลูมิเนียมมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเท่ากับ 150 มิลลิเมตร ความยาวกระป๋องเท่ากับ 115 มิลลิเมตร และจุดฟีด (Feed) เป็นทองแดงสูงเท่ากับ 31.25 มิลลิเมตร อยู่ห่างจากก้นกระป๋องเท่ากับ 35.81 มิลลิเมตร

5. ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลอง cantenna

ผลการจำลองการทำงานของสายอากาศ cantenna ด้วยโปรแกรม CST โดยกำหนดให้ขนาดของสายอากาศแบบ cantenna มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร และเปลี่ยนแปลงค่าความยาว (L) ที่ขนาดต่างๆ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 6 และตารางที่ 1 ตามลำดับ



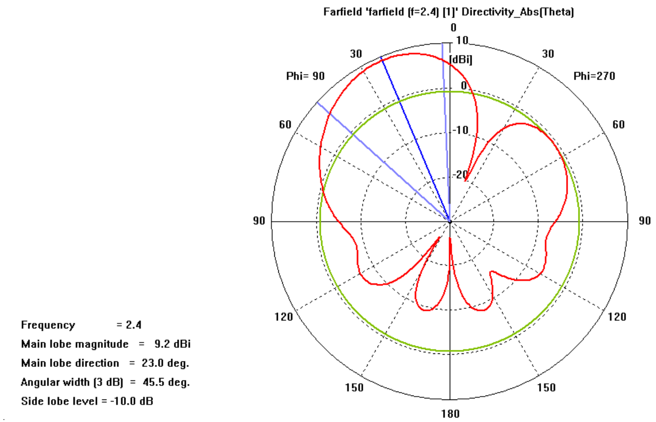
ภาพที่ 6: ผลการทดลองเปลี่ยนค่าความยาวกระป๋องเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร

สายอากาศ	$f_L - f_H$ (GHz)	ความถี่เรโซแนนซ์ (1st GHz / dB)	f_c (GHz)	BW (% , GHz)
L = 105 mm.	2.370 – 2.613	2.113 / -9.939651	2.4915	9.753
L = 107.44 mm.	2.187 – 2.616	2.442 / -12.65201	2.4015	17.864
L = 110 mm.	2.142 – 2.598	2.421 / -13.36732	2.370	19.241
L = 115 mm.	2.097 – 2.571	2.409 / -13.8431	2.334	20.308
L = 120 mm.	2.061 – 2.553	2.358 / -14.21926	2.307	21.326

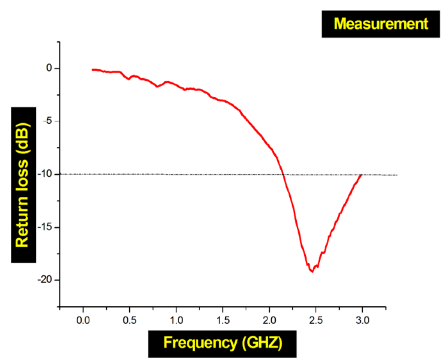
ตารางที่ 1 : ผลการเปรียบเทียบการจำลองการทำงานค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของ สายอากาศที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150มิลลิเมตร

จากผลการจำลองในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความยาวของกระป๋องที่ L เท่ากับ 115 mm. มีความถี่เรโซแนนซ์ใกล้เคียง 2.4 GHz มากที่สุด มีค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (return loss) เท่ากับ -13.8431 dB จากภาพที่ 7 แสดงผลการจำลองรูปแบบการแผ่พลังงานของ cantenna ที่ได้จากโปรแกรม CST ที่ความถี่ 2.4 GHz ซึ่งมีรูปแบบเป็นโพลาร์ (Polar) โดยทิศทางการแผ่พลังงานจะเป็นแบบทิศทางเดียว

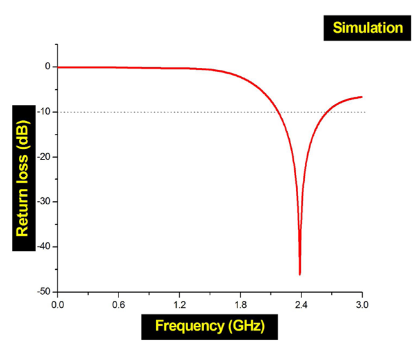
ในการทดสอบใช้อุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่าย (network analyzer) รุ่น Agilent PNA series N5230C ซึ่งมีย่านวัดที่ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 1 GHz – 15 GHz การติดตั้งสายอากาศเข้ากับอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่าย (network analyzer) โดยการใช้สายโพรบต่อเข้ากับหัว SMA ของทั้งสองฝั่ง ผลการวัดค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศแบบ cantenna จากอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่าย (Network Analyzer) ซึ่งที่ความถี่ใช้งาน 2.401 GHz มีค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเท่ากับ -19.508 dB แสดงดังภาพที่ 8



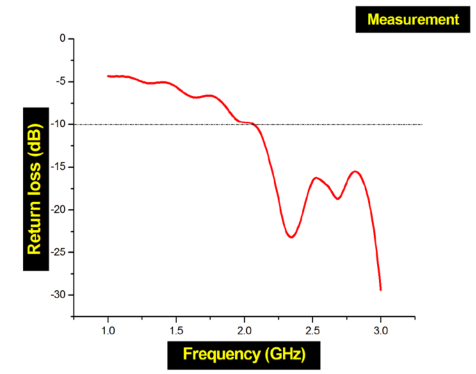
ภาพที่ 7: รูปแบบการแผ่พลังงานแบบโพลาร์ (Polar) ของ cantenna



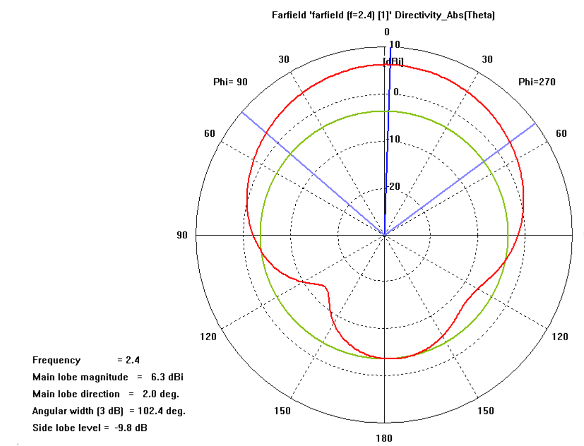
ภาพที่ 8 : ผลการวัดค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของ cantenna จากอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่าย



ภาพที่ 9 : ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม CST



ภาพที่ 10 : ผลการวัดค่าการสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม จากอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่าย



ภาพที่ 11: รูปแบบการแผ่พลังงานแบบโพลาร์ (Polar) ของไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม

4.2 ผลการทดลองไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม

ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม CST พบว่าจะได้สายอากาศที่สามารถรับ - ส่งสัญญาณ ซึ่งที่ความถี่ 2.4 GHz มีค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเท่ากับ -33.97736 dB และจากการวัดทดสอบด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่ายที่ความถี่ใช้งาน 2.401 GHz มีค่าสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับเท่ากับ -21.595 dB ผลจากการจำลองการทำงานและวัดทดสอบด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่ายแสดงไว้ในภาพที่ 9 และภาพที่ 10 ตามลำดับ จากภาพที่ 11 แสดงผลการจำลองรูปแบบการแผ่พลังงานของสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม ที่ได้จากโปรแกรม CST ที่ความถี่ 2.4 GHz ซึ่งมีรูปแบบเป็นโพลาร์ (Polar) โดยทิศทางการแผ่พลังงานจะเป็นแบบทิศทางเดียว

5. สรุปผลทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลองที่ได้จากการจำลองการทำงานของสายอากาศด้วยโปรแกรม CST STUDIO 2009

เนื่องจากในการออกแบบสายอากาศยังไม่มีสมการในการออกแบบที่สามารถคำนวณให้ได้ขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมต่อช่วงความถี่ที่ต้องการ จึงต้องทำการศึกษางานวิจัยที่มีผู้ทำวิจัยเกี่ยวกับการสร้างสายอากาศในช่วงความถี่2.4 GHz เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาและทำการจำลองหาช่วงความถี่ที่ 2.4 GHz โดยใช้โปรแกรม CST STUDIO 2009 พบสายอากาศแบบ cantenna ขนาดรัศมีของกระป๋อง 150 มิลลิเมตร ความยาวของกระป๋อง 115 มิลลิเมตร สามารถใช้งานในช่วง

ความถี่ 2.4 GHz ได้ดีที่สุด ส่วนสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยม ออกแบบชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยม โดยสตับเป็นรูปวงกลม ซึ่งขนาดที่เหมาะสมที่สุดของสายอากาศดังนี้ แผ่นซับสเตรท (Substrate) มีขนาด 50×90 มิลลิเมตร , แผ่นตัวนำ (Patch) มีรัศมีวงกลม (r) เท่ากับ 8 มิลลิเมตร ,จุดฟีด (Feed) มีความกว้าง เท่ากับ 4.8 มิลลิเมตร และมีแผ่นกราวด์ (Ground plane) ขนาด 8×34 มิลลิเมตร สามารถใช้งานในช่วงความถี่ 2.4 GHz ได้ดีที่สุดเช่นกัน

5.2 สรุปผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบกับอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่าย

หลังจากจำลองการทำงานเพื่อหาขนาดสายอากาศแบบ cantenna และสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมที่เหมาะสมกับความถี่ 2.4 GHz นำไปทดสอบกับอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่าย โดยวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของสายอากาศ พบว่าสายอากาศมีช่วงความถี่ที่สามารถใช้งานได้ ที่ความถี่ 2.4 GHz เมื่อนำกราฟจากที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากการจำลอง พบว่าค่าแบนด์วิดท์แตกต่างกันอาจเป็นผลมาจากแผ่นทองแดงที่ใช้ในการสร้างสายอากาศมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก(Dielectric) ที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลต่อค่าที่ได้จากการวัด ทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนกับผลการจำลองและอาจจะเป็นผลมาจากความละเอียดในการวัดของอุปกรณ์วิเคราะห์เครือข่าย (Network Analyzer)

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุน ประจำปี 2554 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

7. การเขียนเอกสารอ้างอิง

[1] ระพีพันธ์ แก้วอ่อน และคณะ: **"การพัฒนาสายอากาศร่องหกเหลี่ยมด้านเท่าที่ป้อนด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วมแบบแถบความถี่กว้าง"**. ECTI-CARD 2009,May 2009 , Bangkok, Thailand.

[2] พงศธร ชมทอง: **"วงจรกรองผ่านแถบแบบสองความถี่โดยใช้เรโซเนเตอร์แฮร์พินที่มีอิมพิแดนซ์แบบขั้นสำหรับระบบสื่อสารไร้สาย"**ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2549

[3] เด่นชัย วรเศวต, รุ่งเรือง เมืองแก้ว **"การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวกับค่าแบนด์วิดท์แบบอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปแบบสี่เหลี่ยมที่มีโครงสร้างแบบซี่และร่อง"** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[4] C.A. Balanis, "**Antenna theory analysis and design**, 2nd ed". John Wiley & Sons, Inc.:NY,1997,Chaoter 14.

การพัฒนาระบบตรวจวัดสภาพอากาศระยะไกล
Development of a remote weather monitoring system

หฤทัย ดิ้นสกุล[1], ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์[2]

[1,2]กลุ่มโปรแกรมวิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
harutai@npru.ac.th[1], piya@npru.ac.th[2]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพยากรณ์สภาพภูมิอากาศบางชนิดใช้วิธีการอ่านค่าจากเครื่องมือตรวจวัดโดยเจ้าหน้าที่ ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและความไม่สะดวกในการทำงาน งานวิจัยนี้ได้พัฒนาสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสะดวกและความถูกต้องในการวัดสภาพภูมิอากาศให้มากยิ่งขึ้น สถานีตรวจวัดสภาพอากาศที่พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ทิศทางและความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และความกดอากาศ โดยสถานีตรวจวัดสภาพอากาศทำงานโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ รายงานผลผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบจีเอสเอ็ม และสามารถเรียกดูข้อมูลสภาพอากาศในเวลาปัจจุบันและย้อนหลังได้

คำสำคัญ: *การพยากรณ์สภาพภูมิอากาศ, พลังงานแสงอาทิตย์, สถานีตรวจวัดสภาพอากาศ*

Abstract

Nowadays, some weather forecasting parameters are read by an officer using specific equipment. This might cause some errors and make an officer inconvenient to collect data. This paper proposes a weather monitoring station, whose objective is to facilitate and make the collected data more accurate. The developed station consists of temperature and humidity sensors, wind speed and direction sensors, a rainfall sensor, and a barometer sensor. In addition, the developed station operates using solar cells, reports a result via GSM system, and can retrieve current or historical collected data.

Keyword: *Weather forecasting, solar cell, weather monitoring station*

1. บทนำ

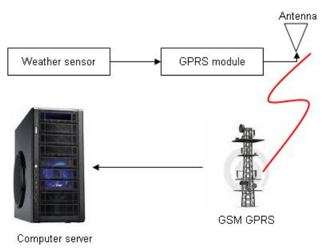
ปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการทำเกษตรกรรมคือสภาพภูมิอากาศ ซึ่งหากมีสภาพภูมิอากาศไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดความเสียหายต่อพืชผลเกษตรได้ ดังนั้นสิ่งที่จะช่วยบรรเทาปัญหานี้ได้ก็คือการพยากรณ์อากาศที่ถูกต้องแม่นยำ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพยากรณ์คือผลการตรวจวัดสภาพอากาศ ซึ่งพารามิเตอร์ในการตรวจสภาพอากาศบางชนิดต้องทำการอ่านค่าจากเครื่องมือตรวจวัดโดยเจ้าหน้าที่ ซึ่งไม่เอื้ออำนวยต่อการเก็บและค้นหาข้อมูลย้อนหลังเป็นเวลานาน เพราะฉะนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบตรวจวัดสภาพอากาศระยะไกล โดยมีคุณสมบัติในการรายงานผลอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ทิศทางและความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และความกดอากาศ ผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบจีเอสเอ็ม โดยสถานีตรวจวัดสภาพอากาศทำงานโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ สามารถดูข้อมูลสภาพอากาศในเวลาปัจจุบันและย้อนหลังได้ และสามารถส่งข้อความ (เอสเอ็มเอส) เพื่อกำหนดระยะเวลาในการส่งข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดมายังเครื่องแม่ข่ายได้

2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบโทรมาตรเป็นระบบที่ใช้ในการรวบรวมและจัดการข้อมูล แสดงผลของการทำงานการตรวจวัด รับ-ส่งข้อมูล และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ โดยเฉพาะกับอุปกรณ์ที่อยู่ห่างไกลออกไปจากศูนย์ควบคุมและไม่มีเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานที่สถานีนั้นๆ สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศได้อาศัยหลักการทำงานของระบบโทรมาตร โดยทำการตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ ก่อนส่งข้อมูลที่วัดได้ไปยังส่วนควบคุมเพื่อส่งต่อไปยังหน่วยควบคุมระยะไกลหรือเครื่องแม่ข่าย

2.1 ภาพรวมของระบบ

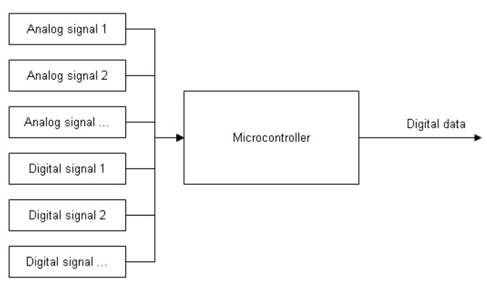
สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศมีหลักการทำงานคือ รับข้อมูลของสภาพภูมิอากาศ จากนั้นก็จะส่งข้อมูลไปยังมอดูลจีเอสเอ็ม เพื่อทำการส่งข้อมูลไปเก็บในฐานข้อมูลของเครื่องแม่ข่ายโดยใช้โพรโตคอล TCP/IP ตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1: โครงสร้างการทำงานของสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ

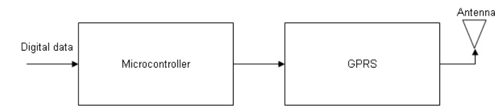
โครงสร้างการทำงานของระบบแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้

2.1.1 อินพุต/เอาต์พุตมอดูล ทำหน้าที่รับค่าพารามิเตอร์ในรูปแบบต่างๆ ทั้งดิจิทัลและแอนะล็อกจากเซนเซอร์ชนิดต่างๆ และแปลงให้เป็นข้อมูลแบบดิจิทัล ก่อนส่งข้อมูลดิจิทัลไปยังจีเอสเอ็มมอดูล ตามที่แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2: บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของมอดูลอินพุต/เอาต์พุต

2.1.2 จีเอสเอ็มมอดูล ทำหน้าที่รับข้อมูลจากอินพุต/เอาต์พุตมอดูล ที่อยู่ในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัลเพื่อส่งข้อมูลไปเก็บในฐานข้อมูล โดยจีเอสเอ็มมอดูลจะถูกสั่งงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อขอเชื่อมต่อกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ และส่งข้อมูลสภาพภูมิอากาศลงไปเก็บในฐานข้อมูลของเครื่องแม่ข่ายผ่านโพรโตคอล TCP/IP โดยใช้รูปแบบคำสั่ง AT command ภาพที่ 3 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของจีเอสเอ็มมอดูล



ภาพที่ 3: บล็อกไดอะแกรมการทำงานของมอดูลจีเอสเอ็ม

2.1.3 ฐานข้อมูล MySQL ถูกนำมาใช้โดยมีลักษณะของฐานข้อมูลประกอบด้วยเวลา ความเร็วลม ทิศทางลม ปริมาณน้ำฝน ความกดอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น ระดับของแบตเตอรี ดังภาพที่ 4

ฟิลด์	ชนิด
TimeStamp	timestamp
Identify	varchar(4)
WindSpeed	varchar(8)
WindDirection	varchar(8)
RainFall	varchar(8)
WaterLevel	varchar(8)
AirPressure	varchar(8)
Temperature	varchar(8)
RelativeHumidity	varchar(8)
BattLevel	varchar(8)
Time	varchar(4)

ภาพที่ 4: การออกแบบฐานข้อมูล

2.1.4 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) [1, 2] เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ (หรือแสงจากหลอดไฟ) เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ซึ่งไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง งานวิจัยนี้เลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 วัตต์ ซึ่งสามารถสะสมพลังงานไฟฟ้าลงในแบตเตอรีขนาด 12 โวลต์ 1.2 AH ได้ตามภาพที่ 5

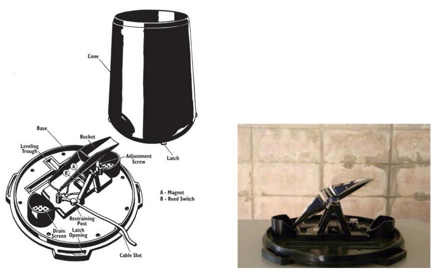
(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 5: ก) เซลล์แสงอาทิตย์ ข) แบตเตอรี ค) ชุดชาร์จแบตเตอรี

3. การออกแบบและพัฒนา

3.1 ส่วนวัดประมาณน้ำฝน

ส่วนวัดปริมาณน้ำฝนเลือกใช้เซนเซอร์วัดปริมาณน้ำฝนของบริษัท Davis Instrument ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปากกระบอกรับน้ำ 8.5 เซนติเมตรตามภาพที่ 6 หลักการทำงานของส่วนวัดปริมาณน้ำฝนจะใช้หลักการทางกลวัดน้ำหนักของน้ำฝน และใช้แม่เหล็กติดกับก้านกระดก เมื่อปริมาณน้ำฝนตกลงมาในกระบะตวงเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร ก้านกระดกเคลื่อนที่เพื่อเทปริมาณน้ำทิ้ง แม่เหล็กจะตัดผ่าน lead-switch ซึ่งส่งผลให้มีระดับสัญญาณไฟฟ้าออกมา ก้านกระดกอีกด้านจะเคลื่อนที่กรณีเดียวกับก้านกระดกด้านแรกเป็นเช่นนี้เรื่อยไป ดังนั้นปริมาณน้ำฝนจะเท่ากับจำนวนการกระดกของก้านกระดกคูณด้วย 0.2 มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร



ภาพที่ 6: ส่วนประกอบภายในของเซนเซอร์วัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก (tipping bucket)

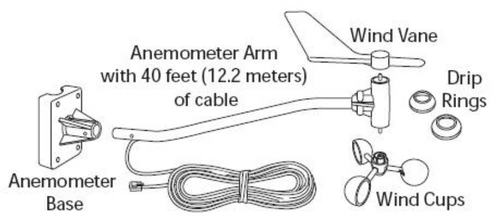
3.2 ส่วนวัดความเร็วลม

ส่วนวัดความเร็วลมชนิดนี้ใช้หลักการวัดอัตราเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน โดยเมื่อมีอากาศไหลผ่านจะทำให้แขนของเครื่องวัดความเร็วลมหมุนด้วยความเร็วเชิงเส้นใกล้เคียงกับความเร็วของอากาศที่ไหลผ่าน การคำนวณหาอัตราเร็วตามแนวเส้นสัมผัสของจุดศูนย์กลางของกรวยรับลมในช่วงเวลาหนึ่งๆ สามารถประมาณค่าความเร็วลมในช่วงเวลานั้นๆ ได้คือ ความเร็วลม (V_w) มีค่าประมาณเท่ากับความเร็วตามแนวเส้นสัมผัสของกรวยรับลม (V_c) จาก $V_c = wR$ และ $V_c = 2fR$ ดังนั้น

$$V_w = 2\pi fR \qquad (1)$$

เมื่อ V_w คือความเร็วลม (เมตร/วินาที), V_c คือความเร็วตามแนวเส้นสัมผัสของกรวยรับลม (เมตร/วินาที), w คือความเร็วเชิงมุมของแขนกรวยรับลม (เรเดียน/วินาที), f คือความถี่ของการหมุน (รอบ/วินาที), และ R คือรัศมีการหมุนของกรวยรับลมโดยวัดจากจุดศูนย์กลางของแกนหมุนถึงจุดศูนย์กลางของกรวยรับลม (เมตร)

การหาค่าความเร็วรอบต่อวินาที (f) หาได้จากการนับรอบการหมุนของแกนการหมุนภายในช่วงเวลาหนึ่ง (ในที่นี้ใช้เวลา 1 วินาที) โดยส่วนประกอบของส่วนวัดความเร็วลมแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7: ส่วนประกอบภายในของส่วนวัดความเร็วลม

3.3 ส่วนวัดทิศทางลม

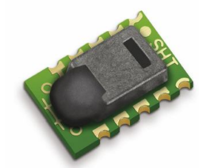
ส่วนวัดทิศทางลม ใช้หลักการของค่าความต้านทานที่ปรับค่าได้ตามการหมุนของแกน 360 องศา โดยส่วนวัดทิศทางลมแสดงในภาพที่ 8

ภาพที่ 8: ส่วนวัดความเร็วลมและทิศทางลม

3.4 ส่วนวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ

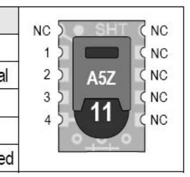
ส่วนวัดอุณหภูมิ (temperature) และวัดความชื้นในอากาศ (relative humidity) ใช้อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศกับมวลของไอน้ำอิ่มตัวในอากาศที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน มีหน่วยเป็นเปอร์เซนต์ โดยงานวิจัยชิ้นนี้เลือกใช้เซนเซอร์ชนิด MEMs ของบริษัท sensirion รุ่น SHT10 ดังภาพที่ 9 ซึ่งเป็นแบบ build-in เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นภายในตัวถังเดียวกัน มีคุณสมบัติคือมีวงจรสอบเทียบในตัวเอง ให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิทัล และใช้พลังงานต่ำ ภาพที่ 10 และ 11 แสดงไดอะแกรมและการต่อใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบใช้งานจะประกอบด้วย Radiation Shield เพื่อทำหน้าที่ป้องกันละอองน้ำฝน และให้อากาศโดยรอบไหลผ่านเซนเซอร์ได้ดี เพื่อให้ค่าที่วัดสภาพอากาศเป็นไปตามความจริง ตามที่แสดงในภาพที่ 12

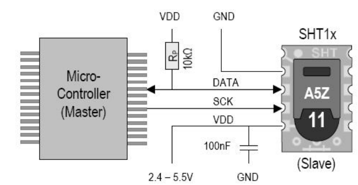


ภาพที่ 9: เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data, bidirectional
3	SCK	Serial Clock, input only
4	VDD	Source Voltage
NC	NC	Must be left unconnected



ภาพที่ 10: ไดอะแกรมของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ

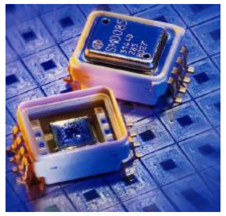


ภาพที่ 11: การต่อเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และ ความชื้นในอากาศ กับไมโครคอนโทรลเลอร์

ภาพที่ 12: การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ ภายใน Radiation Shield

3.5 ส่วนวัดความกดอากาศ (barometer)

ส่วนวัดความกดอากาศ (barometer) [3] ใช้เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับตรวจวัดความกดอากาศในทางอุตุนิยมวิทยา มีหน่วยเป็นกิโลปาสคาล (kpa) เซนเซอร์วัดความกดอากาศถือเป็นอุปกรณ์หลักในการพยากรณ์อากาศ หากความดันอากาศมีค่าสูง พยากรณ์ได้ว่าภูมิอากาศกำลังสบาย เซนเซอร์ที่ใช้มีคุณสมบัติสามารถวัดได้ระหว่าง 60-115 kpa ดังภาพที่ 13

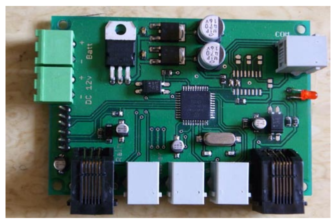


ภาพที่ 13: เซนเซอร์วัดความกดอากาศ

4. การสร้างและการทดลองใช้งาน

4.1 การทำงานอินพุต/เอาต์พุตมอดูล

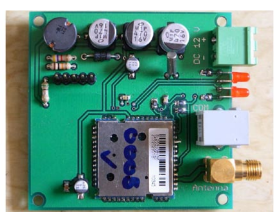
อินพุต/เอาต์พุตมอดูล ที่สร้างเสร็จจะสามารถรับค่าจากเซนเซอร์ทั้ง 6 ชนิด ก่อนนำข้อมูลทั้งหมดแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล และส่งข้อมูลต่อไปยังจีเอสเอ็มมอดูล ตามภาพที่ 14



ภาพที่ 14: วงจรพิมพ์ของอินพุต/เอาต์พุตมอดูล

4.2 การทำงานของจีเอสเอ็มมอดูล

จีเอสเอ็มมอดูลจะถูกสั่งงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งข้อมูลโดยใช้รูปแบบคำสั่ง AT command โดยการเชื่อมต่อของอินพุต/เอาต์พุตมอดูลกับจีเอสเอ็มมอดูลจะต้องสื่อสารโดยใช้การส่งข้อมูลแบบอนุกรม เนื่องจากจีเอสเอ็มมอดูลมีการอินเตอร์เฟสแบบอนุกรมและรองรับความเร็ว 600 – 115200 bps แสดงดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15: วงจรพิมพ์มอดูลจีเอสเอ็ม

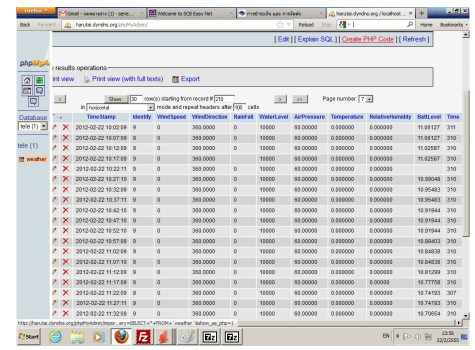
4.3 การทำงานของหน่วยเก็บข้อมูล

การทำงานของหน่วยเก็บข้อมูลขึ้นอยู่กับคืออินพุต/เอาต์พุตมอดูลและจีเอสเอ็มมอดูล โดยการทำงานเริ่มจากอินพุต/เอาต์พุตมอดูลจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่รับค่าจากเซนเซอร์ทุกตัวนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ เมื่อมีการร้องขอจากมอดูลจีเอสเอ็มผ่านทางการอินเตอร์เฟส RS-232 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลของเซนเซอร์ทั้งหมด รวมทั้งเวลาที่ทำการเก็บให้กับจีเอสเอ็มมอดูล หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะลบข้อมูลทั้งหมดในหน่วยความจำทิ้ง

ข้อมูลที่จีเอสเอ็มมอดูลรับมาจะถูกส่งไปยังวงจรภาครับปลายทางด้วยคำสั่ง AT command โดยใช้โหมด GPRS ซึ่งมีลักษณะการทำงานคล้ายคำสั่ง Post ของ HTML โดยเรียงลำดับดังนี้

- Identify
- WindSpeed
- WindDirection
- RainFall
- WaterLevel,AirPressure
- Temperature
- RelativeHumidity
- BattLvel
- Time

วงจรภาครับนี้ประกอบด้วย web server และ database server จะได้การร้องขอจากจีเอสเอ็มมอดูลให้ประมวลผลคำสั่ง SQL โดยแทรกค่าลงตาราง weather ในคอลัมน์ WindSpeed, WindDirection, RainFall, WaterLevel, AirPressure, Temperature, RelativeHumidity, BattLevel, Time จากตัวแปร '$Ws', '$Wa', '$Ra', '$Wr', '$Ps', '$Tm', '$Hm', '$Bt', '$T' ตามภาพที่ 16 ซึ่งแสดงฐานข้อมูลชื่อ tele และเก็บข้อมูลในตารางชื่อ weather ประกอบด้วยค่าความเร็วลม ทิศทางลม ปริมาณน้ำฝน ระดับน้ำ ความกดอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น และระดับพลังงานของแบตเตอรีที่อยู่ภายในสถานี



ภาพที่ 16: ฐานข้อมูลชื่อ tele

4.4 ผลการทดสอบการใช้งาน

นักวิจัยได้ทำการทดลองเก็บข้อมูลโดยติดตั้งสถานีในพื้นที่ อ.บางคนที จ.สมุทรสงคราม โดยกำหนดคาบเวลาการส่งข้อมูลทุกๆ 10 นาที จึงจัดเก็บข้อมูลลงบนเครื่องแม่ข่าย ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ DTAC พบว่าในบางช่วงเวลาจะขาดการติดต่อกับสถานีฐานของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ DTAC ทำให้บางช่วงเวลาข้อมูลขาดหายไปเป็นเวลาหลายชั่วโมง จากการค้นหาสาเหตุพบว่าเสาอากาศได้รับการติดตั้งไม่ถูกต้องและได้แก้ปัญหาดังกล่าว โดยทำการติดตั้งในตำแหน่งที่ไม่อับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ และแก้ไขที่ซอฟต์แวร์ โดยกำหนดระยะเวลาในการส่งข้อมูล หากเกินระยะเวลาในการส่งข้อมูล ก็ให้เริ่มทำการติดต่อกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ใหม่และเริ่มส่งข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจากการแก้ปัญหานี้ทำให้สถานีตรวจวัดสภาพอากาศสามารถส่งข้อมูลผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังฐานข้อมูลของเครื่องแม่ข่ายได้อย่างถูกต้อง

5. สรุป

สถานีตรวจวัดสภาพอากาศที่พัฒนาขึ้นมานี้ประกอบด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ทิศทางและความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และความกดอากาศ โดยสามารถรายงานผลผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบจีเอสเอ็ม ซึ่งผู้ใช้สามารถนำข้อมูลสภาพภูมิอากาศเหล่านี้มาใช้ในการพยากรณ์ทั้งในเวลาปัจจุบันและอนาคตได้ นอกจากนี้สถานีตรวจวัดสภาพอากาศยังสามารถรับคำสั่งผ่านทางข้อความที่ส่งมาจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ (SMS) เพื่อกำหนดระยะเวลาในการส่งข้อมูลไปยังเครื่องแม่ข่ายได้ รวมทั้งสถานีตรวจวัดสภาพอากาศทำงานโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ จึงทำให้สามารถติดตั้งในพื้นที่ที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์ และบุคลากรกลุ่มโปรแกรมวิศวกรรมและเทคโนโลยีทุกท่านที่ให้คำแนะนำ

7. การเขียนเอกสารอ้างอิง

[1] E. Koutroulis and K. Kalaitzakis : "**Novel battery charging regulation system for photovoltaic application**". IEE Proc. Electr. Power Appl., Vol. 151, No. 2, March 2004. Page(s): 191 - 197

[2] ธวัชชัย ทองเหลี่ยม และคณะ., "**รายงานการวิจัยเรื่องเครื่องกังหันน้ำเติมอากาศด้วยเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การตรวจวัดคุณภาพน้ำควบคุมกังหันน้ำ**", ทุนวิจัยนวมินทร์ สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ, 2010.

[3] รศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. "**เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์**". สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2548.

เทคนิคการใช้งานโปรแกรม SCILAB และภาษา PHP ร่วมกัน
Development of a Technique of Using SCILAB Program and PHP Language Jointly

จิรันดร บู๊ฮวดใช้[1] และปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์[2]

[1]สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

b.jirundon@gmail.com

[2]ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

piya@npru.ac.th

บทคัดย่อ

SCILAB เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลขและแสดงผลกราฟิกที่ซับซ้อน ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้งานได้ฟรี (freeware) ในขณะที่ PHP เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับเขียนเว็บไซต์และไม่เสียค่าลิขสิทธิ์ในการนำไปพัฒนาต่อยอด (open source) แต่มีข้อจำกัดในการพัฒนาฟังก์ชันที่เกี่ยวกับการคำนวณเชิงตัวเลขและแสดงผลกราฟิกที่ซับซ้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SCILAB ร่วมกับภาษา PHP เพื่อลดขั้นตอนในการพัฒนาอัลกอริทึมที่ซับซ้อนให้สามารถใช้งานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้จะต้องใช้เวลาในการประมวลผลนานขึ้นมากกว่าการใช้ภาษา PHP อย่างเดียว ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความมั่นใจว่าปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้เครื่องแม่ข่ายที่สามารถคำนวณได้ถึงระดับล้านคำสั่งต่อวินาที

คำสำคัญ: SCILAB, PHP

Abstract

SCILAB is a freeware program, which is widely used in numerical calculation and displaying complex graphics, whereas PHP is also a freeware computer language used to construct the website. Because PHP has limitation in numerical calculation and displaying complex graphics, this paper describes how to employ PHP in conjunction with SCILAB so as to reduce the steps to develop complex algorithms, which is costly. However, this technique comes with an expense of increasing a processing time. Specifically, the proposed technique is much slower than using only PHP alone. Nonetheless, we confident that this problem can be solved by using a server that can compute a million instructions per second.

Keyword: PHP, SCILAB

1. บทนำ

บทความวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเทคนิคการใช้งานโปรแกรม SCILAB และภาษา PHP ร่วมกัน โดยจะเน้นไปที่การพัฒนาการเชื่อมต่อโปรแกรม SCILAB และภาษา PHP เพื่อให้ผู้ที่ไม่สามารถพัฒนาฟังก์ชันคณิตศาสตร์ใหม่ๆ ขึ้นมาใช้งานในรูปแบบของภาษา PHP โดยตรง สามารถใช้ฟังก์ชันของโปรแกรม SCILAB แทนที่ได้ทันที (งานวิจัยนี้จะไม่เน้นสมรรถนะโดยรวมของเว็บไซต์ว่าสามารถทำงานได้เร็วหรือไม่) ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เคยพัฒนาชุดฝึกการเรียนการสอนโดยใช้โปรแกรม VISUAL BASIC ร่วมกับ SCILAB และได้รับการตีพิมพ์ในวารสารลงใน NPRU Journal of Science and Technology, Thailand [1] แต่ยังคงทำงานในรูปแบบของ Stand Alone ดังนั้นบทความวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาการใช้งานโปรแกรม SCILAB [2, 3] ร่วมกับภาษา PHP [4] ซึ่งจะมีรูปแบบการทำงานของ client-server หรือ network เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลจากโปรแกรม SCILAB ผ่านทางเว็บไซต์ได้ และช่วยลดขั้นตอนในการพัฒนาอัลกอริทึมทางคณิตศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่ซับซ้อนและยุ่งยาก ให้สามารถใช้งานได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ประวัติความเป็นมาของโปรแกรม SCILAB และภาษา PHP

โปรแกรม SCILAB เป็นโปรแกรมภาษาขั้นสูงที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยความร่วมมือกันระหว่างนักวิจัยจากสถาบัน Institut National De Recherche En Informatique Et En Automatique (INRIA) และ École nationale des ponts et chausses (ENPC) ประเทศฝรั่งเศส ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลขและแสดงผลกราฟิกที่ซับซ้อน ดังนั้นโปรแกรม SCILAB จึงเหมาะสำหรับการใช้งานทางด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ โปรแกรม SCILAB ยังเป็นโปรแกรมที่ให้ฟรี (freeware) อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถนำไปพัฒนาต่อได้ และมีความสามารถในการทำงาน ที่ใกล้เคียงกับโปรแกรม MATLAB [5] ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมมาก สำหรับผู้ใช้งานทางด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ แต่จะมีค่าลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ ซึ่งมีราคาแพงมากดังนั้นในปัจจุบันนี้ หน่วยงานทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคการศึกษา ทั้งในและนอกประเทศ จึงได้เริ่มนำโปรแกรม SCILAB เข้ามาช่วยในการทำงานและช่วยในการเรียนการสอน

ภาษา PHP (Personal Home Page) คือภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาเว็บไซต์ในลักษณะ server-client โดยมีลิขสิทธิ์อยู่ในลักษณะของ open source ภาษา PHP ใช้สำหรับจัดทำเว็บไซต์แบบ Dynamic และแสดงผลออกมาในรูปแบบ HTML โดยมีรากฐานโครงสร้างคำสั่งมาจากภาษา ภาษาซี ภาษาจาวา และภาษาเพิร์ล โดยทั่วไปภาษา PHP จะง่ายต่อการเรียนรู้ซึ่งเป้าหมายหลักของภาษานี้คือให้นักพัฒนาเว็บไซต์สามารถเขียนเว็บเพจที่มีความตอบโต้ได้อย่างรวดเร็ว

วัตถุประสงค์การวิจัย

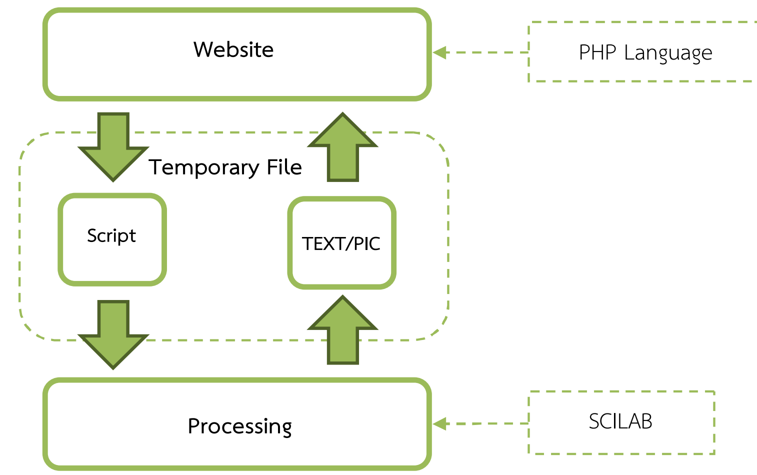
1. เพื่อพัฒนาเทคนิคการใช้งานโปรแกรม SCILAB และภาษา PHP ร่วมกัน
2. เพื่อให้ผู้ที่ไม่มีความชำนาญในการพัฒนาอัลกอริทึม สามารถใช้งานฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนกับภาษา PHP ได้ง่ายขึ้น

2. วิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่

1. ฮาร์ดแวร์ – เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิจัย
   - CPU - Core2Duo 2.26 GHz
   - RAM - 2 GB
   - Hard Disk - 250 GB
   - VGA - 1 GB
   - LCD - 1024 x 768 Pixels
2. ซอฟต์แวร์ – โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย
   - โปรแกรม SCILAB 5.3.3
   - โปรแกรม AppServ v.2.5.10
   - โปรแกรม Notepad++ v5.9.8



ภาพที่ 1: เทคนิคการใช้งานโปรแกรม SCILAB และภาษา PHP ร่วมกัน

2.2 เทคนิคการใช้งานโปรแกรม SCILAB และภาษา PHP ร่วมกัน

สำหรับบทความวิจัยนี้ ผู้วิจัยเน้นกลุ่มเป้าหมายที่สนใจในการจัดทำสื่อการเรียนการสอนทางคณิตศาสตร์ผ่านเว็บไซต์ ทั้งครู อาจารย์ และผู้สนใจ โดยผู้วิจัยได้ใช้แนวคิดในการวิจัยโดยพัฒนาเว็บไซต์ด้วยภาษา PHP ที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งาน (Interface) ซึ่งจะทำหน้าที่ในส่วนรับข้อมูลและส่วนแสดงผล ในขณะที่โปรแกรม SCILAB จะทำหน้าที่เป็นส่วนประมวลผลและส่งผลลัพธ์ที่อยู่ในลักษณะของแฟ้มข้อความหรือไฟล์รูปภาพไปยังเว็บไซต์ที่พัฒนาด้วยภาษา PHP โดยแสดงลักษณะตามแผนภาพบล็อกในภาพที่ 1

สำหรับวิธีการเชื่อมต่อการระหว่างโปรแกรม SCILAB ร่วมกับภาษา PHP ซึ่งเปรียบเสมือนหัวใจหลักที่สำคัญในการทำวิจัยครั้งนี้นั้น ผู้วิจัยจะขออธิบายโค้ดในส่วนที่สำคัญที่สุดดังนี้

```
$path=$_SERVER["SystemRoot"];
$com = SCILAB -f Parameter
exec($com);
```

$path	หมายถึงบันทึกค่าไดเรกทอรีหลัก คือ "C:\WINDOWS"
$com	หมายถึงสร้างตัวแปร $com บันทึกค่าโค้ดประมวลผล Command
SCILAB	หมายถึงที่อยู่ของโปรแกรม Scilex.exe
-f	หมายถึงการสั่งให้โปรแกรม SCILAB ประมวลผลไฟล์สคริปต์
Parameter	หมายถึงชื่อไฟล์สคริปต์ หรือค่าที่จะส่งให้โปรแกรม SCILAB ประมวลผล
exec	หมายถึงคำสั่งประมวลผลโค้ดในตัวแปร $com ผ่าน Command

หมายเหตุ จะต้องทำการติดตั้งโปรแกรม SCILAB ไว้ที่ C:\WINDOWS จึงจะสามารถทำงานได้ ทั้งนี้ในการที่ส่งนำเข้า (Input) ไปยังโปรแกรม SCILAB แล้ว แต่ไม่สามารถคำนวณได้ หน้าเว็บไซต์จะค้าง ซึ่งจะไม่สามารถทำงานได้ จึงต้องมีการเขียนโปรแกรมตรวจสอบข้อมูลนำเข้าก่อน ที่จะส่งไปให้โปรแกรม SCILAB คำนวณ ซึ่งผู้สนใจสามารถพัฒนาต่อยอด เพื่อแก้ไขปัญหานี้ต่อไปในอนาคต

2.3 ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SCILAB ร่วมกับภาษา PHP ผ่านทางแฟ้มข้อความ ดังนี้ ตัวอย่างการหา ค.ร.น. ดังนี้

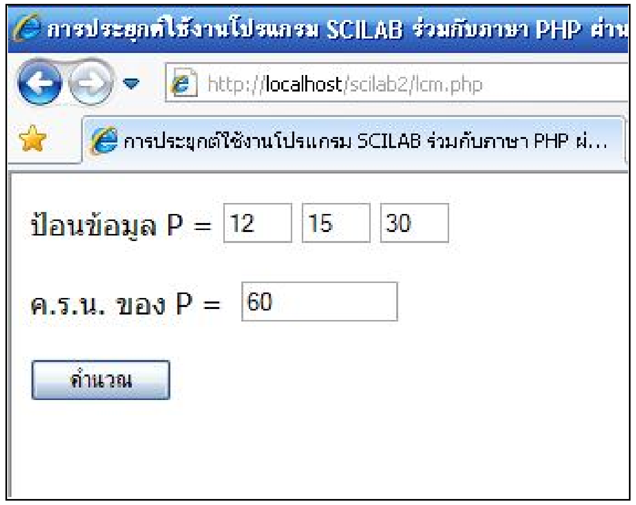
2.3.1 เปิดโปรแกรม Notepad++ ขึ้นมา และตั้งชื่อไฟล์ว่า **"lcm.php"** แล้วพิมพ์โค้ดลงไปดังต่อไปนี้

```
1  <?php
2     if($_POST[a1]!="" and $_POST[a2]!="" and $_POST[a3]!=""){
3         $code = "int16([".stripslashes($_POST[a1])." ".stripslashes($_POST[a2])." "
          .stripslashes($_POST[a3])."])";
4         $code1 = "output = lcm($code);\noutput = iconvert(output,0);\n
          savematfile('lcm01.txt','output');\nexit;";
5         file_put_contents("lcm01.sce", $code1);
6         $path=$_SERVER["SystemRoot"];
7         $com = "$path/SCILAB-5.3.3/bin/Scilex.exe -f lcm01.sce";
8         exec($com);
9         $p = number_format(file_get_contents("lcm01.txt"));
10    }
11 ?>
12 <html>
13    <head>
14    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-874" />
15    <title>การประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SCILAB ร่วมกับภาษา PHP ผ่านทางแฟ้มข้อความ</title>
16    </head>
17    <body>
18    <form id="form1" name="form1" method="post" action="lcm.php">
19    ป้อนข้อมูล P =
20    <input name="a1" type="text" size="2" value="<? echo $a1; ?>" /> <input
      name="a2" type="text" size="2" value="<? echo $a2; ?>" /> <input name="a3"
      type="text" size="2" value="<? echo $a3; ?>" />
21    <P>
22    ค.ร.น. ของ P =
23    <input name="p" type="text" size="10" value="<? echo $p; ?>" />
24    <P>
25    <input type="submit" name="Submit" value="   คำนวณ   " />
26    </form>
27    </body>
28    </html>
```

บรรทัดที่ 1 คือคำสั่งเปิดโค้ดของ PHP
บรรทัดที่ 2 คือตรวจสอบค่าว่างของตัวแปร a1, a2 และ a3
บรรทัดที่ 3 คือสร้างตัวแปร $code ขึ้นมา และเขียนโค้ด a1, a2 และ a3
บรรทัดที่ 4 คือสร้างตัวแปร $code1 บันทึกเขียนโค้ด SCILAB
บรรทัดที่ 5 คือเขียนข้อมูลจากตัวแปร $code1 ลงไปในไฟล์ lcm01.sce
บรรทัดที่ 6 คือสร้างตัวแปร $path บันทึกค่าไดเรกทอรีหลัก
บรรทัดที่ 7 คือสร้างตัวแปร $com บันทึกค่าโค้ดประมวลผล Command
บรรทัดที่ 8 คือคำสั่งประมวลผลโค้ดในตัวแปร $com

บรรทัดที่ 9 คืออ่านข้อมูลตัวเลขจากไฟล์ lcm01.txt ลงในตัวแปร $p
บรรทัดที่ 10 คือปิดคำสั่งการตรวจสอบค่าว่างของตัวแปร input
บรรทัดที่ 11 คือคำสั่งปิดโค้ดของ PHP
บรรทัดที่ 12 คือคำสั่งเปิดโค้ดของ HTML
บรรทัดที่ 13 คือคำสั่งเปิดโค้ดของ head
บรรทัดที่ 14 คือตั้งค่าภาษาไทยของเว็บไซต์
บรรทัดที่ 15 คือตั้งค่าชื่อ title bar ของเว็บไซต์
บรรทัดที่ 16 คือคำสั่งปิดโค้ดของ head
บรรทัดที่ 17 คือคำสั่งเปิดโค้ดของ body
บรรทัดที่ 18 คือคำสั่งสร้าง Form และส่งค่าตัวแปรใน Form ไปยังไฟล์ lcm.php
บรรทัดที่ 19 คือเขียนข้อความ "ป้อนข้อมูล P =" ลงในเว็บไซต์
บรรทัดที่ 20 คือสร้าง TEXT BOX ชื่อว่า a1, a2 และ a3
บรรทัดที่ 21 คือคำสั่งย่อหน้าขึ้นใหม่
บรรทัดที่ 22 คือเขียนข้อความ "ค.ร.น. ของ P =" ลงในเว็บไซต์
บรรทัดที่ 23 คือสร้าง TEXT BOX ชื่อว่า p
บรรทัดที่ 24 คือคำสั่งย่อหน้าขึ้นใหม่
บรรทัดที่ 25 คือสร้างปุ่มคำนวณ (Button)
บรรทัดที่ 26 คือคำสั่งปิดโค้ด Form
บรรทัดที่ 27 คือคำสั่งปิดโค้ดของ body
บรรทัดที่ 28 คือคำสั่งปิดโค้ดของ HTML

2.3.2 จากนั้นนำไฟล์ lcm.php ไปใส่ในโฟลเดอร์ www/SCILAB2 ของ Server จำลองและเปิด browser internet explorer พิมพ์ URL ดังนี้ localhost/SCILAB2/lcm.php จากนั้นจะแสดง Form ที่สร้างขึ้น และทดลองป้อนข้อมูล 128 ลงใน TEXT BOX และคลิกที่ปุ่ม "คำนวณ" ก็จะได้ผลลัพธ์ตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2: ตัวอย่างการหา ค.ร.น. ด้วยโปรแกรม SCILAB ร่วมกับภาษา PHP ผ่านทางแฟ้มข้อความ

2.4 ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SCILAB ร่วมกับภาษา PHP ผ่านทางไฟล์รูปภาพ ดังนี้

ตัวอย่างการวาดกราฟ 2 มิติ ดังต่อไปนี้

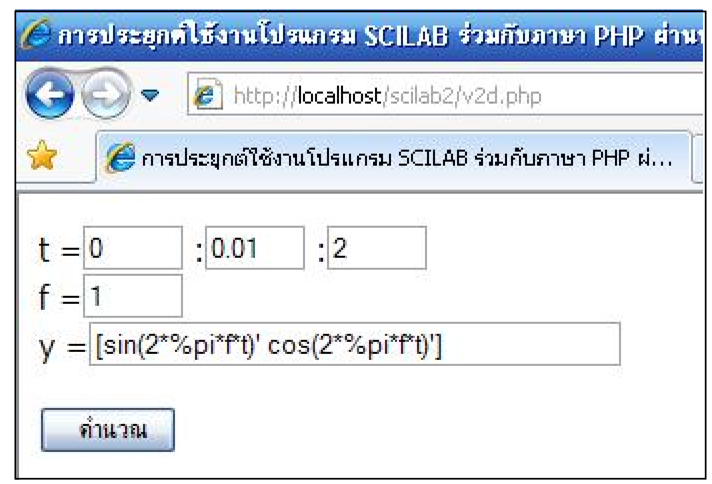
2.4.1 เปิดโปรแกรม Notepad++ ขึ้นมา และตั้งชื่อไฟล์ว่า **"v2d.php"** แล้วพิมพ์โค้ดลงไปดังต่อไปนี้

```
1  <?php
2    if($_POST[t1]!="" and $_POST[t2]  and $_POST[t3]!="" and $_POST[f1]!="" and $_POST[y1]!=""){
3      $y1 = stripslashes($_POST[y1]);
4  $code1 = "t = $_POST[t1]:$_POST[t2]:$_POST[t3];\n f = $_POST[f1];\n y = $y1;\n plot(t, y);\nxs2gif(0,'test.gif');exit();";
5      file_put_contents("v2d.sce", $code1);
6      $path=$_SERVER["SystemRoot"];
7      $com = "$path/SCILAB-5.3.3/bin/Scilex.exe -f v2d.sce";
8      exec($com);
9    }
10 ?>
11 <html>
12    <head>
13      <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-874">
14      <title>การประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SCILAB ร่วมกับภาษา PHP ผ่านทางรูปภาพ</title>
15    </head>
16    <body>
17    <form id="form1" name="form1" method="post" action="v2d.php">
18    t =<input name="t1" type="text" size="4" maxlength="2"  value="<? echo $t1; ?>" />
19    :<input name="t2" type="text" size="4" maxlength="4"  value="<? echo $t2; ?>" />
20    :<input name="t3" type="text" size="4" maxlength="2"  value="<? echo $t3; ?>" />
21    <br>
22    f =<input name="f1" type="text" size="4" maxlength="2"  value="<? echo $f1; ?>" />
23    <br>
24    y =<input name="y1" type="text" size="20" maxlength="20"  value="<? echo $y1; ?>" />
25    <br><br>
26    <input type="submit" name="Submit" value="   คำนวณ " />
27    </form>
28    <br>
29    <img src="test.gif?<?=rand(1,3000); ?>" width="610" height="461" border="1" >
30    </body>
31 </html>
```

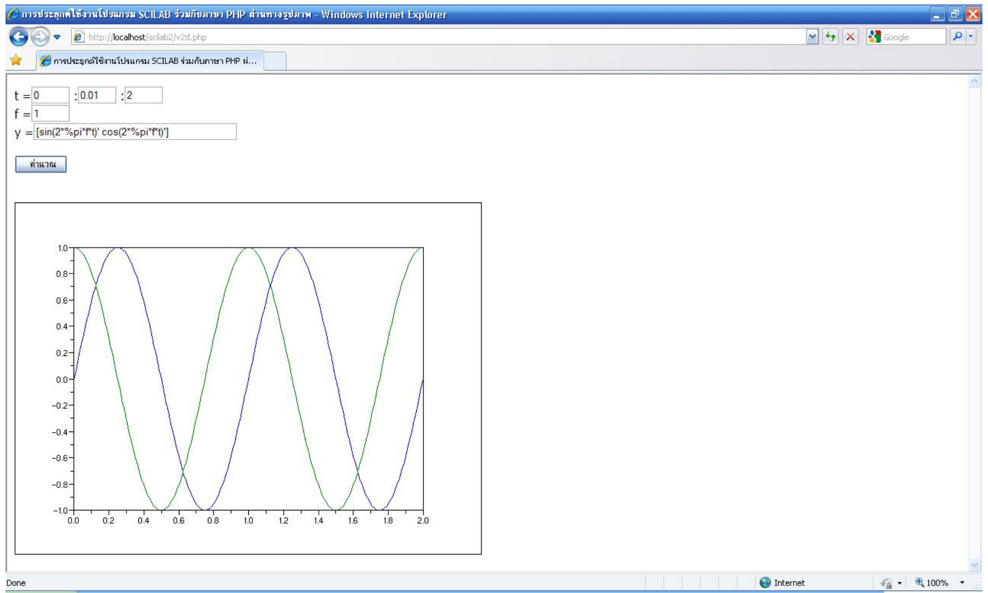
บรรทัดที่ 1 คือคำสั่งเปิดโค้ดของ PHP
บรรทัดที่ 2 คือตรวจสอบค่าว่างของตัวแปร t1, t2, t3, f1, y1
บรรทัดที่ 3 คือสร้างตัวแปร $y1 และตัดเครื่องหมาย backslash (\) ในข้อมูลของ y1 ที่ส่งผ่านมาทาง POST
บรรทัดที่ 4 คือสร้างตัวแปร $code1 บันทึกเขียนโค้ด SCILAB
บรรทัดที่ 5 คือเขียนข้อมูลจากตัวแปร $code1 ลงไปในไฟล์ v2d.sce
บรรทัดที่ 6 คือสร้างตัวแปร $path บันทึกค่าไดเรกทอรีหลัก
บรรทัดที่ 7 คือสร้างตัวแปร $com บันทึกค่าโค้ดประมวลผล Command

บรรทัดที่ 8 คือคำสั่งประมวลผลโค้ดในตัวแปร $com
บรรทัดที่ 9 คือปิดคำสั่งการตรวจสอบค่าว่างของตัวแปร input
บรรทัดที่ 10 คือคำสั่งปิดโค้ดของ PHP
บรรทัดที่ 11 คือคำสั่งเปิดโค้ดของ HTML
บรรทัดที่ 12 คือคำสั่งเปิดโค้ดของ head
บรรทัดที่ 13 คือตั้งค่าภาษาไทยของเว็บไซต์
บรรทัดที่ 14 คือตั้งค่าชื่อ title bar ของเว็บไซต์
บรรทัดที่ 15 คือคำสั่งปิดโค้ดของ head
บรรทัดที่ 16 คือคำสั่งเปิดโค้ดของ body
บรรทัดที่ 17 คือคำสั่งสร้าง Form และส่งค่าตัวแปรใน Form ไปยังไฟล์ v2d.php
บรรทัดที่ 18 คือเขียนข้อความ "t =" ลงในเว็บไซต์ และสร้าง TEXT BOX 1 ตัว ชื่อว่า t1
บรรทัดที่ 19 คือเขียนข้อความ ":" ลงในเว็บไซต์ และใส่ TEXT BOX 1 ตัว ชื่อว่า t2
บรรทัดที่ 20 คือเขียนข้อความ ":" ลงในเว็บไซต์ และใส่ TEXT BOX 1 ตัว ชื่อว่า t3
บรรทัดที่ 21 คือคำสั่งขึ้นบรรทัดใหม่
บรรทัดที่ 22 คือเขียนข้อความ "f =" ลงในเว็บไซต์ และสร้าง TEXT BOX 1 ตัว ชื่อว่า f1
บรรทัดที่ 23 คือคำสั่งขึ้นบรรทัดใหม่
บรรทัดที่ 24 คือเขียนข้อความ "y =" ลงในเว็บไซต์ และสร้าง TEXT BOX 1 ตัว ชื่อว่า f1
บรรทัดที่ 25 คือคำสั่งขึ้นบรรทัดใหม่ 2 ครั้ง
บรรทัดที่ 26 คือสร้างปุ่มคำนวณ (Button)
บรรทัดที่ 27 คือคำสั่งปิดโค้ด Form
บรรทัดที่ 28 คือคำสั่งขึ้นบรรทัดใหม่
บรรทัดที่ 29 คือคำสั่งแสดงรูปภาพโดยให้แสดงภาพ update ตลอดเวลาด้วยฟังก์ชัน rand
บรรทัดที่ 30 คือคำสั่งปิดโค้ดของ body
บรรทัดที่ 31 คือคำสั่งปิดโค้ดของ HTML

2.4.2 จากนั้นนำไฟล์ v2d.php ไปใส่ในโฟลเดอร์ www/SCILAB2 ของ Server จำลองและเปิด browser internet explorer พิมพ์ URL ดังนี้ localhost/SCILAB2/v2d.php จากนั้นจะแสดง Form ที่สร้างขึ้น และทดลองป้อนข้อมูลดังภาพที่ 3 และคลิกที่ปุ่ม "คำนวณ" ก็จะได้ผลลัพธ์ตามภาพที่ 4



ภาพที่ 3: ตัวอย่างการวาดกราฟ 2 มิติ ด้วยโปรแกรม SCILAB ร่วมกับภาษา PHP ผ่านทางรูปภาพ



ภาพที่ 4: ตัวอย่างผลลัพธ์การวาดกราฟ 2 มิติ ด้วยโปรแกรม SCILAB ร่วมกับภาษา PHP ผ่านทางรูปภาพ

3. การทดสอบประสิทธิภาพของโค้ดโปรแกรม PHP

3.1 การทดสอบในการด้านการแสดงผลลัพธ์หน้าเว็บไซต์ (Performance display on website) ดังนี้

ผู้วิจัยได้ทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงแสดงผลลัพธ์ด้วยฟังก์ชัน microtime [6] โดยทดสอบจำนวน 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำไปสร้างกราฟในภาพที่ 5 โดยในที่นี้จะวัดสมรรถณะของระบบจาก 2 การทดลองดังนี้

3.1.1 การจับเวลาการวนรูปด้วยคำสั่ง for จำนวน 100,000 รอบ โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นทำงานจนถึงแสดงผลลัพธ์ ซึ่งจะแสดงผลลัพธ์เป็นจำนวนตัวเลข 100,000 ที่หน้าเว็บไซต์

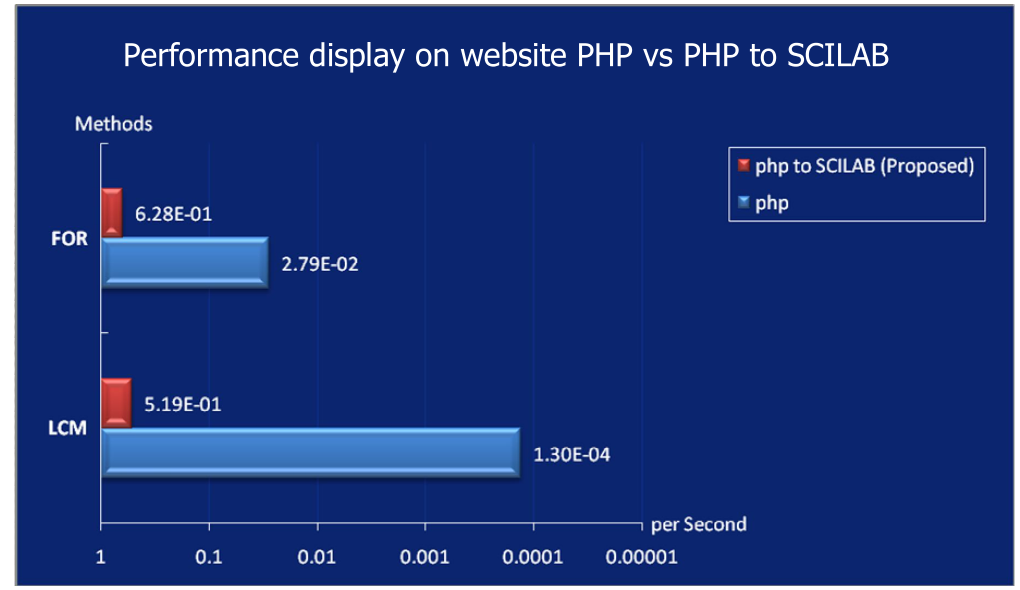
3.1.2 การจับเวลาการใช้คำนวณหาค่า ค.ร.น. (ตัวคูณร่วมน้อย: LCM) โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่คลิกปุ่มคำนวณจนถึงแสดงผลลัพธ์

3.1 ตารางแสดงการจับเวลาการวนรูปด้วยคำสั่ง for จำนวน 100,000 รอบ

วิธีการใช้งาน (Methods)	ครั้งที่ 1/ วินาที	ครั้งที่ 2 / วินาที	ครั้งที่ 3 / วินาที	ค่าเฉลี่ย / วินาที
PHP	0.025418	0.039169	0.019145	0.027911
PHP to SCILAB (Proposed)	0.615723	0.642034	0.625579	0.627779

3.2 ตารางแสดงการจับเวลาการใช้คำนวณ ค.ร.น. (LCM)

วิธีการใช้งาน (Methods)	ครั้งที่ 1/ วินาที	ครั้งที่ 2 / วินาที	ครั้งที่ 3 / วินาที	ค่าเฉลี่ย / วินาที
PHP	0.000136	0.000128	0.000127	0.00013
PHP to SCILAB (Proposed)	0.508582	0.520265	0.526864	0.51857



ภาพที่ 5: ผลการจับเวลาการแสดงผลบนเว็บไซต์ระหว่าง PHP vs PHP to SCILAB

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการทดสอบการทำงานของงานประยุกต์ต่างๆ ที่พัฒนาในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 พบว่าโปรแกรม SCILAB และภาษา PHP สามารถทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดี โดยให้ผลลัพธ์ถูกต้องทุกครั้ง ทั้งนี้คณะผู้วิจัยมีข้อสังเกตในส่งค่าในรูปแบบ POST หรือ GET ที่มีการใช้เครื่องหมาย " (double quote) หรือ ' (Single quote) โดยภาษา PHP นั้นจะมีการใส่เครื่องหมาย backslash ข้างหน้าเครื่องหมายดังกล่าว เช่น \" หรือ \' เป็นต้น เพื่อไม่ให้เกิด syntax error ในการบันทึกและแสดงข้อมูลลงในฐานข้อมูล MySQL แต่ในการเขียนข้อมูลลงในไฟล์สคริปต์ของ SCILAB นั้นไม่มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องหมาย backslash นำหน้าเครื่องหมายดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงได้ใช้ฟังก์ชัน stripslashes (ตัวอย่างที่ 2.3 บรรทัดที่ 3) เพื่อตัดเครื่องหมาย backslash (\) ออก

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลระหว่างเทคนิคที่นำเสนอและการใช้ภาษา PHP อย่างเดียว ตามที่แสดงในภาพที่ 5 ซึ่งสรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วย PHP ดีกว่าโปรแกรมที่เชื่อมต่อระหว่าง PHP ร่วมกับ SCILAB เพราะการเชื่อมต่อกับโปรแกรม SCILAB จะต้องรอผลลัพธ์ตอบกลับจากโปรแกรม SCILAB จึงทำให้เสียเวลาในการแสดงผลลัพธ์นานมากกว่าการประมวลผลด้วย PHP ปกติ อย่างไรก็ตามภาษา PHP ไม่สามารถคำนวณฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ หรือต้องใช้ทรัพยากรมากในการพัฒนาฟังก์ชันคณิตศาสตร์ใหม่ๆ ขึ้นมาใช้กับภาษา PHP โดยเฉพาะ ดังนั้นการตัดสินใจว่าจะใช้เทคนิคที่นำเสนอ (ใช้งานโปรแกรม SCILAB ร่วมกับภาษา PHP) หรือไม่นั้นจะต้องประนีประนอมระหว่างความต้องการในการใช้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนและเวลาประมวลผลที่นานขึ้น

5. สรุปผลการวิจัย

โปรแกรม SCILAB เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลขและแสดงผลกราฟิกที่ซับซ้อน จึงเหมาะกับการใช้งานทางด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ ในขณะที่การพัฒนาเว็บไซต์ด้วยภาษา PHP มีข้อจำกัดในการพัฒนาฟังก์ชันที่เกี่ยวกับการคำนวณทางวิศวกรรมและคณิตศาสตร์ต่างๆ ดังนั้นเทคนิคการใช้งานโปรแกรม SCILAB และภาษา PHP ร่วมกันจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นที่จะช่วยลดขั้นตอนในการพัฒนาอัลกอริทึมที่ซับซ้อนและยุ่งยาก เพื่อให้ผู้ที่ไม่มีความรู้ด้านการเขียนอัลกอริทึมให้สามารถเขียนโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ได้ง่ายขึ้น ซึ่งจะต้องแลกกับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลที่นานมากขึ้น อย่างไรก็ตามผู้วิจัยมีความมั่นใจว่าปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้เครื่องแม่ข่ายที่สามารถคำนวณได้ถึงระดับล้านคำสั่งต่อวินาที

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม “โครงการการพัฒนาสื่อการสอนวิชาคณิตศาสตร์แบบภาพเคลื่อนไหวผ่านเว็บไซต์ โดยใช้โปรแกรม SCILAB ร่วมกับโปรแกรม Flash Animaiton ปีงบประมาณ 2555”

7. เอกสารอ้างอิง

[1] จิรันดร บู๊ฮวดใช้ และปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์, “การพัฒนาชุดฝึกการเรียนการสอนโดยใช้โปรแกรม VISUAL BASIC ร่วมกับ SCILAB”, NPRU Journal of Science and Technology, Thailand, vol. 3, no. 1, 2010, pp. 113 - 122.
[2] ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์. 2551. คู่มือโปรแกรมภาษา SCILAB สำหรับผู้เริ่มต้น (ฉบับปรับปรุงใหม่). กรุงเทพฯ : เพชรเกษมการพิมพ์ นครปฐม.
[3] SCILAB. March 1, 2012 www.scilab.org
[4] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, March 1, 2012 http://th.wikipedia.org/wiki/ภาษาพีเอชพี
[5] MATLAB, March 1, 2012 http://www.mathworks.com
[6] Script execution time, March 1, 2012 http://www.webdesign.org/web-programming/php/script-execution-time.8722.html
[7] memory_get_usage, March 1, 2012 http://th.php.net/manual/en/function.memory-get-usage.php
[8] เครื่องมือสำหรับใช้ในการคำนวณ, March 1, 2012 http://calculator.teenee.com/percentage.html

การวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจระหว่างการใช้ระบบโทรศัพท์แบบเดิมกับระบบโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

Decision Analysis on Choosing between a Traditional Telephone and a Voice-over-Internet Protocol (VoIP) System: A Case Study in Nakhon Pathom Rajabhat University

นิฏฐิตา เชิดชู[1] และ วีระศักดิ์ ชื่นตา[2]
[1]โปรแกรมวิศวกรรมโทรคมนาคม
[2]หน่วยวิจัยระบบสมองกลฝังตัว
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[1]nitthita@npru.ac.th and [2]weerasak@npru.ac.th

บทคัดย่อ

ถึงแม้ว่าระบบโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Voice-over-Internet Protocol: VoIP) จะได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้พร้อมๆ กับลดค่าใช้จ่ายขององค์กร แต่เนื่องจากข้อจำกัดบางประการของระบบ VoIP ทำให้จะต้องมีการวิเคราะห์อย่างถี่ถ้วนถึงความเหมาะสม ก่อนที่จะตัดสินใจเลือกนำเอาระบบ VoIP เข้ามาใช้งาน บทความนี้นำเสนอแนวการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจระหว่างการเลือกใช้ระบบโทรศัพท์แบบเดิมกับระบบโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านกรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดยหลักการวิเคราะห์ดังกล่าวครอบคลุมปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ความพร้อมของระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตในการรองรับระบบ VoIP, ความคุ้มค่าในการลงทุน และประสิทธิภาพของระบบ

ผลจากการวิเคราะห์ในแง่มุมข้างต้น พบว่า สำหรับมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมแล้วการเปลี่ยนระบบโทรศัพท์เป็นระบบ VoIP นั้นจะสามารถแก้ปัญหาการขาดแคลนคู่สายภายในได้อย่างสิ้นเชิง ถึงแม้ว่าจะต้องมีการลงทุนในส่วนของการพัฒนาระบบขึ้นใหม่แต่ในระยะยาวจะเกิดความคุ้มทุนทั้งในเรื่องของการใช้งานกำลังไฟฟ้าที่ลดลง และประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระบบโทรศัพท์แบบเดิม

คำสำคัญ: ระบบโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต, ระบบโทรศัพท์แบบเดิม, ชุมสายโทรศัพท์ไอพี

Abstract

Although Voice-over-Internet Protocol (VoIP) is widely recognized as a technology that can help an organization to improve its productivity and reduce expenses, there exist certain limitations that need to be carefully considered before choosing to implement the system. This paper presents a decision analysis on choosing between a traditional telephone and a VoIP system for Nakhon Pathom Rajabhat University (NPRU). This analysis includes evaluating the feasibility of using existing computer network to serve VoIP, the efficiency and the cost-effectiveness of deploying a VoIP system in the organization.

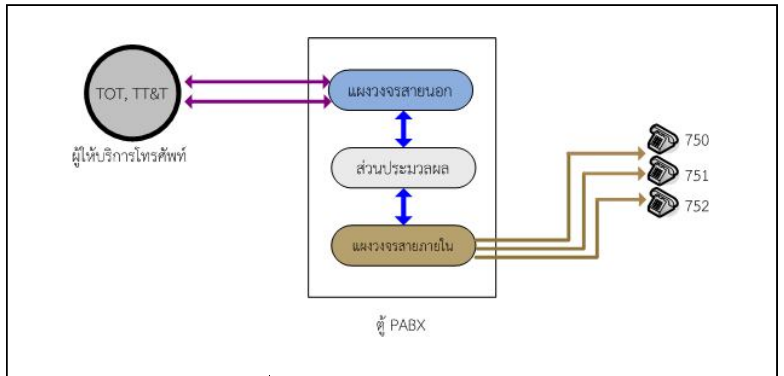
Our analysis reveals that it is more cost-effective for NPRU to invest in VoIP technology since it offers a solution to the problem of internal phone line shortage. Moreover, with VoIP, NPRU can achieve higher productivity with less electrical power consumption when compared with the traditional telephone system.

Keyword: VoIP, PSTN, Traditional telephone, IP-PBX

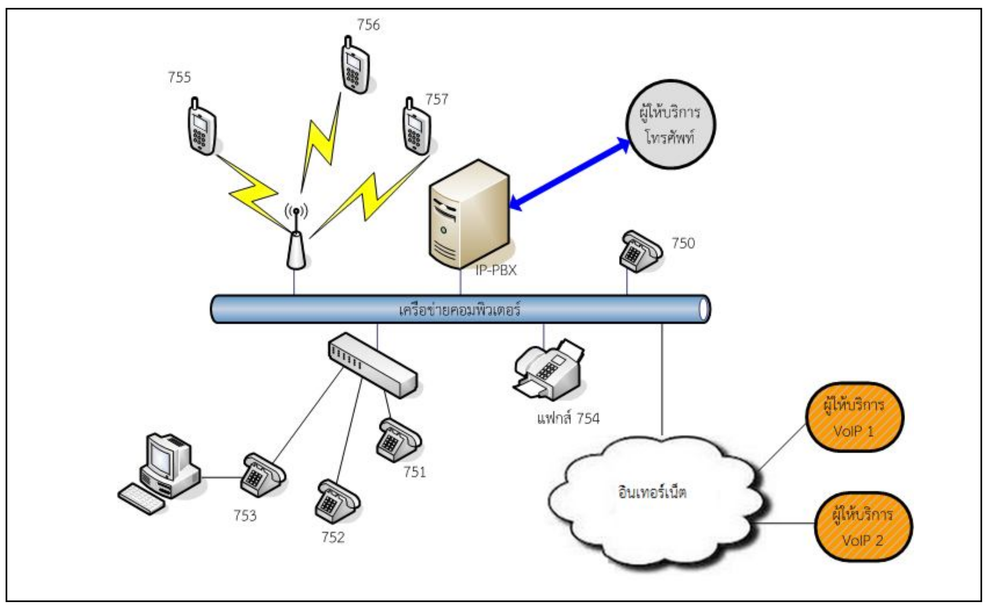
1. บทนำ

ในปัจจุบันระบบโทรศัพท์จัดได้ว่าเป็นระบบการสื่อสารขั้นพื้นฐานมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในองค์กรทุกระดับตั้งแต่ระดับส่วนบุคคลไปจนถึงองค์กรขนาดใหญ่ ระบบโทรศัพท์ที่ใช้ในองค์กรขนาดกลางและขนาดใหญ่นั้นมักจะออกแบบให้มีระบบโทรศัพท์เป็นของตนเองเพื่อให้การสื่อสารภายในองค์กรของตนเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และประหยัดค่าใช้จ่าย

ซึ่งระบบโทรศัพท์ขององค์กรโดยส่วนใหญ่จะยังคงใช้เทคโนโลยีระบบโทรศัพท์แบบเดิม (Traditional telephone system) ที่มีตู้ชุมสายโทรศัพท์ (PABX) เป็นหัวใจหลักในการทำงาน ภายในตู้ชุมสายโทรศัพท์นี้ ประกอบไปด้วยองค์ประกอบทั้งหมด 3 ส่วน คือ (1) *ส่วนของแผงวงจรสายนอก* ทำหน้าที่เชื่อมต่อคู่สายภายนอกของผู้ให้บริการโทรศัพท์ค่ายต่าง ๆ (เช่น องค์การโทรศัพท์ บริษัททีทีแอนด์ที เป็นต้น) เข้ากับส่วนประมวลผล (2) *ส่วนประมวลผล* ทำหน้าที่หลัก คือ ทำการเชื่อมต่อคู่สายระหว่างการโทรศัพท์ระหว่างคู่สายภายใน และระหว่างสายภายในกับสายภายนอก และ (3) *ส่วนของแผงวงจรสายภายใน* ทำหน้าที่เชื่อมต่อคู่สายโทรศัพท์ระหว่างผู้ใช้งานภายในองค์กรผ่านทางสายเคเบิลหรือสาย drop wire เข้ากับส่วนประมวลผล ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบโทรศัพท์แบบเดิมภายในองค์กร



ภาพที่ 2 ระบบโทรศัพท์ VoIP

โดยที่ขนาดของระบบโทรศัพท์ภายในองค์กรจะขึ้นอยู่กับจำนวนของผู้ใช้งานเป็นหลัก หากต้องมีการรองรับผู้ใช้งานที่มีจำนวนมาก ก็จะต้องมีการเพิ่มจำนวนแผงวงจรสายภายในให้พอเพียงกับการใช้งาน ภายในแผงวงจรดังกล่าวประกอบไปด้วย อุปกรณ์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวต่อสัญญาณไฟฟ้า ทำให้บ่อยครั้งมักพบปัญหาแผงวงจรชำรุดอันเกิดการสอดแทรกของสัญญาณไฟฟ้าหรือสัญญาณฟ้าผ่า ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัญหาใหญ่ของทุกองค์กรที่ใช้ระบบโทรศัพท์แบบเดิม นอกจากปัญหาดังกล่าว ระบบโทรศัพท์แบบเดิมยังมีข้อจำกัดด้านฟังก์ชัน หรือความสามารถของตู้ชุมสายโทรศัพท์ที่ขึ้นอยู่กับการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางที่ถูกออกแบบและกำหนดจากโรงงานผู้ผลิต เจ้าขององค์กรหรือผู้ใช้งานไม่สามารถกำหนดความต้องการเพิ่มเติมได้ในภายหลัง นอกจากนี้การวางระบบข่ายสายจากตู้ชุมสายโทรศัพท์ไปยังผู้ใช้งานโทรศัพท์สายภายในโดยการเดินสายเคเบิลหรือสาย drop wire บ่อยครั้ง

จะทำการเดินสายไปตามผนังอาคาร ผนังห้อง เสาไฟฟ้า หรือ ดาดฟ้าอาคาร การทำเช่นนี้นอกจากจะทำให้สูญเสียความสวยความทางภูมิสถาปัตย์แล้ว ยังเป็นต้นเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาฟ้าลงซึ่งนำมาสู่การชำรุดของแผงวงจรสายภายใน

ด้วยความก้าวหน้าและความสามารถของเทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบโทรศัพท์รูปแบบใหม่ ที่เรียกว่า ระบบโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรือ ที่ต่อไปนี้จะเรียกว่า ระบบ VoIP (แสดงในภาพที่ 2) ซึ่งเป็นระบบที่ทำการแปลงสัญญาณเสียงจากผู้พูดต้นทางให้เป็นกลุ่มข้อมูล (data packet) แล้วจึงทำการส่งกลุ่มข้อมูลเหล่านี้ไปสู่ผู้รับสายปลายทางผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์แทนการใช้ระบบเครือข่ายสายเคเบิลโทรศัพท์ เมื่อถึงปลายทางผู้รับปลายทางจะทำการแปลงกลุ่มข้อมูลเหล่านี้ให้กลับมาเป็นสัญญาณเสียงดังเดิม จากการศึกษาและนำระบบ VoIP ไปใช้งานพบว่า ระบบ VoIP สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานขององค์กรควบคู่กับความสามารถในการลดค่าโทรศัพท์ขององค์กรได้อย่างมีนัยสำคัญ [1-3] ความสามารถอันโดดเด่นของระบบ VoIP เมื่อเทียบกับระบบโทรศัพท์แบบเดิม ก็คือ ลดค่าโทรศัพท์ เพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถของระบบตามการใช้งาน เช่น การเพิ่มจำนวนคู่สายภายในได้อย่างง่ายดาย การกำหนดสิทธิสำหรับผู้ใช้งาน การบันทึกข้อมูลการโทร การเชื่อมต่อกับระบบอิเล็กทรอนิกส์เมล์ เป็นต้น ซึ่งระบบชุมสายโทรศัพท์แบบเดิมไม่สามารถทำได้ครอบคลุม

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นถึงแม้ระบบโทรศัพท์ VoIP จะมีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับระบบโทรศัพท์แบบเดิมในหลายๆ ด้าน แต่นี่ไม่ได้หมายความว่า ทุกหน่วยงานหรือทุกองค์กรจะต้องลุกขึ้นมารื้อระบบโทรศัพท์แบบเดิมและเปลี่ยนมาใช้ระบบ VoIP ทั้งหมด ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยใน [4] ที่ได้ทำการศึกษาถึงความเหมาะสมในการนำเอาระบบ VoIP เข้ามาใช้ทดแทนระบบโทรศัพท์แบบเดิมสำหรับ Carnegie Mellon University ในงานวิจัยดังกล่าวได้มีการวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่างๆ เพื่อใช้ในการตัดสินใจ และได้ผลสรุปที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก นั่นก็คือ Carnegie Mellon University ไม่ควรนำระบบ VoIP เข้ามาใช้ทดแทนระบบโทรศัพท์แบบเดิม ปัจจัยหลักของการนำมาซึ่งผลวิเคราะห์นี้ คือ อัตราการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าที่อาจเพิ่มขึ้นกว่า 2 เท่าเมื่อเทียบกับการใช้ระบบโทรศัพท์แบบเดิม อันจะส่งผลให้การนำระบบโทรศัพท์ VoIP เข้ามาใช้งานไม่สามารถคุ้มทุนได้

บทความนี้จึงมุ่งที่จะนำเสนอในทุกแง่มุมที่เป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์และตัดสินใจเลือกใช้ระบบโทรศัพท์ VoIP เพื่อเป็นประโยชน์และแนวทางในการตัดสินใจขององค์กรและหน่วยงานต่อไป โดยจะได้ทำการศึกษาผ่านกรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม เริ่มตั้งแต่การศึกษาและวิเคราะห์ระบบโทรศัพท์ขององค์กร ในหัวข้อต่อไป เมื่อเข้าใจถึงศักยภาพ ความต้องการ และธรรมชาติการใช้งานระบบโทรศัพท์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแล้ว จะได้นำเสนอการวิเคราะห์ความพร้อมของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในการรองรับระบบ VoIP ความคุ้มค่าและคุ้มทุนในแง่มุมต่างๆ ในหัวข้อที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ในหัวข้อที่ 5 และ 6 จะกล่าวถึงข้อจำกัดของระบบ VoIP และบทสรุปของการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจระหว่างการใช้ระบบโทรศัพท์แบบเดิมกับระบบโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

2. ระบบโทรศัพท์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ระบบโทรศัพท์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมในปัจจุบันเป็นระบบโทรศัพท์แบบแอนะล็อก ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นไปตามรูปที่ 1 การเชื่อมต่อคู่สายที่มีอยู่ทั้งหมดประมาณกว่า 300 คู่สายของระบบสายภายในนั้น อาศัยชุมสายโทรศัพท์ชนิดแอนะล็อกยี่ห้อ NEC รุ่น NEAX7400 1 CS M100 จำนวนทั้งหมด 7 ตู้ ซึ่งได้มีการกำหนดค่าฟังก์ชั่นการใช้งานเป็นแบบพื้นฐาน คือ มีระบบตอบรับ

ตารางที่ 1 ผลของความล่าช้าในการสื่อสารต่อการรับฟัง

ความล่าช้า (ms)	ผลต่อการรับฟัง
0-150	การสื่อสารสามารถเข้าใจได้ง่าย และผู้ฟังไม่รู้สึกถึงความล่าช้าในการสื่อสาร
150-250	ผู้ฟังรับรู้ได้ถึงความล่าช้าในการสื่อสาร แต่ยังสามารถยอมรับได้
≥400	คุณภาพของการสื่อสารไม่สามารถยอมรับได้

อัตโนมัติ สามารถรับสาย โทรออก โอนสายระหว่างเบอร์ภายใน และการรับสายเรียกซ้อน เป็นต้น ส่วนระบบสายนอกนั้นเชื่อมต่อชุมสายโทรศัพท์ขององค์การโทรศัพท์จังหวัดนครปฐม ปัจจุบันมหาวิทยาลัยฯ มีคู่สายนอกอยู่ทั้งหมดประมาณ 40 เลขหมายซึ่งมีการติดตั้งกระจายไปตามหน่วยงานต่างๆ ของมหาวิทยาลัย ซึ่งแต่ละหน่วยงานมีค่าโทรศัพท์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 400-1,500 บาท/เดือน (รวมค่าโทรศัพท์ และค่าส่งแฟกซ์) ซึ่งค่าโทรศัพท์ทั้งหมดเป็นค่าโทรศัพท์ภายในประเทศ

ปัญหาหลักของการใช้งานระบบโทรศัพท์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม คือ การขาดแคลนเบอร์สายภายใน ปัญหาดังกล่าวก่อให้เกิดการขาดความคล่องตัวในการสื่อสารภายในองค์กร ซึ่งบ่อยครั้งนำไปสู่ความยากลำบากและสิ้นเปลืองในการ

ติดต่อสื่อสารของบุคคลากรภายในองค์กร ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเบื้องต้นถึงสาเหตุของการขาดแคลนเบอร์โทรศัพท์สายใน สามารถสรุปได้เป็น 2 เหตุผลหลัก ดังนี้

- *ปรากฏการณ์ฟ้าลงที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง* ทำให้แผงวงจรสายภายในที่ติดตั้งภายในตู้ชุมสายของมหาวิทยาลัยฯ เกิดความเสียหาย ถึงแม้จะพยายามแก้ปัญหาด้วยการเพิ่มจุดกราวด์และใส่ฟิวส์กันฟ้าลงก็ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทั้งหมด (เนื่องจากในการเดินคู่สายโทรศัพท์ในบางจุดนั้นมีการเดินสายไปตามแนวเสาไฟฟ้า ใกล้จุดหม้อแปลงไฟฟ้า ส่งผลให้ความเสี่ยงต่อการเกิดฟ้าลงแผงวงจรมีมากยิ่งขึ้น) ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแผงวงจรสายภายในทุกๆ ครั้งที่เกิดความเสียหายจากปรากฏการณ์ฟ้าลง แต่เนื่องด้วยราคาที่สูง (ประมาณ 20,000 บาท/แผงวงจร) ประกอบกับความถี่ของการเกิดฟ้าลง ทำให้ไม่คุ้มค่ากับการลงทุนเปลี่ยนการ์ดใหม่ ผลกระทบที่หน่วยงานได้รับ ก็คือ หน่วยงานบางหน่วยงานไม่มีโทรศัพท์สายภายในใช้ เช่น อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นต้น
- *การขยายตัวของจำนวนอาคารใหม่ภายในมหาวิทยาลัย* เช่น อาคารกิจการนักศึกษา ตึกทวารวดีศรีราชภัฏ อาคารศูนย์คอมพิวเตอร์ ศูนย์กีฬา และหอประชุมศูนย์คอมพิวเตอร์และศูนย์ภาษา ทำให้เกิดความต้องการเบอร์และคู่สายภายในเพิ่มขึ้นอีกประมาณไม่น้อยกว่า 200 คู่สาย

จากปัญหาของการขาดแคลนสายในดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ทำให้มหาวิทยาลัยฯ มีความจำเป็นต้องมีการขยายระบบโทรศัพท์สายภายในเพื่อรองรับความต้องการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น จุดนี้เองเป็นที่มาของการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจระหว่างการเลือกที่จะขยายขนาดระบบโทรศัพท์แบบเดิม หรือพัฒนาระบบ VoIP ขึ้นมาเพื่อใช้งานแทนระบบเดิม จะมีประสิทธิภาพและความคุ้มค่าแก่องค์กรมากกว่ากัน

3. ความพร้อมของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในการรองรับระบบ VoIP

เนื่องจากระบบ VoIP อาศัยเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในการส่งข้อมูลเสียง ดังนั้นคุณภาพของสัญญาณเสียงในระหว่างการสนทนาจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ องค์กร ITU (International Telecommunication Union) ได้มีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความล่าช้า (Delay) ของการสื่อสารที่มีผลต่อการรับฟังสำหรับบุคคลทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้ การสื่อสารทางเสียงที่จะถือว่ามีคุณภาพที่ดีนั้นจะต้องมีความล่าช้าไม่เกิน 150 ms ซึ่งระบบโทรศัพท์แบบเดิมซึ่งใช้เทคโนโลยี Circuit Switching ที่จะต้องมีการเชื่อมต่อคู่สายโทรศัพท์ระหว่างผู้โทรออกกับผู้รับสายเสียก่อน จึงจะยอมให้มีการสื่อสารระหว่างต้นทางและปลายทางได้ เมื่อมีการเชื่อมต่อเส้นทางไว้ก่อนแล้วการส่งเสียงระหว่างต้นทางและปลายทางจึงไม่มีความล่าช้ามากนัก (น้อยกว่า 150 ms) ทำให้การสื่อสารด้วยระบบโทรศัพท์แบบเดิมจะมีคุณภาพเสียงที่ดี [4-5] ในทางตรงกันข้ามเมื่อพิจารณาระบบ VoIP ที่ต้องอาศัยระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในการส่งข้อมูลเสียง ดังนั้นความล่าช้าของการสื่อสารในระบบ VoIP จึงเกิดจากความล่าช้าในการส่งกลุ่มข้อมูลภายในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์นั่นเอง

การส่งกลุ่มข้อมูลภายในเครือข่ายคอมพิวเตอร์นั้นจะอาศัยเทคโนโลยี ที่เรียกว่า Packet Switching ซึ่งไม่ได้มีการกำหนดเส้นทางระหว่างผู้ส่งต้นทางและผู้รับปลายทางเอาไว้ก่อนทำการสื่อสาร แต่จะอาศัยการหาเส้นทางให้กับแต่ละกลุ่มข้อมูลในขณะเวลาทำการสื่อสาร เทคนิคการหาเส้นทางแบบนี้จริงๆ แล้วเหมาะสมกับการส่งข้อมูลมากกว่าที่จะนำมาใช้ในการสื่อสารทางเสียง เนื่องจากค่าความล่าช้าของการส่งกลุ่มข้อมูลอาจมีค่าสูงมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความคับคั่งของการจราจร อัตราการสูญหายของกลุ่มข้อมูลในระหว่างการส่งภายในเครือข่ายนั้นๆ ด้วย เพื่อที่จะให้เสียงจากระบบ VoIP มีคุณภาพเสียงที่ดีนั้น [4] แนะนำว่า นอกจากความล่าช้าของการสื่อสารจะต้องน้อยกว่า 150 ms แล้ว อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตต้องน้อยกว่า 3%

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเก็บค่าความล่าช้าและอัตราการสูญหายของการส่งกลุ่มข้อมูลภายในเครือข่ายอินทราเน็ตของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และเมื่อออกสู่ระบบอินเทอร์เน็ตจากเครื่องคอมพิวเตอร์เดียวกันไปยังเครื่องแม่ข่ายผู้ให้บริการระบบ VoIP ทั้งใน (voip.mouthmun.com, 203.113.125.82) และต่างประเทศ (sip.sipdiscount.com) ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่า ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ของมหาวิทยาลัยฯ สามารถรองรับการนำระบบ VoIP เข้ามาใช้งานเนื่องจากโดยเฉลี่ยแล้วมีค่า one-way packet delay และ packet loss น้อยกว่า 150 ms และ 3% ตามลำดับ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ระบบอินทราเน็ตของมหาวิทยาลัยฯ เอื้อต่อการนำเอาระบบ VoIP เข้ามาใช้งาน ส่วนการเชื่อมต่อคู่สายนอกผ่านระบบ VoIP นั้นจะเห็นได้

การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องแม่ข่าย VoIP ณ จุดต่างๆ	One-way packet delay (ms)			Packet Loss (%)	หมายเหตุ
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย		
เครื่องแม่ข่าย VoIP ติดตั้งภายในมหาวิทยาลัยฯ	3	1	1.5	0	ภายในเครือข่ายอินทราเน็ตของมหาวิทยาลัยฯ
เครื่องแม่ข่าย VoIP ของ Mouthmun (voip.mouthmun.com)	2.5	2	2	0	VoIP server ที่ ติดตั้งอยู่ภายในประเทศ
เครื่องแม่ข่าย VoIP ของ ToT (203.113.125.82)	3	5	3.5	0	
เครื่องแม่ข่าย VoIP ของ True (61.90.255.132)	4.5	2	2.5	0	
เครื่องแม่ข่าย VoIP ของ Gotalk.com (sip.gotalk.com)	603	207.5	423.5	0	VoIP server ที่ติดตั้งอยู่ในต่างประเทศ
เครื่องแม่ข่าย VoIP ของ VoipDiscount.com (sip.sipdiscount.com)	157	116.5	136.5	0	

ตารางที่ 2 ค่า One-way packet delay และ Packet loss ของการเชื่อมต่อจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมกับเครื่องแม่ข่าย VoIP ต่างๆ (หมายเหตุ: ทำการทดสอบ ณ วันที่ 20 พ.ค. 2555)

ว่าหากเครื่องแม่ข่ายของผู้ให้บริการ VoIP นั้นอยู่ภายในประเทศไทย (ดูกรณี Mouthmun, ToT และ True ในตารางที่ 2) จะไม่มีปัญหาในเรื่องของคุณภาพเสียง แต่หากเครื่องแม่ข่ายของผู้ให้บริการ VoIP นั้นอยู่ในต่างประเทศ (ดูกรณี Gotalk และ Voipdiscount ในตารางที่ 2) ผู้ใช้งานมีโอกาสสูงที่จะประสบกับปัญหาในเรื่องของคุณภาพของสัญญาณในระหว่างการสนทนา

4. ความคุ้มค่าในการนำระบบ VoIP มาใช้งาน

4.1 ด้านการลงทุน

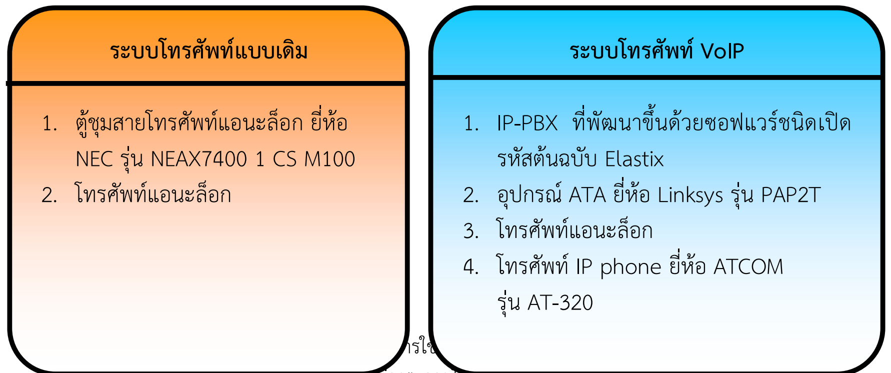
สำหรับมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่ประสบปัญหาแผงวงจรสายภายในชำรุดบ่อยครั้งเนื่องจากอาการฟ้าลง และการขยายตัวของหน่วยงานและอาคารในมหาวิทยาลัยฯ ทำให้เกิดความต้องการคู่สายภายในขึ้นอีกกว่าเท่าตัว การเลือกลงทุนด้วยการขยายตู้ชุมสาย เพิ่มแผงวงจรสายสายในและขยายข่ายสายแบบเดิมนั้น นอกจากจะเป็นการลงทุนที่สูงแล้วยังทำให้ความเสี่ยงของปัญหาฟ้าลงเพิ่มมากขึ้น การนำเอาระบบ VoIP เข้ามาใช้แทนระบบโทรศัพท์เดิมทั้งหมดหรือการผสมสองระบบเข้าด้วยกัน เชื่อมั่นว่าจะสามารถแก้ไขปัญหาข้างต้นได้อย่างสิ้นเชิง กล่าวคือ เนื่องจากปัจจุบันการเชื่อมโยงกันของระบบเครือข่ายอินทราเน็ตของมหาวิทยาลัยฯ กับ ตำแหน่งของ IP-PBX ที่จะได้ทำการติดตั้งใช้งานนั้นจะเชื่อมโยงกันด้วยเส้นใยแก้วนำแสงเป็นหลัก ซึ่งเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะไม่มีการเหนี่ยวนำต่อสัญญาณไฟฟ้าซึ่งจะส่งผลให้ปัญหาด้านฟ้าลงนั้นหมดไป สำหรับในเรื่องของการลงทุนด้านงบประมาณของระบบ VoIP ส่วนใหญ่จะเป็นการลงทุนไปกับเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย และอุปกรณ์โทรศัพท์เท่านั้น ส่วนข่ายสายนั้นหากระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์มีศักยภาพเพียงพอในการรองรับระบบ VoIP แล้วนั้น ก็สามารถนำเอาโครงข่ายของระบบอินทราเน็ตที่มีอยู่แล้วมาใช้งานได้เลย ดังนั้นสำหรับกรณีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่มีเครือข่ายอินทราเน็ตที่มีประสิทธิภาพสูงและครอบคลุมทุกพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยฯอยู่แล้วนั้น การเพิ่มจำนวนคู่สายภายในของระบบ VoIP จึงถึงเป็นการลงทุนที่ต่ำมาก

4.2 อัตราการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า

บ่อยครั้งที่มีการนำเอาระบบ VoIP เข้ามาใช้งานโดยปราศจากการวิเคราะห์ถึงอัตราการใช้กำลังไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากเชื่อว่าระบบ VoIP สามารถลดค่าโทรศัพท์ได้อย่างมากทำให้ยังไงเสียก็คุ้มค่าในการนำเอาระบบ VoIP เข้ามาใช้งาน ความเชื่อดังกล่าวอาจเป็นไปได้สูงสำหรับองค์กรที่มีค่าโทรศัพท์ที่สูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าโทรศัพท์ดังกล่าวเป็นการโทรเพื่อติดต่อกับหน่วยงานใน

ต่างประเทศ เมื่อวิเคราะห์ลักษณะค่าโทรศัพท์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่ซึ่งค่าโทรศัพท์ส่วนใหญ่เป็นการโทรหากันภายในประเทศ ดังนั้นการนำเอาระบบ VoIP มาใช้งาน อาจไม่ได้ช่วยให้เกิดการประหยัดของค่าใช้จ่ายได้มากนัก เมื่อเทียบกันกับการที่มหาวิทยาลัยต้องลงทุนพัฒนาระบบ VoIP ขึ้นมาใหม่

งานวิจัยใน [4] ชี้ให้เห็นว่า การนำเอาระบบ VoIP เข้ามาใช้ใน Carnegie Mellon University นั้นจะทำให้มีการเพิ่มการใช้งานไฟฟ้าขึ้นไปถึง 2-3 เท่า (ขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน) เมื่อเทียบกับการใช้ระบบโทรศัพท์แบบเดิม ผลลัพธ์จาก



ตารางที่ 3 อัตรากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในระบบโทรศัพท์แบบเดิมและระบบ VoIP

ระบบโทรศัพท์	อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	หมายเหตุ
ระบบโทรศัพท์แบบเดิม	ตู้ชุมสาย NEC-2000	660	โทรศัพท์**แอนะล็อก**อาศัยไฟฟ้าที่จ่ายมาจากตู้ชุมสาย ดังนั้นการใช้กำลังไฟฟ้าจะวัดที่ตู้ชุมสายเท่านั้น
ระบบโทรศัพท์ VoIP	IP-PBX	95	
	ATA+ โทรศัพท์แอนะล็อก 2 เครื่อง	2.62 (ขณะวางหู) 3.27 (ขณะมีสายเข้า 1สาย) 4.02 (ขณะมีสายเข้าพร้อมกัน 2 สาย)	1 ATA สามารถรองรับได้ 2 โทรศัพท์
	IP-Phone (AT-320)	**1.2 (วางหู, สายเข้า)**	

ตารางที่ 4 กำลังไฟฟ้าต่อปีที่ต้องใช้สำหรับสำหรับระบบโทรศัพท์แบบเดิมและระบบ VoIP กรณี 300 คู่สายภายใน

กรณี	กำลังไฟฟ้า/ปี (kWh)	หมายเหตุ
1	5,782	
2	4,275	สมมติให้สัญญาณสายเข้ามีช่วงเวลาสั้นมากๆ เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่วางหู
3	3,986	

งานวิจัยดังกล่าว สรุปได้ว่า การนำเอาระบบ VoIP เข้ามาใช้ไม่สามารถคุ้มทุนได้และได้ตัดสินใจไม่นำระบบ VoIP เข้ามาใช้ใน Carnegie Mellon University จากงานดังกล่าวผู้วิจัยเห็นด้วยว่า อัตราการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าเป็นตัวแปรหนึ่งที่ควรนำมาพิจารณาก่อนตัดสินใจเลือกใช้งานระบบ VoIP ดังนั้นในหัวข้อต่อไปนี้ จะเป็นการศึกษาถึงอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าของระบบโทรศัพท์แบบเดิมเปรียบเทียบกับระบบ VoIP ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าระหว่างระบบโทรศัพท์ทั้ง 2 ระบบ ด้วยเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ภาพที่ 3 สำหรับระบบ VoIP ผู้วิจัยยังได้ทำการทดสอบการใช้กำลังไฟฟ้าของการใช้อุปกรณ์ ATA ร่วมกับโทรศัพท์ เทียบกับการใช้โทรศัพท์ IP Phone อีกด้วย ตารางที่ 3 แสดงผลทดสอบอัตรากำลังไฟฟ้าของทั้งสองระบบ

ผลลัพธ์ที่ได้จากตารางที่ 3 สามารถนำมาทำการคำนวณถึงกำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้ในกรณีที่ระบบโทรศัพท์ต้องรองรับผู้ใช้งานจำนวนทั้งหมด 300 คู่สาย โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 กรณีคือ (1) ระบบโทรศัพท์แบบเดิม (2) ระบบ VoIP โดยใช้ ATA + โทรศัพท์แอนะล็อก และ (3) ระบบ VoIP โดยใช้ IP Phone ดังผลลัพธ์ที่แสดงในตารางที่ 4 ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบการใช้กำลังไฟฟ้าพบว่า ระบบ VoIP ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าระบบโทรศัพท์แบบเดิมอย่างมีนัยสำคัญ (ดูตารางที่ 4 กรณีที่ 1 เทียบกับกรณีที่ 2 และ 3) นอกจากนั้นตารางที่ 4 ยังแสดงให้เห็นว่า กำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้ในระบบ VoIP ที่ใช้อุปกรณ์ ATA เชื่อมต่อกับโทรศัพท์แอนะล็อกนั้นสิ้นเปลืองกำลังงานมากกว่าระบบ VoIP ที่ใช้ IP Phone

สังเกตว่า บทวิเคราะห์ในเชิงการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของการนำระบบ VoIP เข้ามาใช้งานในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมนั้น แตกต่างกับบทสรุปที่ได้จาก [4] ทั้งนี้เนื่องมาจาก 2 ประเด็น ดังนี้ (1) ไฟที่เลี้ยงระบบโทรศัพท์สายภายในของ Carnegie Mellon University นั้น ถูกจ่ายมาจากผู้ให้บริการโทรศัพท์สายภายนอกโดยตรง ดังนั้นทางมหาวิทยาลัยฯ จึงไม่ต้องรับผิดชอบค่าไฟฟ้าในส่วนนี้ ส่วนกรณีของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมนั้น มหาวิทยาลัยฯ ต้องรับผิดชอบค่าไฟฟ้าในส่วนของตู้ชุมสายเอง และ (2) อุปกรณ์ที่นำมาทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าใน [4] กับ ในบทความนี้เป็นคนละยี่ห้อและรุ่นกัน

4.3 ประสิทธิภาพด้านอื่นๆ

นอกจากประเด็นในเรื่องของการใช้กำลังไฟฟ้าของระบบ VoIP ที่น้อยกว่าระบบโทรศัพท์แบบเดิมแล้วนั้น ระบบ VoIP ยังมีศักยภาพอื่นที่ระบบโทรศัพท์แบบเดิมไม่สามารถทำได้ เช่น การเพิ่มจำนวนหมายเลขภายใต้งบประมาณจำกัด ความสามารถรองรับการเชื่อมต่อกับระบบไอทีอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ได้แก่ ระบบอิเล็กทรอนิกส์เมล์ ระบบส่งข้อความสั้น และระบบรับส่งเอกสาร ระบบกระจายเสียง เป็นต้น เมื่อนำศักยภาพเหล่านี้มาใช้องค์กรสามารถเพิ่มประสิทธิภาพพร้อมๆ ไปกับการลดค่าใช้จ่ายได้ [1], [3], [5] กรณีศึกษาใน [2] ยังชี้ให้เห็นว่า การนำความสามารถในการส่งข้อความเสียงที่มีผู้ฝากไว้เวลาที่ผู้รับสายไม่สามารถรับโทรศัพท์ไปยังระบบอิเล็กทรอนิกส์เมล์ ทำให้สามารถประหยัดเวลาในการทำงานได้ถึง 1 ชม./คน/วัน

หากทำการพิจารณาความยั่งยืนของเทคโนโลยีระบบโทรศัพท์แบบเดิมกับระบบโทรศัพท์ VoIP แล้วจะพบว่า แนวโน้มของเทคโนโลยีชุมสายโทรศัพท์ในปัจจุบัน ล้วนมุ่งพัฒนาไปในทิศทางของชุมสายโทรศัพท์แบบ VoIP ให้มีประสิทธิภาพและศักยภาพเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ระบบโทรศัพท์แบบเดิมขาดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้คาดการณ์ได้ว่าในอนาคตผู้ใช้ระบบโทรศัพท์แบบเดิมอาจพบประสบกับปัญหาการขาดอุปกรณ์สำหรับซ่อมแซม บำรุงรักษา และขยายข่ายสายโทรศัพท์ภายในอย่างเลี่ยงไม่ได้

5. ข้อจำกัดในการใช้ระบบ VoIP

จากบทวิเคราะห์ที่ผ่านมาพบว่า ระบบ VoIP นั้นมีศักยภาพเหนือกว่าระบบโทรศัพท์แบบเดิม ทั้งในเรื่องของความประหยัดพลังงานและประสิทธิภาพในการทำงาน ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะได้นำเสนอข้อจำกัดของระบบ VoIP ที่ควรคำนึงถึงก่อนทำการตัดสินใจเลือกระหว่างระบบโทรศัพท์แบบเดิมและระบบ VoIP

5.1 ความน่าเชื่อถือของระบบ เนื่องจากระบบโทรศัพท์แบบ VoIP อาศัยข่ายสายคอมพิวเตอร์เป็นหลัก ดังนั้น การพิจารณาถึงเสถียรภาพของเครือข่ายคอมพิวเตอร์จึงเป็นสิ่งสำคัญ ทั้งในด้านความคับคั่งของข้อมูล การวางข่ายสายภายในองค์กรเป็นต้น การพิจารณาวางข่ายสายสำรอง ทั้งแบบมีสายหรือระบบไร้สาย เพื่อใช้งานในกรณีที่ข่ายสายหลักมีความคับคั่ง หรือเกิดการล่มลง ก็จะเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ VoIP มากขึ้น

5.2 ความปลอดภัยของระบบ VoIP เนื่องจากระบบ VoIP ทำงานบนระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ซึ่งอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (IP-PBX) ในการทำหน้าที่เป็นชุมสายโทรศัพท์แบบไอพี และอาศัยข่ายสายคอมพิวเตอร์ในการสื่อสารระหว่างกัน ดังนั้น ความเสี่ยงหนึ่งที่ตามมาของการใช้ระบบ VoIP ก็คือ ความปลอดภัยของข้อมูล และความปลอดภัยจากการโจมตีจากแฮคเกอร์ ซึ่งอาจทำให้เกิดการดักฟังเสียง การขโมยข้อมูล หรือการโจมตีเครื่องแม่ข่าย ดังแสดงให้เห็นจากงานวิจัยใน [7-8]

แนวทางแก้ไขหรือลดปัญหาดังกล่าว ก็คือ หน่วยงานที่จะนำเอาระบบ VoIP ไปใช้งานนั้นควรให้ความสำคัญและติดตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยของระบบเครือข่ายอยู่เป็นนิจ พิจารณาเลือกเครื่องแม่ข่ายและโปรแกรมที่ทำหน้าเป็น IP-PBX ที่มีความสามารถในการป้องกัน เข้ารหัสข้อมูล อีกทั้งควรจัดเตรียมบุคลากรผู้ดูแลระบบทำหน้าที่สังเกตการณ์และคอยเก็บข้อมูลย้อนหลังของระบบอยู่เสมอ

5.3 ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับ ระบบโทรศัพท์แบบเดิมจะอาศัยแหล่งพลังงานไฟฟ้าหลักจากตู้ชุมสาย ในการเลี้ยงชุมสายและเครื่องโทรศัพท์ลูกข่าย ในกรณีที่ไฟฟ้าดับหรือเกิดความขัดข้อง ระบบไฟฟ้าสำรองหรือ UPS จะทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบทั้งหมดทำให้การสื่อสารไม่ขาดหาย

สำหรับระบบ VoIP ที่ใช้เครื่องโทรศัพท์เชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่าย IP-PBX ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ระบบเช่นนี้จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าตามจุดผู้ใช้งาน หากเกิดปัญหาไฟฟ้าดับขัดข้องการสำรองไฟฟ้าที่เครื่องแม่ข่ายจุดเดียวจึงไม่

เพียงพอ จะต้องมีเครื่องสำรองไฟฟ้าสำหรับเครื่องโทรศัพท์ลูกข่ายด้วย การวางเครื่องสำรองไฟฟ้าหนึ่งจุดต่อเครื่องโทรศัพท์ลูกข่ายหนึ่งเครื่องคงเป็นการไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง ดังนั้นเพื่อลดความเสี่ยงของการขาดการติดต่อของระบบ VoIP ในกรณีเกิดไฟฟ้าดับหรือไฟฟ้าขัดข้อง ควรพิจารณาวางแผนดังนี้ มีระบบสำรองไฟฟ้าที่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายหนึ่งจุด กรณีในอาคารดังกล่าวเลือกใช้โทรศัพท์ลูกข่ายแบบ ATA รวมกับโทรศัพท์แบบแอนะล็อกควรออกแบบให้มีห้องควบคุมซึ่งนำเอาเครื่อง ATA มารวมไว้ด้วยกัน แล้วเดินสายทองแดงไปยังโทรศัพท์แบบแอนะล็อกตามจุดใช้งาน ซึ่งจะทำให้สามารถติดตั้งเครื่องสำรองไฟฟ้าไว้หนึ่งเครื่องต่อเครื่อง ATA หลายๆ เครื่องได้

ในกรณีที่เลือกใช้เครื่องโทรศัพท์ชนิด IP phone หากต้องการเลี่ยงปัญหาไฟฟ้าดับ และไม่ต้องการติดตั้งเครื่องสำรองไฟฟ้าในทุกๆ จุดที่มีการใช้งานโทรศัพท์ IP phone ผู้ออกแบบระบบอาจพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยี PoE (Power over Ethernet) ร่วมกับการใช้งาน IP phone

6. บทสรุป

บทความนี้นำเสนอแนวทางในการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจระหว่างการเลือกใช้ระบบโทรศัพท์แบบเดิมกับระบบโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านกรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดยหลักการวิเคราะห์ดังกล่าวครอบคลุมปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ความพร้อมของระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตในการรองรับระบบ VoIP, ความเหมาะสมของการนำเอาระบบ VoIP เข้ามาใช้ในองค์กร และชนิดของอุปกรณ์ที่ควรนำมาใช้เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน

ผลจากการประเมินความพร้อมของเครือข่ายอินทราเน็ตของมหาวิทยาลัยฯ เพื่อรองรับระบบ VoIP พบว่า ความล่าช้า และ อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5 ms และ 0% ตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาตามข้อเสนอแนะจาก ITU แล้วถือว่าคุณภาพเสียงอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ดังนั้น การนำระบบ VoIP มาใช้แทนระบบโทรศัพท์สายภายในนั้นจะไม่พบกับปัญหาในเรื่องของคุณภาพเสียง สำหรับการนำระบบ VoIP มาใช้เป็นระบบโทรศัพท์เพื่อทดแทนคู่สายภายนอก (ทดแทนการให้บริการจากองค์การโทรศัพท์จังหวัดนครปฐม) นั้นสามารถเป็นไปได้ หากแต่ต้องเลือกผู้ให้บริการที่มีการวางเครื่องแม่ข่าย VoIP ไว้ภายในประเทศ ทั้งนี้เนื่องมาจากการทดสอบความล่าช้าของการรับ-ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลระหว่างมหาวิทยาลัยฯ กับผู้ให้บริการระบบ VoIP ที่อยู่ต่างประเทศแล้วพบว่า ค่าความล่าช้าของการส่งแพ็กเก็ตมีค่าสูงมาก (423.5 และ 136.5 ms) ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องของคุณภาพเสียงระหว่างสนทนาได้

สำหรับความคุ้มทุนในแง่ของการลงทุน พบว่า สำหรับกรณีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่มีเครือข่ายอินทราเน็ตที่มีประสิทธิภาพสูงและครอบคลุมทุกพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยฯ อยู่แล้วนั้น การนำเอาระบบระบบ VoIP เป็นการลงทุนที่ต่ำมาก เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีการเดินโครงข่ายสายสัญญาณขึ้นใหม่ นอกจากนั้นยังสามารถแก้ปัญหาการชำรุดของแผงวงจรสายภายในเนื่องจากปรากฏการณ์ฟ้าลงได้อย่างสิ้นเชิง

ในการวิเคราะห์อัตราการใช้กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพอื่นๆ แสดงให้เห็นว่า ระบบ VoIP ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่าระบบโทรศัพท์แบบเดิมอย่างมีนัยสำคัญ และ การใช้โทรศัพท์แบบ IP phone จะกินกำลังไฟฟ้าน้อยกว่าการใช้อุปกรณ์ ATA ต่อเชื่อมกับโทรศัพท์แบบแอนะล็อก นอกจากจะสามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้แล้ว ระบบ VoIP ยังมีศักยภาพในการเชื่อมต่อเข้ากับเทคโนโลยีอื่นๆ ได้อย่างง่ายดาย เช่นระบบอิเล็กทรอนิกส์เมล์ ระบบส่งข้อความสั้น ระบบรับส่งเอกสาร และ ระบบกระจายเสียง เป็นต้น เมื่อนำศักยภาพเหล่านี้มาใช้องค์กรสามารถเพิ่มประสิทธิภาพพร้อมๆ ไปกับการลดค่าใช้จ่ายได้

นอกจากการวิเคราะห์ข้างต้นแล้ว ผู้วิจัยยังได้นำเสนอข้อจำกัดของการนำระบบ VoIP เข้ามาใช้งานภายในองค์กร ซึ่งครอบคลุมถึง ความน่าเชื่อถือของระบบ ความปลอดภัยของระบบ VoIP ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหาดังกล่าวและแนวทางการออกแบบระบบ VoIP เบื้องต้นไว้อีกด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] “Is VoIP a cost effective solution for your organization?”, http://www.broadllyne.com/IsVoIPCostEffectiveSolutionforyou.pdf.

[2] Cross T., “Ten steps to successful VoIP Implementation: What every business should know”, http://www.xo.com/SiteCollectionDocuments/Whitepapers/Ten_Steps_White_Paper.pdf.

[3] Dressler F., “Advantages of VoIP in the German research network”, *Proceedings of 5th IEEE International Conference on High Speed Networks and Multimedia Communications (IEEE HSNMC 2002),* Jeju Islands, Korea, 2002, pp. 56-60.

[4] Chong H. M. and Matthews, H. S., “Comparative analysis of traditional telephone and Voice-over-Internet Protocol (VoIP) systems”, *Proceedings of the International Symposium on Electronics and the Environment (IEEE ISEE 2004)*, Washington, DC, USA, 2004.

[5] Cisco, “Understanding delay in packet voice networks”, http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies_white_paper09186a00800a8993.shtml

[6] Iseki F., Sato Y. and Kim M. W., “VoIP system based on Asterisk for enterprise network”, Proceedings of 13th IEEE International Conference on Advanced Communication Technology (IEEE ICACT 2011), Seoul, South Korea, Feb., 2011, pp. 1284-1288.

[7] Goode B., “Voice over Internet Protocol (VoIP)”, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 90, No. 9, Sept. 2002, pp. 1495-1517.

[8] Abdelnur H., Cridlig V., State R. and Festor O., “VoIP security assessment: Methods and tools”, *Proceedings of 1st IEEE Workshop in VoIP Management and Security*, France, 2006, pp. 29-34.

เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงความถี่สูงแบบอัลตร้าโซนิคโดยใช้วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรมสำหรับไล่นก

The High-Frequency Ultrasonic Sound Signal Generator using a Half Bridge Series Resonance Inverter for Bird Repeller

สุรศักดิ์ พันธ์กิตติกุล[1], สมเกียรติ บุตรดี[1], บัญชา หิรัญสิงห์[1] และ วีระศักดิ์ ชื่นตา[2]

[1]โปรแกรมวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

surssak-pa@hotmail.com, somkiat_neung@hotmail.com, hirunsing@yahoo.com

[2]โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

Weerasak.cheunta@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงความถี่สูงแบบอัลตร้าโซนิคโดยใช้วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรมประยุกต์ใช้สำหรับไล่นก ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ในการแปลงแหล่งจ่ายไฟฟ้าความถี่ต่ำให้เป็นความถี่สูงในย่านความถี่อัลตร้าโซนิคซึ่งเป็นย่านความถี่ที่คนไม่สามารถได้ยินแต่นกได้ยิน แล้วนำไปขับนำลำโพงความถี่สูงอัลตร้าโซนิค เมื่อนกบินเข้ามาบริเวณที่มีการติดตั้งลำโพง สัญญาณเสียงความถี่สูงจะไปกระตุ้นให้เกิดปฏิกริยากับระบบประสาทรับสัญญาณเสียง จะเกิดความรำคาญและบินหนี ส่วนวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำเป็นไฟฟ้ากระแสตรงใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มบริดจ์ วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงใช้วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนซ์อนุกรม โดยประยุกต์ใช้ไอซี IR 2153 ในการกำเนิดสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มเพื่อควบคุมการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์ เครื่องต้นแบบใช้มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตช์ ทำงานที่ความถี่สวิตช์ 40 กิโลเฮิรตซ์ ส่วนลำโพงความถี่สูงใช้ลำโพงอัลตร้าโซนิคเบอร์ KS-380 ตอบสนองที่ความถี่ 40 กิโลเฮิรตซ์ โดยจะจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม PSpice เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและยืนยันผลการทดลอง

คำสำคัญ: เครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงความถี่สูง อัลตร้าโซนิค วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์ เครื่องไล่นก

Abstract

This paper presents the high frequency ultrasonic sound signal generator using a half bridge series resonance inverter for bird repeller. This paper is electrical engineering and power electronic engineering Application and low frequency to high frequency converter with ultrasonic wave range. The bird responsed with high frequency ultrasonic sound range and fly away but humanness never. The AC to DC converter using full wave rectifier and the DC to AC converter using half bridge series resonance inverter. The PWM half bridge series resonance inverter controlled by IR 2153. The switching frequency is 40 kHz using MOSFET. The ultrasonic speaker is KS-380 and responsed with frequency 40 kHz. Both simulation results using Pspice and experimental results are shown to verify the validity of the proposed concept.

.

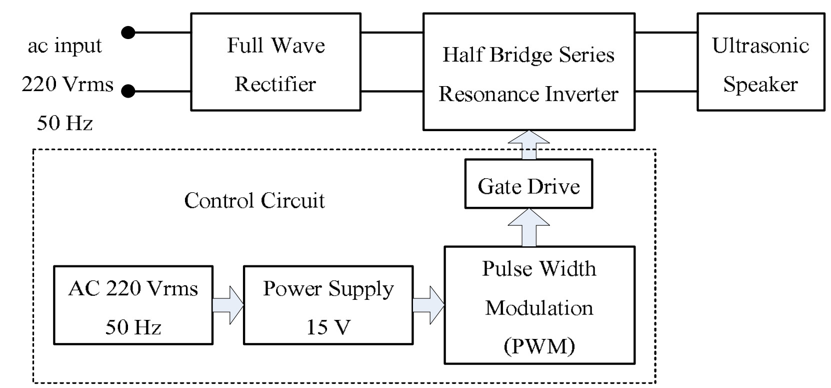
Keyword: High Frequency Sound Generator, Ultrasonic, Half Bridge Series Resonance Inverter, Bird Repeller

1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาของเทคโนโลยีด้านต่างๆ ได้มีการพัฒนาเป็นอย่างมากรวมถึงเรื่องของการนำทฤษฎีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เทคโนโลยีด้านการแพทย์ มีการใช้เครื่องฉายรังสี เครื่องทำโอโซน เครื่องช่วยในการหายใจ เครื่องพ่นยาอัลตร้าโซนิค เป็นต้น ส่วนทางด้านเครื่องที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น วิทยุ โทรทัศน์ หม้อหุงข้าว พัดลม เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น แต่ในสิ่งประดิษฐ์ชิ้นจะนำหลักการของงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งเป็นอีกแขนงหนึ่งของวิศวกรรมไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้ในการป้องกันนกที่มาอาศัยตามอาคาร บ้านเรือน ตลอดจนตึกต่างๆ และถ่ายมูลทำให้เกิดโรคติดต่อ สร้างความรำคาญ เพื่อทำให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมมนุษย์ได้อย่างมาก ดังนั้นการศึกษาหลักการทำงานและการออกแบบ จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อพัฒนาให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

บทความนี้ได้นำเสนอ การวิเคราะห์ การออกแบบ และการสร้างเครื่องต้นแบบของวงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรมโดยใช้โหลดเป็นลำโพงอัลตร้าโซนิค ซึ่งสามารถแบ่งรายละเอียดที่กล่าวถึงดังต่อไปนี้คือ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเบื้องต้น หลักการของวงจร การวิเคราะห์การทำงานและออกแบบวงจร การทดสอบวงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม ทดสอบหาค่าประสิทธิภาพโดยรวมของวงจร การนำเครื่องต้นแบบมาใช้เพื่อการขับไล่นก บทสรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และกล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการวิจัย ตลอดจนข้อเสนอแนะ ตลอดจนการพัฒนาวงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม

บทความวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอภาพรวมของเครื่องต้นแบบดังนี้ กล่าวคือวงจรภาคกำลังเริ่มจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ผ่านวงจรเรียงกระแสแบบเต็มบริดจ์โดยมีตัวเก็บประจุในการกรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เรียบมากขึ้น แล้วจ่ายให้กับวงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม จะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเพื่อจ่ายให้กับโหลดลำโพงอัลตร้าโซนิค ส่วนวงจรภาคควบคุมจะใช้ไอซีสำเร็จรูปในการสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม เพื่อนำไปขับนำอุปกรณ์สวิตช์มอสเฟตในวงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบอนุกรม โดยผ่านชุดขับเกทและมีวงจรไฟเลี้ยง 15 โวลต์ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมแสดงวงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงความถี่สูงแบบอัลตร้าโซนิคโดยใช้วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรมประยุกต์ใช้สำหรับไล่นก

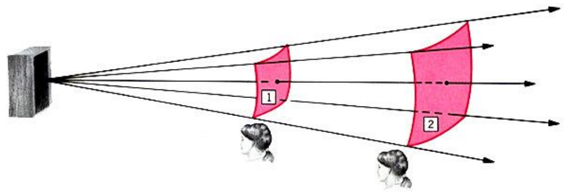
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง [1]

2.1 คลื่นเสียง

คลื่นเสียงเป็นคลื่นกลตามยาวซึ่งเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงโดยการเคลื่อนที่ของเสียงจากตัวก่อกำเนิดเสียงต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานการสั่นจากตัวก่อกำเนิดเสียงนั้นไปยังที่ต่างๆ ซึ่งเสียงนี้มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ การสะท้อน การหักเห การเลี้ยวเบน และการแทรกสอด หูมนุษย์สามารถได้ยินเสียงที่มีความถี่ระหว่าง 20 -20,000 เฮิรตซ์ คลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ เรียกว่าอินฟราโซนิก (infrasonic) คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์ เรียกว่าอัลตร้าโซนิก (ultrasonic)

2.2 ความเข้มเสียง

ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงออกไปความเข้มเสียง (I) ของเสียงในอากาศจะลดลง โดยแปรผกผันกับกำลังสองของระยะห่าง (R) จากแหล่งกำเนิดเสียง ดังนี้



ภาพที่ 2 การส่งของคลื่นเสียง

$$I \propto \frac{1}{R^2} \tag{1}$$

หรือเขียนในรูปสมการ

$$I = \frac{P}{A} \tag{2}$$

แทนค่าพื้นที่

$$I = \frac{P}{4\pi R^2} \tag{3}$$

เมื่อ I คือ ความเข้มเสียง ณ ตำแหน่งต่างๆ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

P คือ กำลังเสียงของแหล่งกำเนิดเสียง มีหน่วยเป็นวัตต์

R คือ ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับตำแหน่งที่จะหาความเข้มเสียง มีหน่วยเป็นเมตร

พลังงานนี้สามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของพลังงานจลน์ต่อเวลาต่อตารางเมตรจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของอากาศสัมพันธ์กับแอมพลิจูดทางความดันของเสียงดังนี้

$$I = \frac{p^2}{2\rho v} \tag{4}$$

เมื่อ p คือ แอมพลิจูดความดันมีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ 1.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

v คือ อัตราเร็วของคลื่นเสียงมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

นอกจากนี้ความเข้มเสียงยังสามารถหาได้จากสูตร

$$I = 2\pi^2 f^2 S_m^2 \rho v \tag{5}$$

เมื่อ f คือ ความถี่เสียงมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

S_m คือ แหล่งกำเนิดเสียง

ความเข้มเสียงที่ดังสุดที่หูมนุษย์ทนได้มีค่าเท่ากับ 1 วัตต์ต่อตารางเมตร จะมีแอมพลิจูดความดันเท่ากับ 28 นิวตันต่อตารางเมตร ความเข้มเสียงที่ค่อยสุดที่หูมนุษย์เริ่มได้ยินมีค่าเท่ากับ 10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร จะมีแอมพลิจูดความดัน = 2×10^{-5} นิวตันต่อตารางเมตร

2.3 ระดับความเข้มเสียง

ความดันเสียงต่ำสุดที่คนธรรมดาได้ยินที่ 1,000 เฮิรตซ์ คือ 2×10^{-5} นิวตันต่อตารางเมตร ค่าความดันเสียงมีช่วงกว้างไดนามิกส์ (dynamic range) ประมาณ 1 ต่อล้าน ในการวัดถ้าเราใช้ความดันเสียงเป็นนิวตันต่อตารางเมตรโดยตรงจึงไม่สะดวก และเนื่องจากกลไกของการได้ยินมีความไวต่อการเปลี่ยนความดันเสียงในลักษณะคล้ายกัน จึงสะดวกที่จะวัดโดยการเปรียบเทียบความดันเสียงหรือเปรียบเทียบความเข้มของเสียง ในการเปรียบเทียบความเข้มของเสียง เรานิยาม ระดับความเข้มของเสียง (intensity level , β) มีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel)

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \tag{6}$$

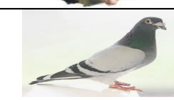
เมื่อ I คือ ความเข้มเสียงที่กำลังวัดมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

I_O คือ ความเข้มเสียงต่ำสุดที่หูมนุษย์ได้ยิน 10^{-12} วัตต์ต่อตารางเมตร

ค่าความดังของเสียงถูกกำหนดจากระดับความเข้มเสียงต่ำสุดที่หูมนุษย์ได้ยิน (I_0 = 10^{-12} วัตต์/ ตารางเมตร) ให้มีความระดับความเข้ม 0 เดซิเบล ซึ่งเป็นผลให้ระดับความเข้มเสียงสูงสุดที่หูมนุษย์ทนฟังได้เป็น 120 เดซิเบล

2.4 คุณภาพเสียง

คุณภาพของเสียง หมายถึง เสียงที่มีความถี่เท่ากันแต่มีความเข้มแตกต่างกันเช่นเสียงจากกีตาร์และเปียโนที่เล่นเสียงเดียวกัน แต่เสียงแตกต่างกัน โดยคุณภาพของเสียงพิจารณาจากจำนวนโอเวอร์โทนที่มีในเสียงนั้นและความเข้มของเสียงนั้นและระดับเสียงหมายถึงเสียงสูง ต่ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ของเสียงนั้น ความถี่มาก ระดับเสียงจะสูง ความถี่น้อย ระดับเสียงจะต่ำ

แหล่งกำเนิดและรับคลื่นเสียง	ความสามารถในการกำเนิดคลื่นเสียงความถี่ (เฮิรตซ์)	ความสามารถในการได้ยินคลื่นเสียงความถี่ (เฮิรตซ์)
มนุษย์ 	85 - 1,100	20 - 20,000
สุนัข 	452 - 1,080	15 - 50,000
ปลาโลมา 	7,000 - 120,000	150 - 150,000
ค้างคาว 	10,000 - 120,000	1,000 - 120,000
นก 	90 - 450	0.05 - 100,000

ตารางที่ 1 ความสามารถในการส่งและรับเสียง

2.5 วงจรเรโซแนนซ์

วงจรเรโซแนนซ์ในส่วนของกระบวนการเรโซแนนซ์ จะประกอบด้วย ส่วนของค่าตัวเก็บประจุ ค่าความเหนี่ยวนำ และค่าความต้านทาน โดยทั่วไปแล้ววงจรเรโซแนนซ์ จะใช้อยู่ 2 ประเภท คือการต่อวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม และการต่อวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

(ก) (ข)

ภาพที่ 3 ก) วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม ข) วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน

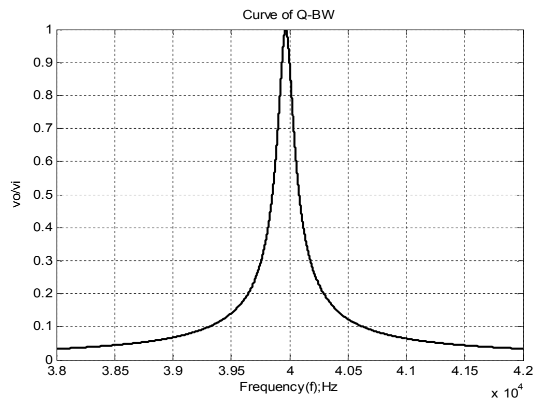
ที่ความถี่เรโซแนนซ์ ค่าอิมพิแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะหักล้างกัน เหลือเฉพาะค่าความต้านทาน โดยที่ความถี่เรโซแนนซ์ สามารถหาได้ดังสมการที่ 7 [2]

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{7}$$

เมื่อ L คือ ความเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็นเฮนรี่

C คือ ความจุมีหน่วยเป็นฟารัด

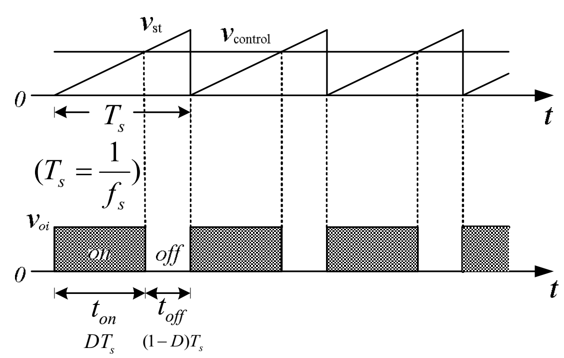
นอกจากนั้นผลตอบสนองเชิงความถี่แสดงโดย อัตราขยายแรงดันของผลตอบสนองเชิงความถี่บรรทัดฐาน (Normalized frequency) ตอบสนองที่ความถี่ 40 กิโลเฮิรตซ์ แสดงดังภาพที่ 4 [2]



ภาพที่ 4 นอมอร์ไลน์ความถี่และอัตราส่วนแรงดันด้านออกต่อแรงดันด้านเข้าวงจรเรโซแนนซ์

2.6 สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม

สัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (pulse width modulation) หรือสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม จะใช้หลักการนำสัญญาณไฟฟ้ารูปคลื่นสามเหลี่ยม (V_{tri}) หรือรูปคลื่นฟันเลื่อย (V_{st}) เปรียบเทียบกับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการควบคุม ($V_{control}$) เมื่อสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการควบคุมมากกว่าแรงดันไฟฟ้ารูปสามเหลี่ยมหรือรูปฟันเลื่อยจะได้สัญญาณแรงดัน $v_{oi} = V_d$ นอกเหนือจากนี้จะได้ $v_{oi} = 0$ ผลการมอดูเลตแสดงดังภาพที่ 5 [2]



ภาพที่ 5 โครงสร้างวงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรม

สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มจะสามารถปรับได้โดยการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล (duty cycle: D) ซึ่งค่าดิวตี้ไซเคิลหมายถึง อัตราส่วนของช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแสต่อช่วงเวลาหนึ่งคาบการสวิตช์ มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 8 [2]

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T_s} \tag{8}$$

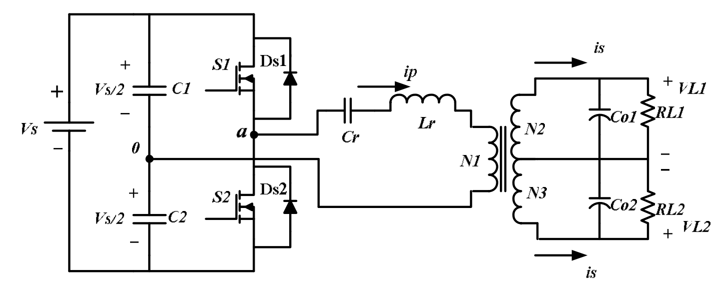
เมื่อ t_{on} คือ ช่วงเวลานำกระ

t_{off} คือ ช่วงเวลาไม่นำกระแส

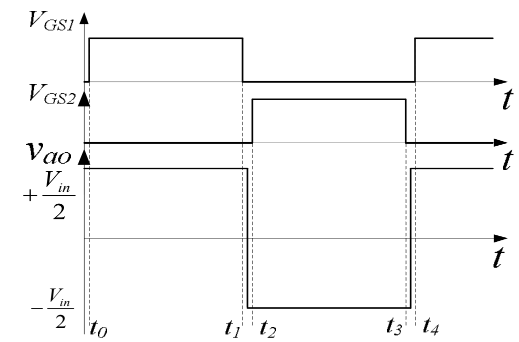
ค่าดิวตี้ไซเคิลนิยมบอกเป็นสองลักษณะคือเป็นเลขจำนวนเต็มหนึ่งซึ่งค่าที่ต่ำที่สุดคือศูนย์ส่วนค่าที่สูงที่สุดคือหนึ่งและบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งค่าที่ต่ำที่สุดคือศูนย์เปอร์เซ็นต์ส่วนค่าสูงสุดคือหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์

3. โครงสร้างและหลักการทำงาน

การวิเคราะห์การทำงานของวงจร [2]-[3] จำเป็นต้องให้อยู่ในสภาวะอยู่ตัว (steady state) อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ และค่าตัวเก็บประจุ C_r และ C_o ใหญ่พอที่จะเสมือนเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน และตัวเหนี่ยวนำเอาต์พุต L_r ใหญ่เพียงพอ ที่จะทำให้เปรียบเสมือนแหล่งจ่ายกระแส โครงสร้างของวงจรที่นำเสนอในงานวิจัยวงจรกำเนิดสัญญาณเสียงความถี่สูงแบบอัลตร้าโซนิคโดยใช้วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรมสำหรับไล่นกแสดงดังภาพที่ 6 วงจรที่นำเสนอนี้มีโหมดการทำงาน 4 โหมดการทำงานในหนึ่งไซเคิล รูปคลื่นสัญญาณและโหมดการทำงานแสดงได้ดังภาพที่ 7 และ 8 ตามลำดับ



ภาพที่ 6 โครงสร้างวงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรมสำหรับไล่นก



ภาพที่ 7 รูปแบบการทำงานของวงจร

การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

โหมดการทำงานที่ 1 (t_0< t< t_1) ที่เวลา t =t_0 ในโหมดนี้ สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มจะสั่งให้สวิตช์ S_1 เริ่มนำกระแส (turn on) แรงดันไฟฟ้าจากด้านขาเข้าของวงจรจะถูกถ่ายโอนมายังด้านออกที่มีโหลดความต้านทาน โดยผ่าน ตัวเก็บประจุ และหม้อแปลงซึ่งมีตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลแฝงอยู่ด้วย ในโหมดการทำงานนี้จะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ขึ้นในวงจร เราสามารถคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกได้ ดังสมการที่ 9

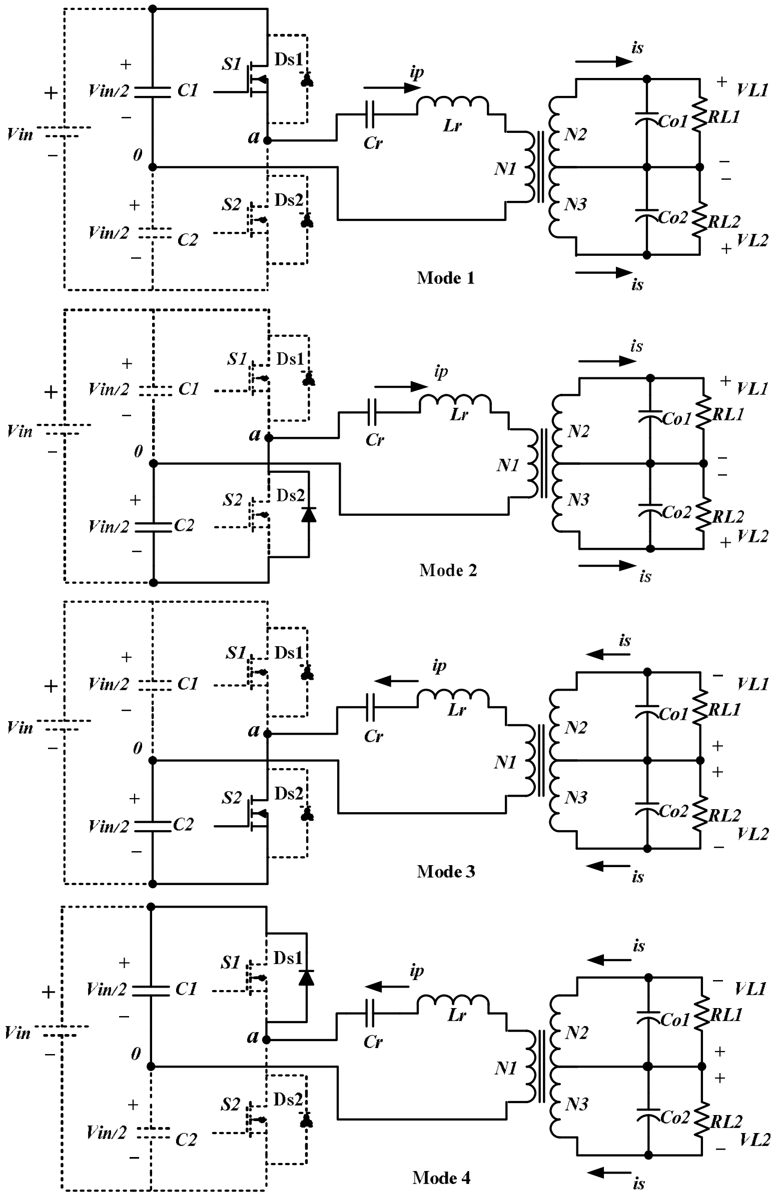
$$v(t) = \frac{V_{in}}{2} \tag{9}$$

โหมดการทำงานที่ 2 (t_1< t< t_2) ในโหมดนี้จะเป็นโหมดของการคืนพลังงานจากด้านขาออกของวงจรกลับไปสู่ด้านขาเข้า สัญญาณควบคุมส่งสัญญาณให้สวิตช์ S_1 เริ่มหยุดนำกระแส (turn off) และไดโอด D_{S2} ซึ่งเป็นไดโอดแฝงตัวในสวิตช์ S_2 จะนำกระแสซึ่งจะเป็นการนำกระในทิศทางตรงข้ามกับการนำกระแสของสวิตช์ S_2 ส่วนตัวเหนี่ยวนำ Lr และตัวเก็บประจุ Cr จะคายพลังงาน

โหมดการทำงานที่ 3 (t_2< t< t_3) ที่เวลา t=t_3 ในโหมดนี้ สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มจะสั่งให้สวิตช์ S_2 จะนำกระแส คล้ายๆกับการทำงานในโหมดที่ 1 แรงดันไฟฟ้าจากด้านขาเข้าของวงจรจะถูกถ่ายโอนมายังด้านออกที่มีโหลดความต้านทาน โดยผ่าน ตัวเก็บประจุ และหม้อแปลงซึ่งมีตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลแฝงอยู่ด้วย ในโหมดการทำงานนี้จะเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ขึ้นในวงจรเช่นกัน เราสามารถคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกได้ดังสมการที่ 10

$$v(t) = -\frac{V_{in}}{2} \tag{10}$$

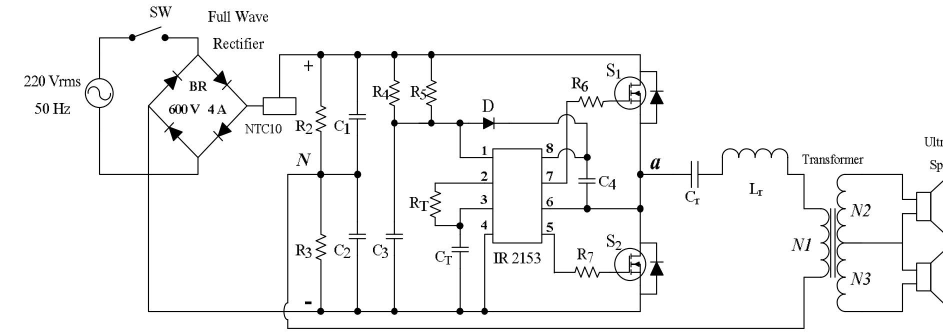
โหมดการทำงานที่ 4 ($t_3 < t < t_4$) ที่เวลา $t = t_4$ ในโหมดนี้จะเป็นโหมดของการคืนพลังงานจากด้านขาออกของวงจรกลับไปสู่ด้านขาเข้าเช่นเดียวกับโหมดการทำงานที่ 2 สัญญาณควบคุมส่งสัญญาณให้สวิตช์ S_1 เริ่มหยุดนำกระแส (turn off) และไดโอด D_{S1} ซึ่งเป็นไดโอดแฝงตัวในสวิตช์ S_1 จะนำกระแสซึ่งจะเป็นการนำกระแสในทิศทางตรงข้ามกับการนำกระแสของสวิตช์ S_1 ส่วนตัวเหนี่ยวนำ Lr **และ**ตัวเก็บประจุ Cr จะคายพลังงาน



ภาพที่ 8 โหมดการทำงาน

4. การจำลองและการทดลอง

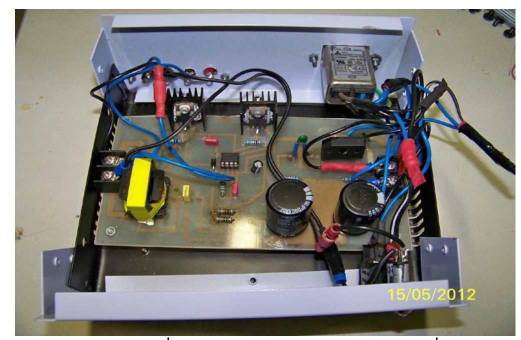
ในการทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงความถี่สูงแบบอัลตร้าโซนิคโดยใช้วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรมสำหรับไล่นก วงจรโดยรวมที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังภาพที่ 9 ส่วนพารามิเตอร์ต่างๆของการจำลองด้วยโปรแกรม PSpice และทดลองมีค่าดังตารางที่ 2



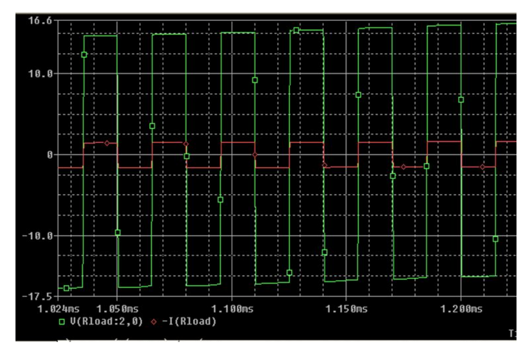
ภาพที่ 9 วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรม

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้	พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
V_s	220 V_{rms}	V_o	15 V_p
C_r	0.33 μF	L_r	0.47 μH
S_1, S_2	IRF 740	T	EI-33
C_1, C_2	560 uF	C_{o1}, C_{o2}	560 uF
f_s	40 kHz	Ultrasonic Speaker	7.5 W

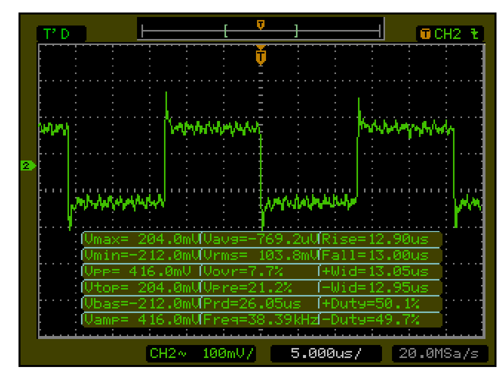
ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ของวงจรที่ใช้ในการจำลองและทดลอง



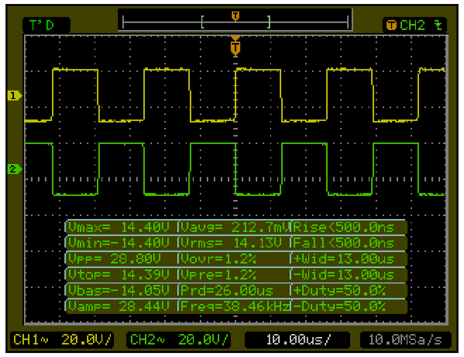
ภาพที่ 10 เครื่องต้นแบบกำเนิดสัญญาณเสียงความถี่สูงแบบอัลตร้าโซนิคโดยใช้วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรมสำหรับไล่นก



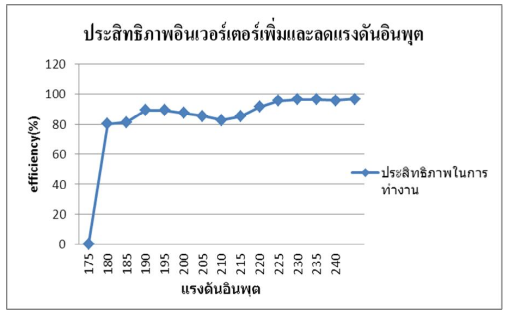
(ก)



(ข)



(ค)



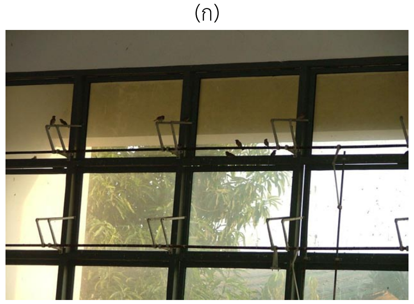
(ง)

ภาพที่ 11 ก)รูปคลื่นแรงดันและกระแสด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงจากการจำลอง ข)รูปคลื่นกระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ค)รูปคลื่นแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ง)กราฟประสิทธิภาพของวงจร

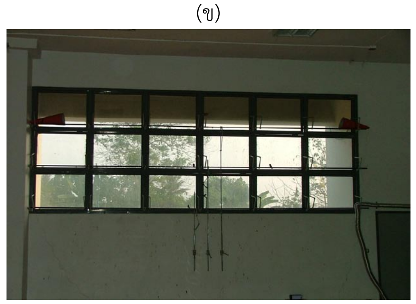
ภาพที่ 12 ลำโพงอัลตร้าโซนิค

(ก)

(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 13 ก)จำนวนนกก่อนติดตั้งเครื่องต้นแบบ ข)จำนวนนกหลังติดตั้งเครื่องต้นแบบ
ค)จำนวนนกก่อนติดตั้งเครื่องต้นแบบที่มีการเพิ่มจำนวนลำโพง
ง)จำนวนนกหลังติดตั้งเครื่องต้นแบบที่มีการเพิ่มจำนวนลำโพง

ภาพที่ 10 แสดงเครื่องต้นแบบกำเนิดสัญญาณเสียงความถี่สูงแบบอัลตร้าโซนิคโดยใช้วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรมสำหรับไล่นก และภาพที่ 11 ก)แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงที่ได้จากการจำลองจะเห็นว่าได้รูปคลื่นกระแสสลับสี่เหลี่ยมความถี่สูงประมาณ 40 กิโลเฮิรตซ์ แรงดันไฟฟ้า 14.13 โวลต์ ข)แสดงรูปคลื่นกระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่ามีค่าประมาณ 1 แอมแปร์ ค)แสดงรูปคลื่นแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงทั้งสองแทปที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่ามีค่าแรงดันประมาณ 28 โวลท์พีคทูพีค เช่นกัน ส่วนภาพที่ 11 ง)แสดงกราฟประสิทธิภาพของวงจรซึ่งจะอยู่ที่ประมาณ 96% ในภาพที่ 12 แสดงลำโพงอัลตร้าโซนิคที่นำมาต่อเป็นโหลดที่ด้านออกขนาดพิกัดแรงดัน 30 โวลต์พีคทูพีค ที่ความถี่ประมาณ 40 กิโลเฮิรตซ์ ภาพที่ 13 ก)แสดงจำนวนนกก่อนติดตั้งเครื่องต้นแบบ และข)แสดงจำนวนนกหลังติดตั้งเครื่องต้นแบบ ส่วนภาพที่ 13 ค)แสดงจำนวนนกก่อนติดตั้งเครื่องต้นแบบที่มีการเพิ่มจำนวนลำโพง และ ง)แสดงจำนวนนกหลังติดตั้งเครื่องต้นแบบที่มีการเพิ่มจำนวนลำโพงที่บรรจุในกรวยเพื่อรวมสัญญาณเสียง ซึ่งจะเห็นว่าได้ผลดีกว่าแบบที่ติดตั้งลำโพงตัวเดียว ทั้งหมดได้ทดลองติดตั้งที่อาคารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จะเห็นได้ว่าเครื่องต้นแบบใช้งานได้ในระดับที่น่าพอใจ

5. บทสรุป

บทความนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงความถี่สูงแบบอัลตร้าโซนิคโดยใช้วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์แบบอนุกรมประยุกใช้สำหรับไล่นก ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ในการแปลงแหล่งจ่ายไฟฟ้าความถี่ต่ำให้เป็นความถี่สูงในย่านความถี่อัลตร้าโซนิคซึ่งเป็นย่านความถี่ที่คนไม่สามารถได้ยินแต่นกได้ยิน แล้วนำไปขับนำลำโพงความถี่สูงอัลตร้าโซนิค เมื่อนกบินเข้ามาบริเวณที่มีการติดตั้งลำโพง สัญญาณเสียงความถี่สูงจะไปกระตุ้นให้เกิดปฏิกริยากับระบบประสาทรับสัญญาณเสียง จะเกิดความรำคาญ และบินหนี ส่วนวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำเป็นไฟฟ้ากระแสตรงใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มบริดจ์ วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงใช้วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนท์อนุกรม โดยประยุกต์ใช้ไอซี IR 2153 ในการกำเนิดสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม เพื่อควบคุมการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์ เครื่องต้นแบบใช้มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตช์ ทำงานที่ความถี่สวิตช์ 40 กิโลเฮิรตซ์ ส่วนลำโพงความถี่สูงใช้ลำโพงอัลตร้าโซนิคเบอร์ KS-380 ตอบสนองที่ความถี่ 40 กิโลเฮิรตซ์ โดยจะจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม PSpice เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและยืนยันผลการทดลอง ซึ่งได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก โครงการวิจัยระหว่างนักศึกษาร่วมกับอาจารย์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และขอขอบคุณบุคลากรกลุ่มโปรแกรมวิศกรรมและเทคโนโลยีทุกท่านสำหรับข้อเสนอแนะที่ดีในงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ปรียา อนุพงษ์องอาจ, “การเรียนฟิสิกส์ทั่วไปผ่านทางอินเตอร์เน็ต”, ภาควิชาฟิสิกส์ อุปกรณ์ชีวการแพทย์., คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.
[2] วีระเชษฐ์ ขันเงิน และ วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์, "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง", พิมพ์ครั้งที่ 4, กทม., โรงพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พริ้นติ้ง, 2008.
[3] บุญเรือง วังศิลาบัตร, “การออกแบบภาคจ่ายไฟสวิตชิ่งแบบฮาล์ฟบริดจ์”, เซมิคอนดักเตอร์, เล่มที่ 36, หน้า 144-153, กันยายน, 2550.

การประยุกต์ใช้โปรแกรม SCIlAB ร่วมกับ Flash Animation
Application of Employing SCILAB Program in Conjunction with Flash Animation

จิรันดร บู้ฮวดใช้[1] และปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์[2]

[1]*สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม*
b.jirundon@gmail.com
[2]*โปรแกรมวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม*
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
piya@npru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะอธิบายถึงการประยุกต์ใช้โปรแกรม SCIlAB ร่วมกับ Flash Animation เพื่อการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนด้านการคำนวณเป็นหลัก ให้สามารถแสดงผลลัพธ์ในรูปของ Flash Animation ได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรม SCILAB ที่เหมาะสำหรับการคำนวณเชิงตัวเลข แสดงผลกราฟิกที่ซับซ้อน และใช้งานได้ฟรี (freeware) มาพัฒนาร่วมกับโปรแกรม Swishmax ที่มีเครื่องมือสะดวกและรวดเร็วในการสร้าง Flash Animation แต่มีข้อจำกัดในด้านฟังก์ชันที่เกี่ยวกับการคำนวณเชิงตัวเลขและแสดงผลกราฟิกที่ซับซ้อนได้ไม่มากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จะสามารถช่วยลดขั้นตอนในการพัฒนาฟังก์ชันการคำนวณที่ซับซ้อน เพื่อให้ผู้พัฒนาสามารถสร้างสื่อการเรียนการสอนด้านการคำนวณให้มีความหลากหลายมากขึ้น โดยนำเสนอในรูปของภาพเคลื่อนไหวผ่านเว็บไซต์ (Animation) เพื่อให้เกิดความสนุกสนาน และไม่น่าเบื่อ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทดสอบการใช้งานที่เว็บไซต์ http://202.29.8.254 และทดสอบบนเครื่อง Tablet PC รุ่น Acer A510 พบว่างานที่พัฒนาขึ้นมานี้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง จึงมีความมั่นใจว่าสามารถนำไปพัฒนาสื่อการเรียนการสอนด้านคณิตศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: Flash Animation, SCILAB, Tablet PC

Abstract

This paper describes the application of employing SCILAB program in conjunction with Flash Animation so as to develop an e-learning package that focuses on mathematical computation, whose results can be displayed in flash animation. This work uses a SCILAB program (freeware), which is widely used in numerical calculation and displaying complex graphics, in conjunction with a Swishmax program, which is a convenient tool to create flash animation but has limitation in numerical calculation and displaying complex graphics. Therefore, this research work will help reduce the steps in developing complex functions so that the developers can easily create the e-learning package containing several mathematical computations, and present their results in the form of animation on website, which is excited, joyful, and not boring. The authors have tested this work at http://202.29.8.254 and at a Tablet PC Acer A510 and found that it works correctly. Thus, we are confident that our work can be used to develop the e-learning package containing many mathematical computations.

Keyword: Flash Animation, SCILAB, Tablet PC

1. บทนำ

ปัจจุบันรัฐบาลไทยเริ่มนำเอาอุปกรณ์เทคโนโลยีที่สามารถพกพาได้สะดวกและสามารถทำงานได้หลายด้าน เช่น การใช้งานอินเทอร์เน็ต การศึกษาบทเรียนคอมพิวเตอร์ การค้นหาข้อมูล และสื่อการเรียนรู้ต่างๆ เป็นต้น ซึ่งภายใต้โครงการแท็บเล็ตพีซี (Tablet PC) [1] เพื่อการศึกษาไทย (OTPC: One Tablet PC per Child) ได้นำแท็บเล็ตพีซีมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนวิชาต่างๆ ภายในโรงเรียนเพื่อช่วยให้นักเรียนมีความสนใจ สนุกสนาน เพลิดเพลิน และช่วยส่งเสริมการเรียนการสอนให้เท่าเทียมกัน (สำหรับนักเรียนที่อยู่ห่างไกล) สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SCILAB [2] ร่วมกับ Flash Animation [3] โดยกลุ่มเป้าหมายจะเน้นไปที่คุณครู อาจารย์ และผู้สนใจ ให้สามารถพัฒนาสื่อการสอนด้านการคณิตศาสตร์ที่สามารถแสดงผลผ่านภาพเคลื่อนไหว (animation) ได้ และสามารถนำไปใช้งานบนแท็บเล็ตพีซีได้ด้วย โดยได้นำโปรแกรม SCILAB ที่ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข แสดงผลกราฟิกที่ซับซ้อน และสามารถใช้งานได้ฟรี มาพัฒนาร่วมกับโปรแกรม Swishmax [4] ที่มีเครื่องมือสะดวกและรวดเร็วในการสร้าง Flash Animation แต่มีข้อจำกัดทางด้านฟังก์ชันการคำนวณเชิงตัวเลขและการแสดงผลกราฟิกที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จะช่วยลดขั้นตอนในการพัฒนาฟังก์ชันการคำนวณที่ซับซ้อน เพื่อที่ให้ผู้พัฒนาสามารถสร้างสื่อการเรียนการสอนด้านคณิตศาสตร์ให้มีความหลากหลายมากขึ้น และนำเสนอในรูปของภาพเคลื่อนไหว ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในการสร้างบทเรียนออนไลน์ต่อไปในอนาคต

2. ประวัติความเป็นมา

SCILAB เป็นโปรแกรมภาษาขั้นสูงที่ถูกพัฒนาขึ้นด้วยความร่วมมือระหว่างนักวิจัยจากสถาบัน Institut National De Recherche En Informatique Et En Automatique (INRIA) และ École nationale des ponts et chausses (ENPC) ประเทศฝรั่งเศส ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลขและแสดงผลกราฟิกที่ซับซ้อน ดังนั้นโปรแกรม SCILAB จึงเหมาะสำหรับการใช้งานทางด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้โปรแกรม SCILAB ยังเป็นโปรแกรมที่ให้ฟรี (freeware) อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถนำไปพัฒนาต่อได้ และมีความสามารถในการทำงานที่ใกล้เคียงกับโปรแกรม MATLAB [5] ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมมากสำหรับผู้ใช้งานทางด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ แต่ค่าลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ของโปรแกรม MATLAB มีราคาแพงมาก ในปัจจุบันนี้หน่วยงานทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคการศึกษาทั้งในและนอกประเทศจึงได้เริ่มนำโปรแกรม SCILAB เข้ามาช่วยในการทำวิจัยและช่วยในการเรียนการสอน

แฟล็ช (Flash หรือ Macromedia Flash) คือ Multimedia file ที่สามารถติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้แบบ Interactive ด้วยภาพและเสียง เป็นที่นิยมในการทำสื่อเคลื่อนไหวบนอินเทอร์เน็ต โดยมีนามสกุล swf (Shock Wave Flash) ซึ่งแต่เดิมมีเพียงโปรแกรมจากค่าย Macromedia เท่านั้นที่ใช้สร้างในการสร้างไฟล์ Flash โดยโปรแกรมจะเสียค่าลิขสิทธิ์ราคาประมาณ $399 หรือประมาณ 11,970 บาท สำหรับเวอร์ชัน CS5 ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Swishmax ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถสร้าง Flash ได้ใกล้เคียงกับโปรแกรม Macromedia Flash ใช้งานได้ง่ายและไม่ซ้ำซ้อน ทั้งในการใส่ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว เสียง หรือการใส่ Effect ต่างๆ อีกทั้งยังมีราคาเพียง $174.95 หรือประมาณ 5,248 บาท ซึ่งมีราคาถูกกว่าโปรแกรม Macromedia Flash

แท็บเล็ตพีซี (Tablet PC หรือ Tablet personal computer) คือคอมพิวเตอร์พกพาหรือคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้งานขณะเคลื่อนที่ได้ขนาดกลางที่มีหน้าจอแบบสัมผัสในการใช้งานเป็นหลัก ซึ่งเป็นแนวคิดที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากหลังจากทาง Microsoft ได้ทำการเปิดตัว Microsoft Tablet PC ในปี 2001 แต่หลังจากนั้นก็เงียบหายไปและไม่เป็นที่นิยมมากนัก ต่อมาในปี 2010 ได้เกิดแท็บเล็ตใหม่ๆ มากมาย และใช้ระบบปฏิบัติการของโทรศัพท์เคลื่อนที่คือแอนดรอยด์ (android) และใช้หน้าจอแบบ capacitive แทนที่ resistive ทำให้สามารถสัมผัสพร้อมกันทีละหลายจุดได้ (multi-touch) ประกอบกับการใช้หน่วยประมวลผลกลางหรือ CPU ที่ใช้สถาปัตยกรรม ARM แทนซึ่งสถาปัตยกรรม ARM นี้ทำให้แท็บเล็ตมีการใช้งานได้ยาวนานกว่าเดิม

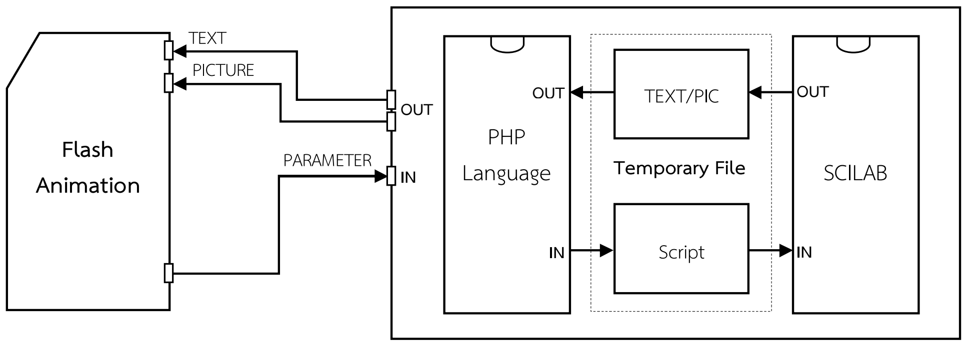
3. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อประยุกต์ใช้โปรแกรม SCIlAB ร่วมกับ Flash Animation
2. เพื่อให้ผู้ที่ไม่มีความรู้ด้านการเขียนอัลกอริทึมให้สามารถเขียนฟังก์ชันคณิตศาสตร์ใน Flash Animation ได้ง่ายขึ้น

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. ฮาร์ดแวร์ - เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิจัย
   - CPU - Core2Duo 2.26 GHz
   - RAM - 2 GB
   - Hard Disk - 250 GB
   - VGA - 1 GB
   - LCD - 1024 x 768 Pixels
2. ซอฟต์แวร์ – โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย
   - โปรแกรม SCILAB 5.3.3
   - โปรแกรม AppServ v.2.5.10
   - โปรแกรม Notepad++ v5.9.8
   - โปรแกรม Swishmax v4.0



ภาพที่ 1: แนวคิดในการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SCILAB ร่วมกับ Flash Animation

5. วิธีการวิจัย

5.1 แนวคิดในการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SCILAB ร่วมกับ Flash Animation

ทางผู้วิจัยได้ใช้แนวคิดในการวิจัยโดยพัฒนาเว็บไซต์ Flash Animation ที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งาน (Interface) ซึ่งจะทำหน้าที่ในส่วนรับข้อมูลนำเข้า โดยส่งค่า Parameter ไปยังตัวแปรในภาษา PHP และแสดงผลลัพธ์กลับมาในรูปของแฟ้มข้อความหรือไฟล์รูปภาพ สำหรับส่วนโปรแกรม SCILAB จะทำหน้าที่เป็นส่วนประมวลผลและส่งผลลัพธ์ตามแผนภาพบล็อกในภาพที่ 1

สำหรับวิธีการเชื่อมต่อในส่วนโปรแกรม SCILAB ร่วมกับภาษา PHP ซึ่งเปรียบเสมือนหัวใจหลักที่สำคัญในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะขออธิบายโค้ด (code) ในส่วนที่สำคัญที่สุดดังนี้

```
$path=$_SERVER["SystemRoot"];
$com = SCILAB -f Parameter
exec($com);
```

$path	หมายถึงบันทึกค่าไดเรกทอรีหลัก คือ "C:\WINDOWS"
$com	หมายถึงสร้างตัวแปร $com บันทึกค่าโค้ดประมวลผล Command
SCILAB	หมายถึงที่อยู่ของโปรแกรม Scilex.exe
-f	หมายถึงการสั่งให้โปรแกรม SCILAB ประมวลผลไฟล์สคริปต์
Parameter	หมายถึงไฟล์สคริปต์ หรือค่าที่จะส่งให้โปรแกรม SCILAB ประมวลผล
exec	หมายถึงคำสั่งประมวลผลโค้ดในตัวแปร $com ผ่าน Command

หมายเหตุ ต้องทำการติดตั้งโปรแกรม SCILAB ไว้ที่ C:\WINDOWS ก่อน จึงจะสามารถทำงานได้ตามปกติ ทั้งนี้ถ้าส่งข้อมูลอินพุตไปยังโปรแกรม SCILAB แล้ว แต่ไม่สามารถคำนวณได้ ก็จะทำให้หน้าเว็บไซต์เกิดอาการค้าง ดังนั้นจึงต้องมีการเขียนโปรแกรมตรวจสอบข้อมูลอินพุต ก่อนที่จะส่งไปให้โปรแกรม SCILAB คำนวณ ซึ่งผู้สนใจสามารถพัฒนาต่อยอด เพื่อแก้ไขปัญหานี้ต่อไปในอนาคตได้

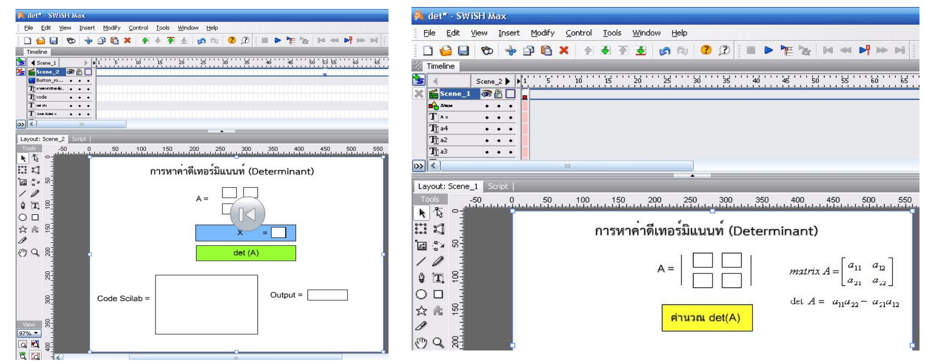
5.2 ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SCILAB ร่วมกับ Flash Animation ผ่านทางแฟ้มข้อความ ดังนี้ ตัวอย่างการหาดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ A ดังนี้

5.2.1 เปิดโปรแกรม Notepad++ ขึ้นมา และตั้งชื่อไฟล์ว่า **"det.php"** แล้วพิมพ์โค้ดลงไปดังต่อไปนี้

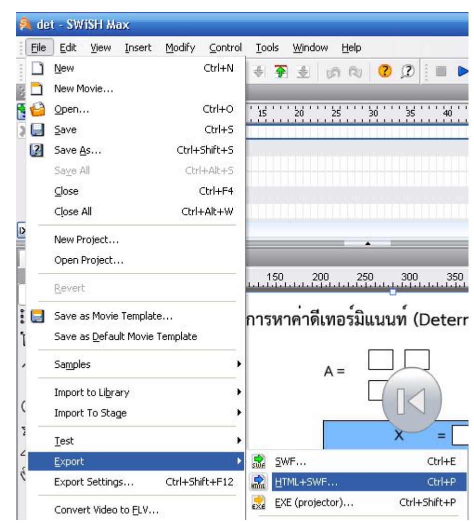
Source Code 1 : ภาษา PHP Language

```
<?php
    $code = stripslashes($_POST[a]);
    $code1 = "output = det($code);\nsavematfile('det.txt','output');\nexit;";
    file_put_contents("det.sce", $code1);
    $path=$_SERVER["SystemRoot"];
    $com = "$path/scilab-4.1.2/bin/Scilex.exe -f det.sce";
    exec($com);
    $output = number_format(file_get_contents("det.txt"));
    $output2 = file_get_contents("det.sce");
        echo"&output=$output";
        echo"&output2=$output2";
?>
```

5.2.2 เปิดโปรแกรม Swishmax ขึ้นมา โดยออกแบบฟอร์มตามภาพที่ 2 และภาพที่ 3 ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2: การออกแบบฟอร์ม Scene_1 และ Scene_2 ในโปรแกรม Swishmax



ภาพที่ 3: การ Export ไฟล์ HTML และ SWF

5.2.3 จากนั้นเขียน Action Script ใน Scene_1 และ Scene_2 ตามลำดับ ดังต่อไปนี้

Source Code 2 : Action Script ของ Scene_1

```
1  on (release){
2      var result_lv:LoadVars = new LoadVars();
3      var lv = new LoadVars();
4      lv.a = output.text = "["+ a1.text + " " + a2.text + ";" + a3.text + " " + a4.text + "]";
5      aa=a1.text
6      ab=a2.text;
7      ac=a3.text;
8      ad=a4.text;
9      lv.sendAndLoad("det.php",lv, "POST");
10         lv.onLoad = function(){
11         output.text = this.output;
12         code.text = this.output2;
13         }
14     nextSceneAndPlay();
15 }
```

Source Code 3 : Action Script ของ Scene_2

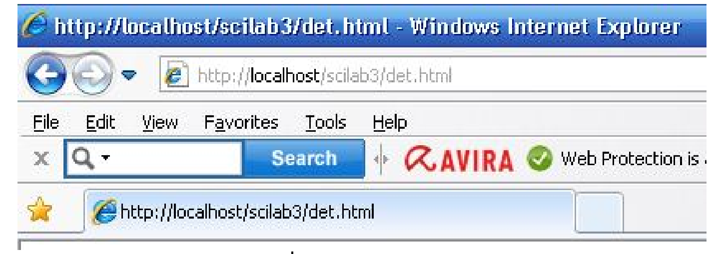
```
onSelfEvent (load) {
    a1.text = aa;
    a2.text = ab;
    a3.text = ac;
    a4.text = ad;
}
    onFrame (53) {
        output1.text = a1.text * a4.text;
    }
    onFrame (133) {
        output2.text = a2.text * a3.text;
    }
    onFrame (175) {
        output3.text = output1.text - output2.text;
    }
    onFrame (230) {
        stop();
    }
```

5.2.4 จากนั้นคลิกที่เมนู File → Export → HTML+SWF แสดงดังภาพที่ 3

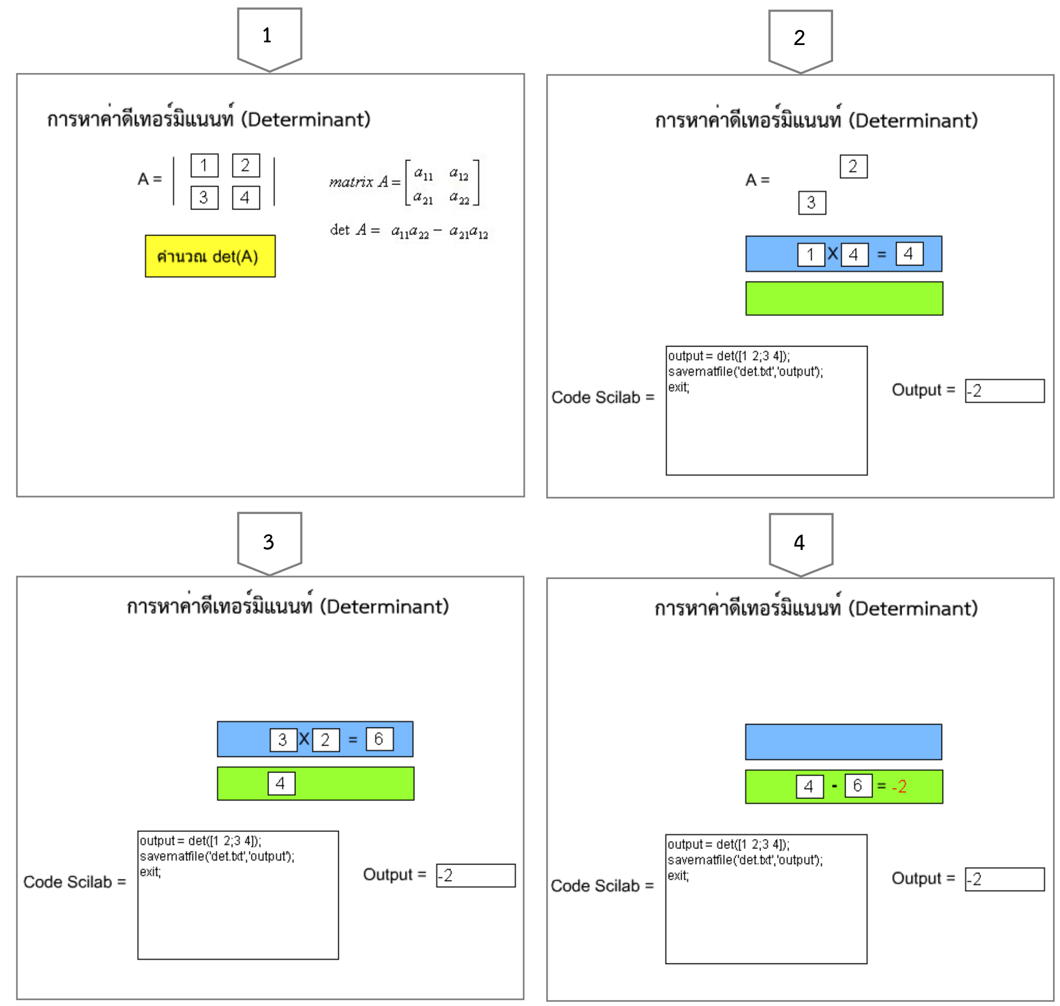
5.2.5 จากนั้นนำไฟล์ det.php , det.html และ del.swf ไปใส่ในโฟลเดอร์ www/scilab3 ของ Server จำลองและเปิด browser internet explorer พิมพ์ URL ดังนี้ localhost/scilab3/det.html ดังภาพที่ 4 จากนั้นจะแสดง Form ที่ที่สร้างขึ้นและทดลองป้อนข้อมูล matrix [1 2 ; 3 4] ลงใน TEXT BOX และคลิกที่ปุ่ม “คำนวณ” จะแสดงดังภาพที่ 5 ตามลำดับ

สรุปโค้ดการหาดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ A

จากการทดสอบในส่วนรับข้อมูล Flash Animation เมื่อป้อนข้อมูลลงไปตาม Source Code 2 : Action Script ของ Scene_1 บรรทัดที่ 9 lv.sendAndLoad("det.php",lv, "POST"); ด้วยฟังก์ชัน sendAndLoad จะสามารถรับ - ส่งข้อมูลจากตัวแปรไปยังเว็บเพจ det.php ได้โดยส่งข้อมูลในรูปแบบ POST หลังจากนั้นใน Source Code 1 : ภาษา PHP Language บรรทัดที่ 7 exec($com); จะเป็นการส่งให้ประมวลผลโค้ดสคริปต์และบันทึกผลลัพธ์เป็นเท็กซ์ไฟล์ส่งค่ากับไปยังส่วนแสดงผลลัพธ์ของ Flash



ภาพที่ 4: ขั้นตอนการพิมพ์ URL บนเว็บไซต์



ภาพที่ 5: ตัวอย่างการหาดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ A

animation ตาม Source Code 3 : Action Script ของ Scene_2 ซึ่งในระหว่างที่อยู่ในกระบวนการ Process นี้จะแสดงวิธีทำในรูปแบบเคลื่อนไหว (animation) และแสดงผลลัพธ์ทีละขั้นตอนดังแสดงตามภาพที่ 5

ทั้งนี้คณะผู้วิจัยจึงมีความมั่นใจว่าการพัฒนากรอบแนวคิดในการวิจัยนี้ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและแสดงคำตอบได้อย่างถูกต้องเสมอ

ภาพที่ 6: ตัวอย่างการหาดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ A ผ่านทาง IP Address 202.29.8.254

5.2 ทดสอบการใช้งานเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้ง Web server โดยใช้ server ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมซึ่งมี IP address คือ 202.29.8.254 จากนั้นทำการ upload ไฟล์ตัวอย่างการหาดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ A ขึ้นเว็บไซต์ดังกล่าว จากการทดลองพบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและแสดงคำตอบได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง ตามที่แสดงในภาพที่ 6

5.3 ทดสอบการใช้งานเว็บไซต์ผ่าน Tablet PC

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเว็บไซต์ http://202.29.8.254 กับเครื่อง Tablet PC รุ่น Acer A510 และได้ทำการป้อนข้อมูลดังภาพที่ 7 และแสดงผลลัพธ์ดังภาพที่ 8 ซึ่งพบว่าระบบสัมผัสของ Tablet PC สามารถทำงานร่วมกับเว็บไซต์ Flash Animation ร่วมกับ SCILAB ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และแสดงคำตอบได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง

5.4 การทดสอบการใช้งานหน่วยความจำบนเว็บไซต์

การทดลองนี้จะสร้างตัวแปรจำนวน 40, 50 และ 60 ตัวแปรขึ้นมาเพื่อใช้ใน PHP และ PHP to SCILAB รวมทั้งใช้ฟังก์ชัน memory_get_usag ตรวจสอบว่าเว็บไซต์นี้ใช้หน่วยความจำไปเท่าไร จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยและสรุปเป็นกราฟตามภาพที่ 9

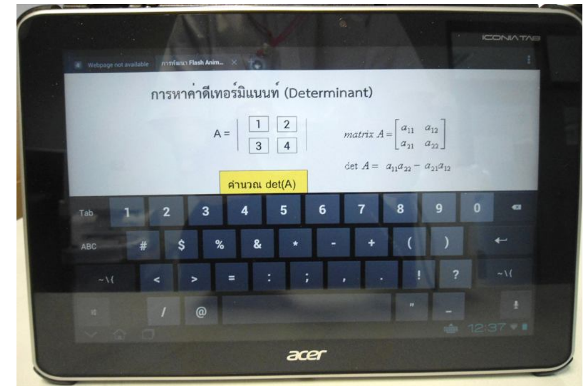
จากภาพที่ 9 สรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการใช้หน่วยความจำหน้าเว็บไซต์แบบ PHP ร่วมกับ SCILAB สามารถทำได้ดีกว่า PHP แบบปกติ เนื่องจากการสร้างตัวแปรจะถูกกระทำที่โปรแกรม SCILAB (แทนที่เว็บไซต์ PHP) ทั้งนี้การคำนวณด้วยฟังก์ชัน memory_get_usag จะวัดเฉพาะหน่วยความจำที่เขียนใน PHP เท่านั้น ซึ่งหมายความว่าเครื่อง Server จะใช้หน่วยความจำเท่าเดิมหรืออาจมากกว่าเดิมก็ได้

6. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการทดสอบการทำงานตามหัวข้อที่ 5.2, 5.3 และ 5.4 พบว่าการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SCILAB ร่วมกับ Flash Animation สามารถทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดี โดยให้ผลลัพธ์ถูกต้องทุกครั้ง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีความมั่นใจว่าตัวอย่างโค้ดดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในงานด้านวิศวกรรมศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

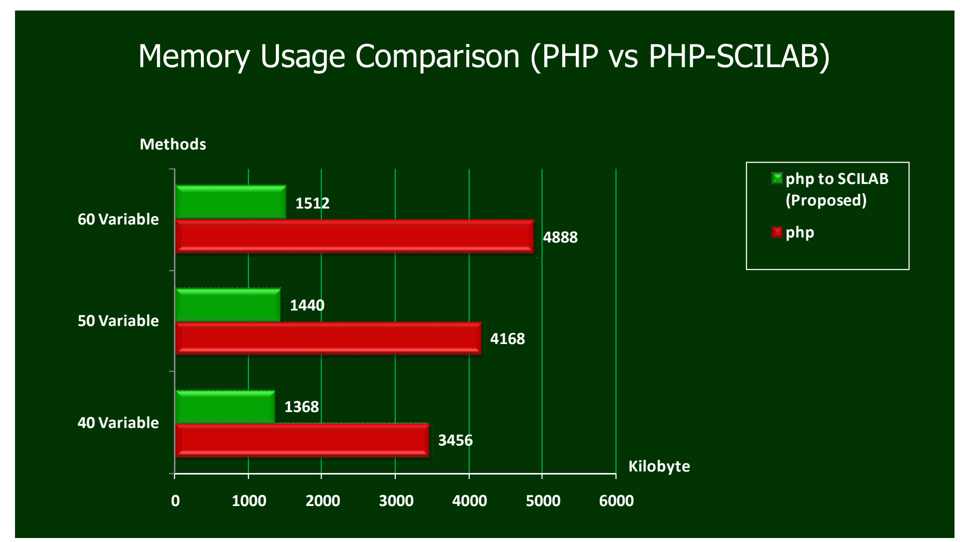
7. สรุปผลการวิจัย

โปรแกรม SCILAB เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข แสดงผลกราฟิกที่ซับซ้อน ดาวน์โหลดมาใช้งานได้ฟรี และเหมาะสมกับการใช้งานทางด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ บทความวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม SCILAB



ภาพที่ 7: ตัวอย่างการป้อนข้อมูลผ่าน Tablet PC

ภาพที่ 8: แสดงผลลัพธ์ของการป้อนข้อมูลผ่าน Tablet PC



ภาพที่ 9: ผลการใช้งานหน่วยความจำในการสร้างตัวแปรระหว่าง PHP vs PHP to SCILAB

ร่วมกับ Flash Animation เพื่อสร้างบทเรียนทางคณิตศาสตร์ให้มีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้น โดยยกตัวอย่างการหาดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ A ที่สามารถแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของ Animation ทั้งภาพและเนื้อหาได้ จึงทำให้สามารถเข้าใจเนื้อหาต่างๆ ได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้ทางผู้วิจัยหวังว่าบทความวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนทางด้านคณิตศาสตร์ในรูปแบบของ Animation ต่อไปในอนาคต

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม “โครงการการพัฒนาสื่อการสอนวิชาคณิตศาสตร์แบบภาพเคลื่อนไหวผ่านเว็บไซต์ โดยใช้โปรแกรม SCILAB ร่วมกับโปรแกรม Flash Animaiton ปีงบประมาณ 2555”

9. เอกสารอ้างอิง

[1] Tablet PC. Tablet PC March 1, 2012 http://www.tabletd.com/articles/289
[2] SCILAB. SCILAB March 1, 2012 http://www.Scilab.org
[3] Flash. Sponsor and Donor, March 1, 2012 http://www.thaiall.com/flash/indexo.html
[4] Swishmax. March 1, 2012 http://www.swishzone.com
[5] MATLAB. MATLAB March 1, 2012 http://www.mathworks.com
[6] ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์. 2551. คู่มือโปรแกรมภาษา SCILAB สำหรับผู้เริ่มต้น (ฉบับปรับปรุงใหม่). กรุงเทพฯ : เพชรเกษมการพิมพ์.
[7] จิรันดร บู๊ฮวดใช้ และปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์, “การพัฒนาชุดฝึกการเรียนการสอนโดยใช้โปรแกรม VISUAL BASIC ร่วมกับ SCILAB”, NPRU Journal of Science and Technology, Thailand, vol. 3, no. 1, 2010, pp. 113 - 122.
[8] จิสัจจะ จรัสรุ่งรวีวร. 2548. คู่มือเขียนโปรแกรม Visual Basic 6 ฉบับผู้เริ่มต้น. นนทบุรี : ไอดี ซี อินโฟดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเตอร์.
[9] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, March 1, 2012 http://th.wikipedia.org/wiki/ภาษาพีเอชพี

การศึกษาสนามแม่เหล็กในกระบวนการทำน้ำร้อน ด้วยเทคนิคปรับจุดความร้อน
Study Magnetic Field for Water Heating by Hot Spot Technique

เฉลิมชนม์ ตั้งวชิรพันธุ์[1], อนันต์ โสภิณ[2] , อนุสรณ์ สาธุเสน[3] ,ขนิษฐา แซ่ลิ้ม[4] ,เสาวนีย์ สันติวงศ์[5] และ ปิยะ โควินทวีวัฒน์[6]

[1,6]โปรแกรมวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
[4,5]โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
Shalerm123@yahoo.co.th [1], Piya@npru.ac.th[6], kanit@npru.ac.th[4] ,saowanee@npru.ac.th[5]
[2,3]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพฯ
anan.s@rmutk.ac.th [2], anusorn.s@rmutk.ac.th[4]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษากระบวนการทำน้ำร้อนโดยจำลองการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไปยังท่อโลหะเหล็กนำความร้อนที่มีตัวกลางเป็นน้ำอยู่ภายในท่อจำนวน 3 ท่อ วางห่างกัน 75มม. ทำการกระตุ้นสนามแม่เหล็กโดยจะใช้ขดลวดพันรอบท่อโลหะกลวงจำนวน 100 รอบที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อคือ 25มม. ความหนา 2มม. ความยาวท่อ 200มม. เท่ากันทุกท่อทำการจ่ายกระแสในรูปแบบที่ละส่วนขนาดกระแสคือ 1A และ 2A วิเคราะห์ผลของสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขจากรูปแบบการกระตุ้น เพื่อให้ได้รูปแบบที่ถูกนำปรับไปใช้ในการควบคุมจุดความร้อนในส่วน การเริ่มต้นให้ความร้อน การรักษาระดับความร้อน และสภาวะเสี่ยง ทั้งยังให้ผลต่อการประหยัดพลังงานและผลต่อความปลอดภัยอันเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการออกแบบระบบทำน้ำร้อนด้วยสนามแม่เหล็ก

คำสำคัญ: สนามแม่เหล็ก, การปรับจุดความร้อน, การเหนี่ยวนำความร้อน

Abstract

This article presents a simulation study of water heating by induced magnetic field to a metal tube with an iron to heat the water inside the tube, 3 tubes were placed far apart 75 mm. the magnetic field induced by the coil of wire wrapped around a hollow metal tube of around 100 with a diameter of the tube is 25 mm. the tube thickness is 2 mm., the tube length is 200 mm. all of tubes are equal. The full size of the current is 1A and 2A of the magnetic field distribution with a numerical model of the stimulus. To obtain a form that is adapted to control the heating section. To begin to heating, remaining the heat treatment level and condition of the risks. The effect on energy efficiency and security of important information for designing a water heating system with an magnetic field.

Keyword: Magnetic Field, Hot Spot, Induction Heating

1. บทนำ

การเหนี่ยวนำคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นหลักการในการให้ความร้อนเป็นพื้นฐานโดยอาศัยกฎของ **Faraday** ในปี**1831 [1]** โดยจะเกิดการไหลของกระแสในขดลวดทางทุติยภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสในขดลวดปฐมภูมิ และได้ถูกพัฒนาไปใช้ในหม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า การเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดกระแสไหลวนและเกิดเป็นความร้อนในแกนของหม้อแปลงไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งการเหนี่ยวนำและการส่งถ่ายพลังงานที่ให้เกิดความร้อนได้นั้น ไม่ต้องอาศัยการสัมผัสหรือการเชื่อมต่อจากตัวเหนี่ยวนำไปยังวัสดุซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อดีได้ว่า **[2]** ไม่ต้องการเวลามากในการเริ่มเดินเครื่อง สามารถให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ พื้นที่ในการทำงานน้อย สามารถกำหนดความลึกในการให้ความร้อนได้ คุณภาพงานดีปราศจากสิ่งปนเปื้อน **[3]** ซึ่งหลักการเหนี่ยวนำได้มีการพัฒนาโดยการนำสารกึ่งตัวนำมาประยุกต์ใช้เช่น ทรานซิสเตอร์ เฟต มอสเฟต ไตรแอค ไอจีบีที ในรูปแบบวงจรแปลงแรงดันชนิดต่างๆ เช่น วงจรแปลงแรงดันแบบครึ่งคลื่น แบบเต็มคลื่น แบบเต็มคลื่นบริดจ์ และได้มีการพัฒนาการเหนี่ยวนำคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนมาประยุกต์สำหรับการหุงต้มในครัวเรือนโดยมีเทคนิคและวิธีการหลากหลายรูปแบบ เช่นงานวิจัย **[4]** การพัฒนาแปลงแรงดันแบบครึ่งคลื่นโดยใช้อุปกรณ์ **IGBT** เป็นโครงสร้างซึ่งกระตุ้นวงจรรีโซแนนท์ ผลปรากฏว่าให้ผลทางความร้อนได้รวดเร็ว โดยใช้กำลัง **1.3KW** ที่ความถี่ **55KHz** งานวิจัย **[5]** สมรรถนะของพื้นที่การให้ความร้อนโดยขดลวดเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กความถี่ **2.45GHz** ผลปรากฏว่าสามารถควบคุมการกระจายอุณหภูมิพื้นที่ความร้อน เวลาในการให้ความร้อน ระยะห่างระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำกับวัสดุตัวกลางในย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งงานวิจัยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กให้เกิดเป็นความร้อนนี้สามารถจำลองในระบบคอมพิวเตอร์ได้เช่นงานวิจัย **[6]** การจำลองแบบการให้ความร้อนของการเหนี่ยวนำด้วยคอมพิวเตอร์ ผลปรากฏว่าสามารถจำลองพื้นที่การให้ความร้อนโดยใช้หลักวิธีการไฟไนต์อีลิเมนต์ได้ผลใกล้กับการทดลองจริง ปัจจุบันการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่ารวมไปถึงประสิทธิภาพของการให้ความร้อนในรูปแบบอื่นถูกนำมาเป็นงานวิจัยและพัฒนามากมาย การศึกษาและพัฒนาเทคนิคพื้นที่การให้ความร้อนที่ให้ผลในการประหยัดค่าพลังงานมีหลากหลายวิธีด้วยกันเช่น เทคนิคการปรับจุดความร้อน ได้มีการศึกษากลไกการปรับจุดความร้อนของสายอากาศป้อนคลื่นแบบแถวร่องลำดับ **[7]** สามารถให้พื้นที่ประสิทธิผลที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ขึ้นและใช้พลังงานน้อยลง **[8]** การวิเคราะห์และออกแบบการล็อคคลื่นความถี่แบบป้อนกลับจากการกระตุ้นปรับจุดของตัวแอพพิเคเตอร์ ส่งผลในการให้ความร้อนแก่สารเนื้อเทียมเป็นวงกว้างมากขึ้นโดยมีอุณหภูมิของสารเนื้อเทียมคงที่คือ **42-44** องศาเซลเซียส ประหยัดค่าพลังงานมากขึ้นกว่าการจ่ายคลื่นความถี่ทุกๆแอพพิเคเตอร์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดรักษาโรค ทั้งนี้ยังมีงานวิจัยที่ทำการพัฒนาพื้นที่การเหนี่ยวนำความร้อนด้วยการควบคุมพลังงาน **[9]** ให้ผลของในด้านความกว้างของพื้นที่ความร้อน การนำระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมาใช้วิเคราะห์สนามแม่เหล็กในการให้ความร้อนยังคงได้รับความนิยมเช่น การจำลองวิธีเชิงตัวเลขของส่วนปิดกั้นสนามแม่เหล็กในขบวนการให้ความร้อนบริเวณเต้านม **[10]** ระบบส่วนปิดกั้นสำหรับการให้ความร้อนเหนี่ยวนำบริเวณเต้านม **[11]** การศึกษาส่วนปิดกั้นสนามแม่เหล็กในการให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำสำหรับตัวกลางที่มีการสูญเสีย **[12]** ที่ให้ผลการวิเคราะห์อย่างเป็นที่น่าสนใจสอดคล้องกับผลการทดลอง นอกจากนี้มีการนำสนามแม่เหล็กไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการทำน้ำร้อนเช่นการศึกษาประสิทธิภาพการทำน้ำร้อนด้วยหลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ **[13]** ให้ผลในด้านประหยัดพลังงานดีกว่าการใช้ลวดความร้อนแต่อัตราการไหลต่ออุณหภูมิของน้ำยังมีข้อจำกัด และเกิดการสูญเสียในรูปความร้อนต่อระบบเป็นอย่างมาก

งานวิจัยนี้จะเป็นศึกษาระบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในกระบวนการทำน้ำร้อนด้วยเทคนิคปรับจุดความร้อน ที่จะทำให้อัตราการไหลของน้ำมีค่ามากขึ้น การสูญเสียด้านค่าความร้อนลดลงโดยจะทำการสร้างชุดขดลวดเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กต่อชุดจำนวนหลายชุดที่มีทิศทางการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำไปสู่ท่อทำให้เกิดความร้อนจากนั้นให้น้ำไหลผ่านกลางในท่อรูปแบบควบคุมต่อชุดจะใช้เทคนิคการผสมสัญญาณในการควบคุมอุณหภูมิของท่อ และใช้เทคนิคปรับจุดความร้อนไปทำการควบคุมทุกๆชุดของการเหนี่ยวนำ ซึ่งจะได้รูปแบบการทำน้ำร้อนที่ใช้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่มีประสิทธิภาพสูง อัตราการไหลของน้ำมีค่ามากขึ้นการควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ ทำให้ใช้พลังงานต่ำ ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าและเป็นประโยชน์ต่อเศรษฐกิจในระยะยาวต่อไป

2. หลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1หลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไปสู่วัสดุจัดเป็นวิธีการให้ความร้อนที่ประสิทธิภาพดีมากซึ่งต้องอาศัยหลักพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ประกอบด้วยขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ ในส่วนที่เกิดเป็นความร้อนจะเกิดจากกระแสด้านทุติยภูมิ Is ไหลเข้าสู่ชิ้นงานกระแสทุติยภูมินั้นจะอาศัยการเหนี่ยวนำกระแสจากขดลวดปฐมภูมิ (Ip)

หรือกระแสจากแหล่งจ่ายต้นกำลัง ความสามารถในการเหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ (Np) ค่ากำลังงานที่ใช้ (P load) จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานสมมูลของวัสดุที่ใช้ในการทำท่อหรือวัสดุกระจายความร้อน (R load) ตามหลักสมการ

$$P_{load} = N_p^2 I_p^2 R_{load} \qquad (1)$$

I_p คือกระแสจากแหล่งจ่ายต้นกำลัง

R_{load} คือความต้านทานสมมูลของชิ้นงาน

N_p คือจำนวนรอบของขดลวด

โลหะที่ใช้ทำท่อความร้อนหรือกระจายความร้อนเป็นโลหะจำพวก เหล็ก สเตนเลส อลูมิเนียม เป็นต้น จะมีอุณหภูมิที่ใช้ถ่ายเทความร้อนให้น้ำอยู่ในช่วงประมาณ 40-90 องศาเซลเซียส ความต้านทานของท่อความร้อนจะมีคุณสมบัติตามชนิดของโลหะคือเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานจำเพาะจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นตามสมการ

$$\rho_e = \rho_1\left[1+\alpha\left(\theta-\theta_1\right)\right]N_p^2 I_p^2 R_{load} \qquad (2)$$

ρ_e คือค่าความต้านทานจำเพาะ (Ω_m) ที่อุณหภูมิ θ (องศาเซลเซียส) ใดๆ

ρ_1 คือค่าความต้านทานจำเพาะที่อุณหภูมิ θ_1

α คือสัมประสิทธิ์ของสารชนิดต่างๆ

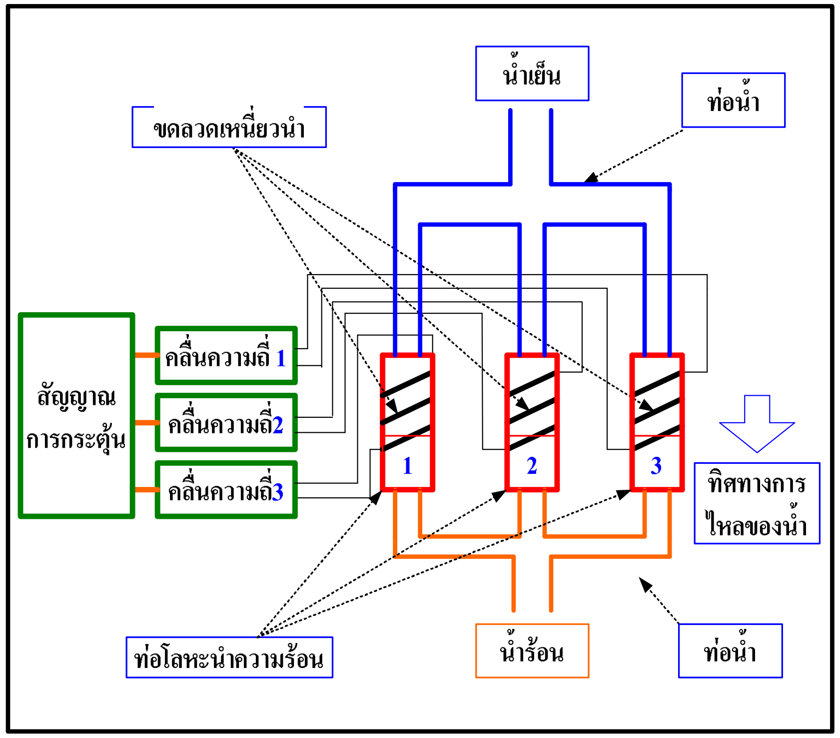
ค่ากำลังงานที่ใช้ในรูปแบบทางไฟฟ้า (P load) จะถูกจำแนกได้จากผลคูณของค่าสนามแม่เหล็กต่อค่าสนามไฟฟ้าและเหตุผลอันเนื่องมาจากวิธีการกำเนิดพลังงานนั้นมาจากกระแสที่ไหลวนในขดลวดซึ่งให้ผลในทางสนามแม่เหล็กมากกว่าสนามไฟฟ้าดังนั้นการทดลองนี้จะใช้ค่าสนามแม่เหล็กที่เป็นค่าส่วนมากในการวิเคราะห์ การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายของกระแสไหลวนเข้าไปในชิ้นงาน จะหาคำตอบของสนามแม่เหล็กในรูปของศักย์เวกเตอร์แม่เหล็ก A เป็นจุดเริ่มและใช้ศักย์เวกเตอร์แม่เหล็ก A นี้หาค่าสนามแม่เหล็ก (H-Field) ต่อไป การหาค่าผลเฉลยของศักย์เวกเตอร์แม่เหล็ก A จะใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการหาผลเฉลยซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$\nabla\times\left(\nu\nabla\times A\right) = -\sigma\frac{\partial A}{\partial t} + J_0 - \sigma\nabla\phi \qquad (3)$$

เมื่อ ϕ คือความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (V/m) σ คือค่าความนำ (S/m) J_o คือความหนาแน่นกระแส (A/m^2) ν คือค่าตัวแปรทางแม่เหล็ก และ A คือศักย์เวกเตอร์แม่เหล็ก ลักษณะของขดลวดเหนี่ยวนำหรือขดลวดที่สร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนกับท่อความร้อนหรือวัสดุกระจายความร้อน จะขึ้นอยู่กับรูปร่าง จำนวนรอบของขดลวด ขนาดหรือพื้นที่หน้าตัดของตัวลวด วัสดุที่ใช้ทำลวด ความถี่ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ให้กับตัวลวดรวมไปถึงความหนาและพื้นที่หน้าตัดของวัสดุกระจายวัสดุกระจายความร้อน โดยองค์ประกอบพื้นฐานอื่นที่ช่วยให้การเหนี่ยวนำมีประสิทธิภาพดี ได้แก่องค์ประกอบด้าน ระยะห่างระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำกับชิ้นงาน ปริมาณการไหลของเส้นแรงแม่เหล็กในชิ้นงาน จุดศูนย์กลางระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำกับวัสดุกระจายความร้อน จุดต่อของเส้นลวดกับขดลวดเหนี่ยวนำ การเกิดการหักล้างและเสริมกันในทิศทางและระยะห่างของตัวลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งขดลวดเหนี่ยวนำที่ใช้ถ่ายโอนสนามแม่เหล็กและให้ความร้อนจะเป็นแบบ helical solenoid และโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้โปรแกรม CST EM STUDIO 2009 เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่สอดคล้องกับรูปสมการที่ได้แสดง (1) (2) (3) แต่ผลทางด้านกำลัง

งานจะแสดงเฉพาะในส่วนของค่าสนามแม่เหล็ก (H-Field) ซึ่งเป็นค่ากำลังงานส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากทางไฟฟ้าไปสู่ค่าทางความร้อน

2.2 เทคนิคการปรับจุดความร้อน วิธีปรับจุดความร้อนเป็นลักษณะควบคุมการเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็ก โดยสนามแม่เหล็กนี้จะกระตุ้นขดลวดเหนี่ยวนำในรูปแบบที่ละส่วน และทำการหมุนวนการกระตุ้นขดลวดเหล่านี้ไปจนครบทุกขดลวดจนครบรอบและทำการกระตุ้นวนซ้ำเพื่อให้เกิดค่าพลังงานในการเหนี่ยวนำความร้อนเฉลี่ยเท่ากันทุกท่อ ระยะเวลาการกระตุ้นและวนซ้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสนามแม่เหล็กที่ต้องการไปเหนี่ยวนำเพื่อให้เกิดความร้อนในระดับอุณหภูมิต่างๆ



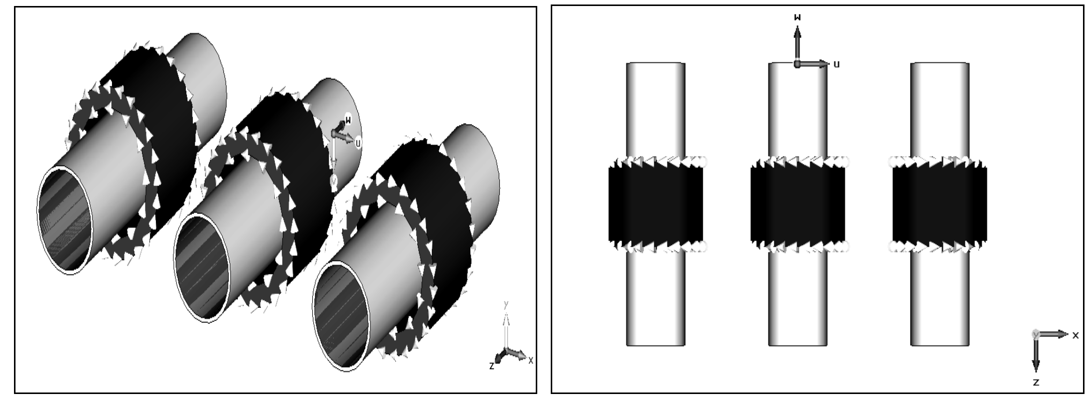
ภาพที่ 1 ระบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในกระบวนการทำน้ำร้อนด้วยเทคนิคปรับจุดความร้อน

จากภาพที่ 1 น้ำเย็นจะถูกส่งเข้าสู่ท่อที่มีทางแยก 3 ทางโดยมีท่อโลหะที่ 1 ,2และ 3 นำความร้อนครอบท่อโลหะที่พันด้วยขดลวดเหนี่ยวนำ โดยมีแหล่งจ่ายคลื่นความถี่เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณควบคุมด้วยเทคนิคการปรับจุดความร้อน การเหนี่ยวนำ โดยขึ้นอยู่กับสัญญาณกระตุ้นชุดกำเนิดคลื่นความถี่ เพื่อเหนี่ยวนำไปยังท่อทั้งสามชุด รูปแบบ การกระตุ้นเป็นแบบทีละส่วนเรียงลำดับวิเคราะห์ผลที่ได้รับในรูปสนามแม่เหล็กที่ผ่านเข้ามายังท่อโลหะทั้งสาม โดยการวิเคราะห์จะใช้การกระตุ้นขดลวดเหนี่ยวไม่พร้อมกัน และการกระตุ้นแบบพร้อมกันทุกขดลวดเหนี่ยวนำ

3. การจำลองแบบและผลการวิเคราะห์

การจำลองแบบและการวิเคราะห์ในบทความนี้จะดำเนินการปรับจุดโดยวิธีควบคุมการกระตุ้นของสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายตามท่อโลหะที่ทำมาจากเหล็กนำความร้อนมีตัวกลางเป็นน้ำอยู่ภายในท่อ จะไม่ได้คำนวณในส่วนอุณหภูมิของน้ำ ค่าปริมาณสนามแม่เหล็กที่ได้ในแต่ละรูปแบบสามารถนำไปวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับความร้อนของน้ำได้ในภายหลัง ขนาดของท่อทรงกระบอกกลวงใช้วิธีเลือกแบบจากขนาดท่อจริงเพียงหนึ่งตัวอย่าง และจำนวนของท่อสามารถเลือกได้ตั้งแต่ 2 ท่อขึ้นไป ในการจำลองนี้เลือก

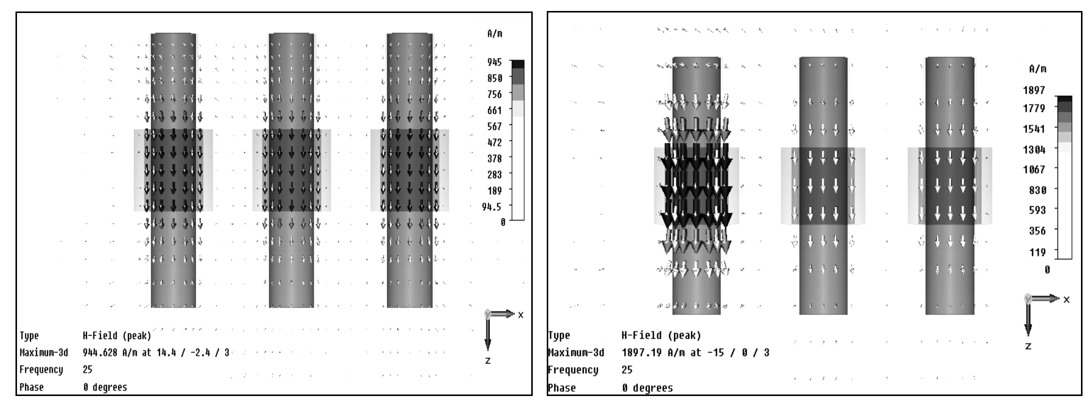
สุ่มคือ 3 ท่อส่วนระยะการวางห่างถูกออกแบบไว้สำหรับส่วนปิดกั้นที่มีระยะร่องห่างกัน75 มม. ที่มีรัศมีคือ 25 มม. ความหนา 2 มม. ความยาว 200 มม. แต่ละท่อภายในจะบรรจุตัวกลางคือน้ำ มีขดลวดพันรอบท่อทรงกระบอกโดยลวดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม. จำนวน 100 รอบ โดยกำหนดทิศทางสนามแม่เหล็กที่ไหลวนเป็นทิศเดียวกันซึ่งส่วนนี้ดำเนินการได้จากการกระตุ้นขดลวดที่ใช้เฟสของกระแสส่วนขนาดของกระแสที่ใช้คือ 1A และ 2A ระยะห่างจากผิวท่อถึงขดลวดคือ 10 มม. ความถี่ที่ใช้คือ 25KHz ซึ่งเป็นความถี่ที่อุปกรณ์จ่ายสร้างได้ในชั้นต้น การดำเนินส่วนนี้เพื่อให้เห็นถึงสภาวะที่คงที่ของสนามแม่เหล็กเมื่อเปลี่ยนค่าพลังงานทำการวิเคราะห์หาค่าสนามแม่เหล็กจากรูปแบบต่างๆโดยใช้โปรแกรม CST EM STUDIO 2009



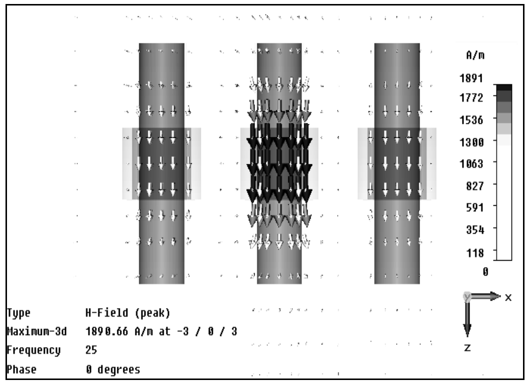
ก.ท่อโลหะนำความร้อนในมุม 3 มิติ ข.ท่อโลหะนำความร้อนในมุม 2 มิติด้านหน้า

ภาพที่ 2 แสดงลักษณะแบบจำลองท่อโลหะนำความร้อนในมุมมองเชิงมิติ

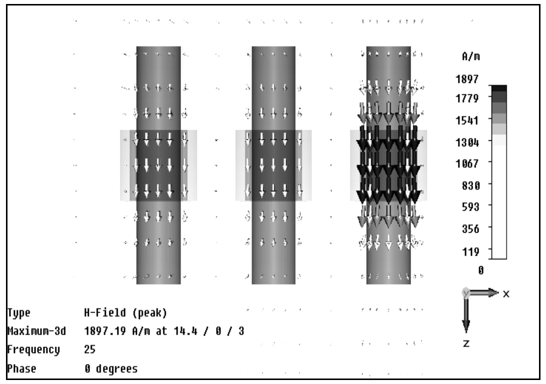
จากภาพที่ 2 เป็นลักษณะแบบจำลองการจัดวางท่อโลหะนำความร้อนในมุมมองเชิงมิติซึ่งพบว่าภาพ 2ก นั้นเป็นมุมใน3มิติ ซึ่งจะเห็นว่าภายในท่อโลหะมีตัวกลางคือน้ำ ส่วนภาพ 2ข นั้นเป็นมุมมองในเชิง 2 มิติ โดยจัดวางทางซ้ายสุดด้วยท่อโลหะที่พันด้วยขดลวดเป็นชุดที่ 1 ส่วนตรงกลางเป็นชุดที่2 และส่วนขวาสุดเป็นชุดที่ 3 ทำการกระตุ้นขดลวดทั้งสามชุดในรูปแบบต่างๆจะให้ผลการวิเคราะห์ของสนามแม่เหล็กดังภาพที่3



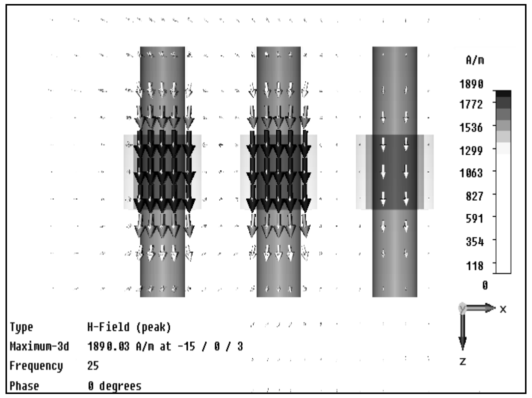
ก. กระตุ้นกระแสขนาด 1,1,1 A ข. กระตุ้นกระแสขนาด 2,1,1 A



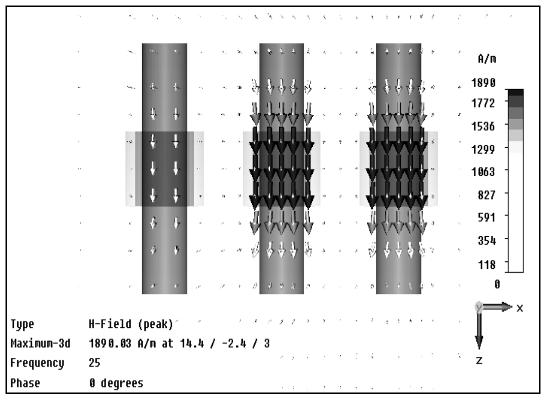
ค. กระตุ้นกระแสขนาด 1,2,1 A



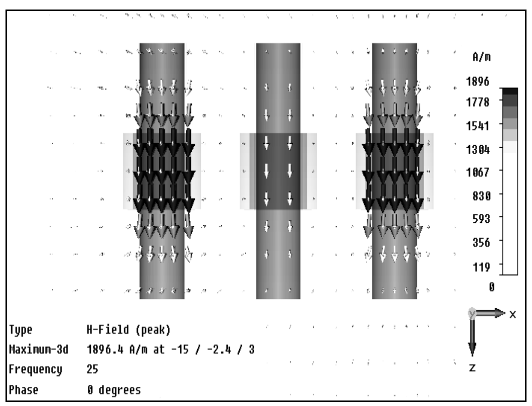
ง. กระตุ้นกระแสขนาด 1,1,2 A



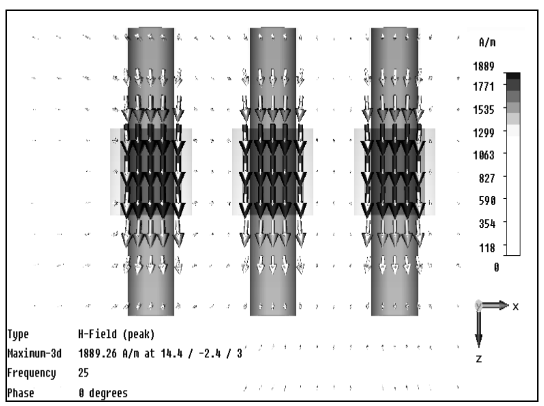
จ. กระตุ้นกระแสขนาด 2,2,1 A



ฉ. กระตุ้นกระแสขนาด 1,2,2 A



ช. กระตุ้นกระแสขนาด 2,1,2 A



ณ. กระตุ้นกระแสขนาด 2,2,2 A

ภาพที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระตุ้นสนามแม่เหล็กทีละส่วน

จากภาพที่ 3 เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระตุ้นสนามแม่เหล็กทีละส่วน โดยการจ่ายกระแสให้ขดลวดทั้งสามชุด ซึ่งชุดที่1, ชุดที่2, ชุดที่3 มีขนาดกระแสที่ได้แสดงดังภาพต่อไปดังนี้ ภาพที่3ก แสดงการกระตุ้นกระแสให้ขดลวดชุดที่1คือ 1A ชุดที่ 2 1A, ชุดที่3 1A ให้ผลของสนามแม่เหล็กสูงสุดอยู่ระในช่วงระหว่าง 850-945 A/m เท่าๆกัน ซึ่งสภาวะนี้เป็นสภาวะที่จ่ายพลังงาน

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

ต่ำจำลองได้ว่าอาจมีผลให้ค่าพลังงานสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายไม่เพียงพอในการกระตุ้นให้น้ำทั้งระบบเพิ่มอุณหภูมิ ภาพที่3ข,3ค,3ง แสดงการกระตุ้นกระแสขดลวดที่มีลักษณะเป็นการกระตุ้นทีละส่วน ส่วนละ1ชุด คือมีเพียงชุดเดียวที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแส 2A ที่เหลืออีก2ชุดจะถูกกระตุ้นด้วยกระแส 1A โดยจากภาพที่3ข ซึ่งชุดที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแส 2A เป็นชุดด้านซ้ายให้ผลของสนามแม่เหล็กสูงคืออยู่ในช่วงระหว่าง 1779-1897 A/m ส่วนชุดที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแส 1A คือชุดกลางและชุดด้านขวา ให้ผลของสนามแม่เหล็กน้อยคืออยู่ในช่วง 830-1067 A/m ส่วนภาพที่3ค ชุดที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแส 2A เป็นชุดกลางให้ผลของสนามแม่เหล็กสูงคืออยู่ในช่วงระหว่าง 1772-1891 A/m ชุดที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแส 1A คือชุดด้านซ้ายและชุดด้านขวา ให้ผลของสนามแม่เหล็กน้อยคืออยู่ในช่วง 827-1063 A/m และภาพที่3ง ชุดที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแส 2A เป็นชุดด้านขวาให้ผลของสนามแม่เหล็กสูงคืออยู่ในช่วงระหว่าง 1779-1897 A/m ส่วนชุดที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแส 1A คือชุดด้านซ้ายและชุดกลาง ให้ผลของสนามแม่เหล็กน้อยคืออยู่ในช่วง 830-1067 A/m ทั้งนี้สามารถจำลองได้ว่าอาจมีผลให้อุณหภูมิของน้ำเริ่มร้อนได้อย่างช้าๆ ส่วนภาพที่3จ,3ฉ,3ช แสดงการกระตุ้นกระแสให้ขดลวดโดยมี 2ชุดที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแส 2A ชุดที่เหลือเพียงชุดเดียวจะถูกกระตุ้นที่ 1A โดยภาพที่3จ ชุดที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแส 2A เป็นชุดด้านซ้ายและกลางให้ผลของสนามแม่เหล็กสูงคืออยู่ในช่วงระหว่าง 1772-1890 A/m ส่วนชุดที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแส 1A คือชุดด้านขวา ให้ผลของสนามแม่เหล็กน้อยกว่าคือระหว่าง 827-1063 A/m ส่วนภาพที่3ฉ ชุดที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแส 2A เป็นชุดกลางและด้านขวาให้ผลของสนามแม่เหล็กสูงคืออยู่ในช่วงระหว่าง 1772-1890 A/m ส่วนชุดที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแส 1A คือชุดด้านซ้าย ให้ผลของสนามแม่เหล็กคือระหว่าง 827-1063 A/m ส่วนภาพที่3ช ชุดที่ถูกกระตุ้นด้วยกระแส 2A เป็นชุดด้านซ้ายและด้านขวาให้ผลของสนามแม่เหล็กสูงคืออยู่ในช่วงระหว่าง 1778-1896 A/m ส่วนชุดที่ถูกกระตุ้นจากกระแส 1A คือชุดกลาง ให้ผลของสนามแม่เหล็กคือระหว่าง 830-1067 A/m สภาวะการกระตุ้นด้วยกระแส 2Aครั้งละ2ชุดนี้นำมาจำลองได้ว่าผลของอุณหภูมิของจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ส่วนภาพที่3ณ แสดงการกระตุ้นกระแสให้ขดลวดด้วยกระแส 2A เท่ากันทั้ง3ชุดให้ผลสนามแม่เหล็กสูงทั้งสามชุดโดยมีค่าสนามแม่เหล็กอยู่ที่ 1771-1897 A/m วิธีการกระตุ้นนี้จะจำลองเป็นลักษณะการจ่ายพลังงานสูงสุดผลที่ได้คือน้ำจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วมากที่สุด

4. สรุปผลการทดลอง

จากกระบวนการทำน้ำร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้าทั่วไปที่สิ้นเปลืองพลังงานและอาจก่อให้เกิดอันตราย สามารถถูกพัฒนากระบวนทำน้ำร้อนเหล่านี้ด้วยการใช้ระบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กให้เกิดความร้อนโดยมีเทคนิคการปรับจุดความร้อนที่ใช้วิธีการกระตุ้นสนามแม่เหล็กแบบทีละส่วนให้ผลจาการจำลองที่พบได้ว่าสามารถควบคุมการเพิ่มขึ้นและลดลงของสนามแม่เหล็กอย่างมี เสถียรภาพช่วยลดพลังงานที่สิ้นเปลืองอีกทั้งยังช่วยให้ผลในด้านความปลอดภัย ที่ดีกว่าการจ่ายพลังงานสูงสุดไปยังอุปกรณ์ ซึ่งจากการจำลองนี้ให้ผลสอดคล้องว่าในช่วงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำต้องทำการกระตุ้นสนามแม่เหล็กโดยให้ปริมาณกระแสสูงสุดต่อขดลวดที่พันรอบท่อเป็นส่วนใหญ่และเมื่อต้องการคงที่อุณหภูมิจะต้องทำการกระตุ้นสนามแม่เหล็กโดยให้ปริมาณกระแสสูงสุดต่อขดลวดที่พันรอบท่อเพียงท่อเดียวหรือเป็นส่วนน้อย เทคนิคปรับจุดความร้อนนี้อาจประยุกต์ปริมาณกระแสที่ไปกระตุ้นขดลวดให้มีค่ามากขึ้นซึ่งในบทความนี้ใช้เพียงค่า 2A เพื่อแสดงถึงกระแสปริมาณมากและ 1A ที่แสดงถึงกระแสปริมาณน้อย อีกทั้งค่าสนามแม่เหล็กที่ได้จากการจำลองยังสามารถนำไปเป็นแหล่งพลังงานเริ่มต้นในการเปลี่ยนเป็นความร้อนของท่อเพื่อให้ได้ค่าอุณหภูมิของน้ำที่มาจากการนำความร้อน การพาความร้อน จากท่อโลหะนี้ รวมถึงค่าอุณหภูมิของน้ำที่ได้จากการแพร่กระจายของคลื่นสนามแม่เหล็ก

2.2 การถ่ายโอนความร้อนของวัสดุ การส่งถ่ายความร้อนไปสู่วัสดุหรือตัวกลางจะมีอยู่ด้วยกัน3รูปแบบคือการนำความร้อน การพาความร้อน และกำลังงานภายนอกที่ป้อนให้ระบบหรือการแพร่กระจายของพลังงาน {12} โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial T}{\partial t} = R_T \nabla^2 t + \frac{\varepsilon_v}{C_p} L_h \frac{\partial M_l}{\partial t} + \frac{P}{\rho C_p} \qquad (4)$$

เมื่อ T คืออุณหภูมิ(^{0}C) R_T คือความสามารถในการกระจายอุณหภูมิ (m^2 /s) ε_v คืออัตราส่วนการถ่ายเทของเหลวไอน้ำต่อการถ่ายเทความชื้นทั้งหมด (kg^{-1}) C_p คือความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุ (kJ/kg ^{0}C) L_h คือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของเหลว (kJ/kg) ρ คือค่าความหนาแน่นของวัตถุ ($kg.m^{-3}$) P คือค่าความหนาแน่นของกำลังงานในตัวกลางที่มีการสูญเสีย (W/m^3) และเกิดจากผลโดยตรงของสนามแม่เหล็ก (H-Field) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดจากสมการ (4) มีอยู่ 3

ปัจจัยคือ เทอมแรกหมายถึง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการนำความร้อน เทอมที่สองหมายถึง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดจากการพาความร้อน และเทอมที่สามหมายถึง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากกำลังงานภายนอกที่ป้อนให้ตัวกลาง โดยที่ P แปรผันตรงต่อเทอมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลา

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและขอขอบคุณ ผศ.ดร.ชาญชัย ทองโสภา อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] J.Davice and P.Simpson Induction Heating Handbook McGraw-Hill, 1979.

[2] นภดล นุนงาม , 2539 , เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำชนิดปรับความถี่แบบอัตโนมัติ , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[3] E.J.Dede, V.Eeteve, J.V. Gonzalez,J.Garcia, L.Lapiedra and M.Fernadez. " Desing of A Serie Resonant Converter For Induction Heating" IEEE 1991.

[4] Byoung-Kuk Lee, Jin-Woo Jung,Bum-Seok,Dong-Seok Hyun " A New Half-Bridge Inverter Topology with Active Auxiliary Resonant Cricuit Using Insulated Gate Bipolar Transistor for Induction Heating Applications " IEEE 1997.

[5] C. Patummakasorn, S. Tangwachirapan and C. Thongsopa "Development of Inductive Regional Heating By Energy Control at Frequency 2.45 GHz" IEEE Conference Hyperthermia APMC Dec 2007

[6] Lawrence R. Egan and Edward P. Furlani A Computer Simulation of an Induction Heating System IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS. VOL. 21, NO. 5. SEPTEMBER 1991

[7] อาณัติ เหมือนชู และ โมไนย ไกรฤกษ์, "การศึกษากลไกการปรับจุดความร้อนของสายอากาศป้อนคลื่นแบบแถวร่องลำดับ," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 22, ม.เกษตรศาสตร์ม ธันวาคม 2542, หน้า 99-102.

[8] C.Thongsopa, M.Krairiksh, A.Mearnchu and D.Srimoon, "Analysis and Design of Injection Locking Steerable Active Array Applicator," IEICE Trans. Communications, vol.E 85-B, no 10, pp. 2327-2337, Oct. 2002.

[9] Patummakasorn, C. Tangwachirapan, S. and. Thongsopa, C. "**Development of inductive regional heating by energy control at frequency 2.45 GHz**" IEEE CNF –Electromagnetic Compatibility and 19th International Zurich Symposium on Electromagnetnetic Compatibility 2008 APEMC 2008 Asia-Pacific Symposium ,Singapore, pp:819-822, May 19-23. 2008

[10] Tangwachirapan, S. and. Thongsopa, C. "**Numerical Simulation of Magnetic Fields Shield for Breast Cancer Hyperthermia**" The 7th Proceedings of the PSU-Engineering Conference, Songkha ,Thailand, pp102, May 21-22. 2009

[11] Thongsopa, C. Intarapanich, A. and Tangwachirapan, S. "**Shielding System for Breast Hyperthermia Inductive Heating**" ISEF 2009 - XIV International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering Arras, France, September 10-12. 2009

[12] Tangwachirapan, S. and. Thongsopa, C. "**Study Magnetic Fields Shield for Lossy Mediums Inductive Hyperthermia Heating**" (The Best Paper Award of Biomedical Engineering) Proceedings of the 32th Electrical Engineering Conference, Prajeenburi ,Thailand, October 28-30. 2009

[13] ธีรภาพ อุดมสินค้า,2545 ,การศึกษาประสิทธิภาพการทำน้ำร้อนด้วยหลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ชุดขับหลอด High Power LED ด้วยวงจร SEPIC Converter ซึ่งควบคุมด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ PIC และปรับความสว่างได้

High Power LED Drive by SEPIC converter with PIC Microcontroller and Brightness Dimmable

เจษฎา จำปาซอน, วิรุฬห์ คล้ำมณี, ธวัชชัย ทองเหลี่ยม และ บัญชา หิรัญสิงห์

โปรแกรมวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ กลุ่มโปรแกรมวิศวกรรมและเทคโนโลยี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
E-mail moregas_44@hotmail.com, wirub30@hotmail.com, tony_tct@yahoo.com and hirunsing@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ ได้นำเสนอวงจรขับหลอด high power LED ด้วยวงจร SEPIC converter ซึ่งถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และสามารถปรับความสว่างได้ งานวิจัยนี้ได้ใช้หลอด high power LED โมดูลจำนวน 2 หลอด ต่อลักษณะอนุกรม แรงดันของวงจรขับแอลอีดีมีค่าเท่ากับ 20 V และกระแสเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 700 mA ไมโครคอนโทรลเอร์ PIC16F877 ทำหน้าที่ควบคุมวงจรขับหลอดเพื่อรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ วงจรปรับความสว่างด้วยไตรแอคถูกนำมาใช้ปรับความสว่างของชุดหลอด high power LED จากผลที่ได้ทำการทดลองพบว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรมีค่าเท่ากับ 19.5 V, กระแสเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 615 mA และวงจรสามารถปรับความสว่างได้ตั้งแต่ 0 lux – 1,076 lux ที่ความสูง 3 เมตร

คำสำคัญ : แอลอีดีกำลังสูง, วงจรขับหลอด high power LED, ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง, ไมโครคอนโทรลเลอร์ และการปรับความสว่าง

Abstract

This paper proposed high power LED drive by SEPIC converter with microcontroller PIC and dimmable. High power LED module circuit used 2 lamps, implemented by series. The output voltage equal to 20 V and output current equal to 700 mA. High power LED drive circuit controlled by Microcontroller PIC16F87, which regulate output voltage. Triac dimmable circuit is dimming brightness of high power LED module. The experimental result of the proposed circuit show output voltage and output current is 19.5 V and 610 mA, respectively. The high power LED drive circuit can be adjusted from 0 lux to 1,076 lux (height = 3 m).

Keyword : High power LED, High power LED driver circuit, Illumination system, Microcontroller PIC and Brightness Dimmable.

1. บทนำ

หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) [1] คืออุปกรณ์ที่ให้แสงสว่างที่มีข้อดีคือสามารถให้ความสว่างที่มาก และมีราคาถูก แต่ข้อเสียของหลอดดังที่กล่าวมาใช้กำลังวัตต์ต่อความสว่างสูงซึ่งทำสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า หลอดฟลูออเรสเซนต์ถูกนำไปใช้งานในลักษณะที่แตกต่างกันเช่น ไฟส่องสว่างภายในบ้าน ไฟส่องสว่างตามทางเดิน ไฟส่องสว่างภายในสวน และถูกนำไปใช้ในลักษณะอื่น ๆ อีกมาก ซึ่งโคมไฟแบบดาวน์ไลท์ที่ใช้ใน โรงแรม อาคารสำนักงาน ร้านอาหาร เป็นการนำหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพ็คไปใช้งาน ข้อบกพร่องของหลอดดังกล่าวคือ มีอายุการใช้งานสั้นเพียง 6,000 ชั่วโมง และมีความร้อนสูง ทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนักและกินไฟมาก จากข้อเสียดังกล่าวจึงได้มีการวิจัยเพื่อใช้อุปกรณ์ที่ประหยัดพลังงานและลดความร้อนอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโคมไฟดาวน์ไลท์รุ่นใหม่ที่ใช้กับหลอด LED ที่มีอายุการใช้งานของหลอดนานและมีความร้อนน้อยกว่ามาใช้แทนทำให้ช่วยประหยัดพลังงาน [2-3]

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดแสงสว่าง

Lighting Source	Power (W)	Luminous Flux (lm)	Efficiency (lm/W)	Life time (hr)
Fluorescent compact lamp	5	250	50	10,000
High Power LED	10	750-900	75-90	50,000

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพ็คกับหลอด high power LED ซึ่งเราสามารถสังเกตุเห็นได้ดังนี้ 1) หลอด high power LED ให้ประสิทธิภาพความสว่างมากกว่าหลอดคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์ 15 lm/W แต่ใช้พลังงานน้อยกว่า 2) ประสิทธิภาพของความสว่างของ high power LED มากกว่าหลอดฟูออเรสเซนต์เมื่อให้ความสว่างเท่ากัน 3) high power LED สามารถใช้ได้นานมากกว่า 50,000 ชั่วโมง ซึ่งใช้ได้นานกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพ็ค และ 4) high power LED ไม่มีการใช้ไอปรอท ซึ่งเป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาสภาวะเรือนกระจก

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมามีการค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับหลอดแอลอีดีเพื่อให้มีความสว่างเพิ่มมากขึ้นโดยที่กำลังการสูญเสียไม่ได้เพิ่มขึ้นมาก โดยเริ่มมีการนำไปใช้แทนหลอดที่ให้ความสว่างที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน [4 - 10] ซึ่งการออกแบบวงจรขับหลอด high power LED เพื่อรักษาแรงดันเอาต์พุตและจ่ายกระแสเอาต์พุตที่เหมาะสมเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างมาก

จากปัญหาของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ได้กล่าวมาแล้ว งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและสร้างวงจรขับหลอด high power LED โมดูล เพื่อใช้ในระบบส่องสว่างภายในห้องแบบดาวน์ไลท์ที่สามารถปรับความสว่างได้ และสามารถปรับความสว่างได้ โดยนำวิธีการของวงจรเซปิค คอนเวอร์เตอร์ (SEPIC Converter) มาออกแบบเป็นวงจรขับชุดหลอด high power LED และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ควบคุมการทำงานของวงจร SEPIC Converter เพื่อให้มีแรงดันและกระแสที่จ่ายให้กับ high power LED ได้ตามที่ออกแบบไว้ ในการปรับความสว่างของหลอดได้ใช้วงจรปรับความสว่างที่อาศัยหลักการของไตแอคมาทำการลดแรงดันใช้งานลง

2. High power LED

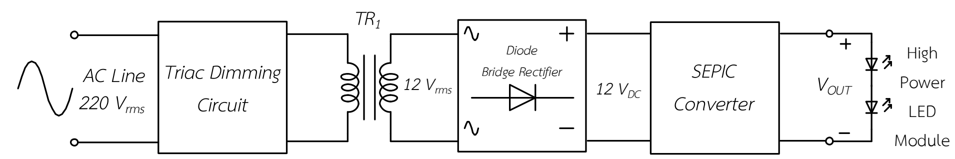
2.3 คุณสมบัติของหลอด High power LED

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ high power LED ชนิด 10W warm white high power led diode จากบริษัท Shenzhen Hanhua Opto แสดงในรูปที่ 1 ซึ่งหลอด high power LED โมดูลต้องการแรงดันไบอัสมีค่าเท่ากับ *9 - 12 V* และมีกระแสเท่ากับ *1 A* และมีกำลัง *10 W* high power led มีความสว่างประมาณ *750 - 900 lm* ซึ่งภายในหลอด high power LED โมดูล ในมี LED 9 หลอดต่อในลักษณะอาร์เรย์ กล่าวคือ มีการต่ออนุกรม 3 หลอด แล้วต่อขนานกัน 3 แถว

รูปที่ 1 หลอด high power LED โมดูล [2]

2.2 โครงสร้างของวงจรขับและปรับความสว่างชุดหลอด High power LED

รูปที่ 2 แสดงวงจรขับหลอด high power LED ที่สามารถปรับความสว่างได้ ซึ่งประกอบด้วย 1) วงจรปรับความสว่างด้วยไตรแอค ทำหน้าที่ปรับความสว่างของชุดหลอด high power LED โมดูล 2) หม้อแปลงไฟฟ้า ทำหน้าที่ลดแรงดันอินพุต 3) วงจรเรียงกระแส ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง 4) วงจร SEPIC converter ทำหน้าที่ขับชุดหลอด high power LED โมดูล และ 5) ชุดหลอด high power LED โมดูล ทำหน้าที่ให้ความสว่าง



รูปที่ 2 วงจรขับหลอด high power LED ที่สามารถปรับความสว่างได้

3. การออกแบบวงจรขับชุดหลอด High Power LED

3.1 SEPIC converter drive

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ชุดไฟฟ้าส่องสว่างมีจำนวน high power LED 2 โมดูล ต่อในลักษณะอนุกรม ดังนั้น แรงดันและกระแสเอาต์พุตที่วงจรขับชุดหลอด high power LED ต้องจ่ายให้มีค่าเท่ากับ

$$V_{OUT} = 10 \times 2 = 20V \tag{1}$$

และ

$$I_o = 1{,}000mA \tag{2}$$

จากแรงดันเอาต์พุตที่คำนวณได้ถูกนำมาหาค่าดิวตี้ไซเคิ้ลได้ดังนี้

$$D = \frac{V_{OUT} + V_D}{V_S + V_{OUT} + V_D} \tag{3}$$

$$D = \frac{20V + 0.3V}{12V + 20V + 0.3V} \tag{4}$$

$$D = 0.63$$

ดังนั้น ค่าดิวตี้ไซเคิ้ลมีค่าเท่ากับ *D = 63%*

ความถี่ (f_{SW}) ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานมอสเฟตของวงจร SEPIC converter มีค่าเท่ากับ 50 kHz และจากค่าดิวตี้ไซเคิ้ล แรงดันเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตที่ชุดหลอด high power LED ต้องการถูกนำไปหาค่าอินดักแตนซ์มีค่าเท่ากับ

$$L_{1a} = L_{1b} \geq \frac{V_S D_{max}}{2 \times \Delta I_L f_{SW}} \tag{5}$$

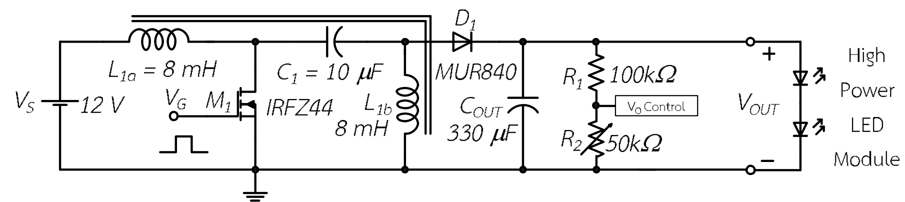
$$L_{1a} = L_{1b} \geq \frac{12V \times 0.63}{2 \times 0.01A \times 50kHz} = 7.56mH$$

และค่าคาปาซิแตนซ์มีค่าเท่ากับ

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{OUT} D}{\Delta V_C \times 0.5 \times f_{sw}} \tag{6}$$

$$C_{OUT} \geq \frac{1A \times 0.63}{0.2 \times 0.5 \times 50kHz} = 126\mu F$$

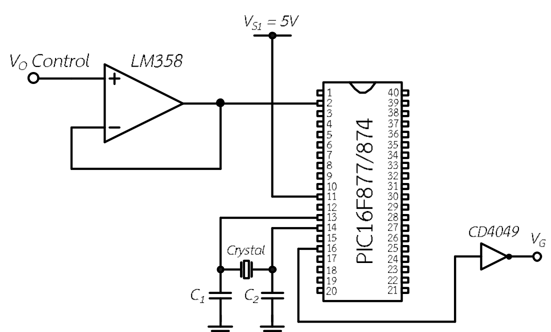
โดยที่ I_{OUT} คือกระแสที่ไหลผ่านแอลอีดีสูงสุด ΔI_L คือค่าริปเปิลของกระแสเอาต์พุต และ ΔV_C คือค่าริปเปิลของแรงดันเอาต์พุตของวงจรขับชุดหลอด high power LED ดังนั้น เราเลือกค่า $L_{1a} = L_{1b} = 8\ mH$ และ $C_{OUT} = 330\ \mu F$



รูปที่ 3 วงจรขับหลอด high power LED

3.2 ไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F877

รูปที่ 4 แสดงวงจรควบคุมวงจรขับหลอดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 16F877A ซึ่งทำหน้าที่สร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมวงจร SEPIC Converter ที่ทำหน้าที่ขับชุดหลอด High power LED สัญญาณ PWM ที่ถูกสร้างขึ้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC มีความถี่ 50 kHz และขณะที่แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ 20 V จะมีดิวตี้ไซเคิ้ลเท่ากับ 0.63 (63%) การควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรขับชุดหลอด high power LED ได้กำหนดให้แรงดันอ้างอิง $V_{REF} = 2.5\ V$ เพื่อเปรียบเทียบแรงดันป้อนกลับที่ถูกแบ่งแรงดันเอาต์พุต (V_O *Control*) ของวงจรขับหลอด การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อแรงดันป้อนกลับน้อยกว่าแรงดันอ้างอิง ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ทำการจ่ายสัญญาณ PWM ให้มีดิวตี้ไซเคิ้ลสูงขึ้น และเมื่อแรงดันป้อนกลับมากกว่าแรงดันอ้างอิง ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ทำการจ่ายสัญญาณ PWM ให้มีดิวตี้ไซเคิ้ลลดลง

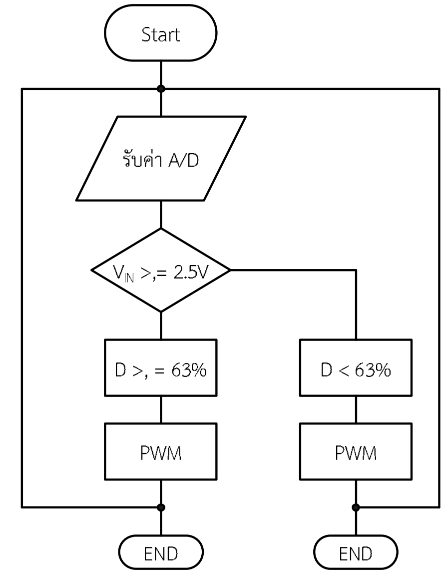


รูปที่ 4 วงจรควบคุมวงจรขับหลอดด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ PIC

3.3 โฟร์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

รูปที่ 5 แสดงโฟร์ชาร์ตทำหน้าที่แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่เขียนให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ทำงานตามเงื่อนไขที่ได้ถูกออกแบบไว้สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้ กล่าวคือ เมื่อเปิดไฟเพื่อให้วงจรทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับแรงดัน V_O Control แปลงแรงดันอนาล็อกเป็นดิจิตอล แล้วนำไปคำนวณดิวตี้ไซเคิ้ลเพื่อสร้าง

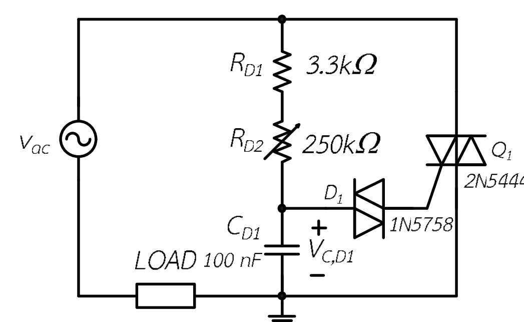
สัญญาณ PWM ให้มีค่าดิวตี้ไซเคิ้ลตรงตามเงื่อนไขดังนี้ เมื่อแรงดันอินพุตมากกว่า 2.5 V ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ลดดิวตี้ไซเคิ้ลและเมื่อแรงดันอินพุตน้อยกว่า 2.5 V ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มดิวตี้ไซเคิ้ลมากขึ้น แล้วกลับไปรับค่า V_O Control เพื่อควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้คงที่



รูปที่ 5 โฟร์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

3.4 วงจรปรับความสว่าง

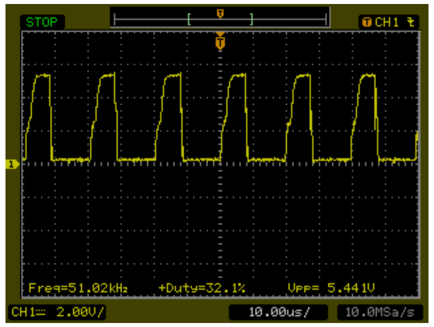
รูปที่ 6 แสดงปรับความสว่างของชุดหลอด high power LED โดยใช้อุปกรณ์ไดแอกและไตรแอค ตัวต้านทานคงที่ R_{D1} ทำหน้าที่จำกัดกระแสให้กับตัวเก็บประจุ C_{D1} และตัวต้านทานปรับค่า R_{D2} ทำหน้าที่ปรับค่าแรงดัน $V_{C,D1}$ ซึ่งเป็นการหน่วงแรงดันที่ส่งไปให้กับไดแอก การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ กล่าวคือ เมื่อปรับค่าความต้านทาน R_{D2} เพิ่มมากขึ้น แรงดัน $V_{C,D1}$ มีค่าลดลง ซึ่งเป็นการหน่วงแรงดันที่จ่ายให้ไดแอกนำกระแสช้าลง ส่งผลให้กระแสที่ใช้กระตุ้นขา G ของไตรแอคไหลช้าลง ทำให้ไตรแอคนำกระแสช้าลง ส่งผลให้มีกระแสไหลผ่านโหลดลดลง ในทางกลับกัน เมื่อปรับค่าความต้านทาน R_{D2} ลดลง แรงดัน $V_{C,D1}$ มีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการหน่วงแรงดันที่จ่ายให้ไดแอกลดลง ส่งผลให้ไดแอกนำกระแสเร็วขึ้น กระแสที่ไหลผ่านไดแอกไปกระตุ้นขา G ของไตรแอค ทำให้ไตรแอคนำกระแส ส่งผลให้มีกระแสไหลผ่านโหลดมากขึ้น ดังนั้น กระแสที่ไหลผ่านโหลดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน R_{D2}



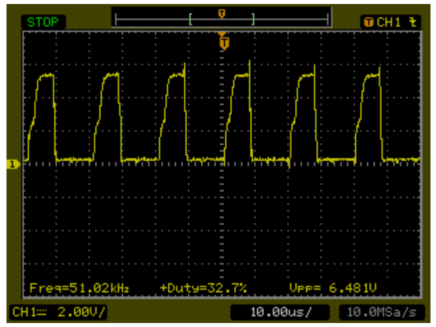
รูปที่ 6 วงจรปรับความสว่าง

4. ผลการทดลองและผลการทดลอง

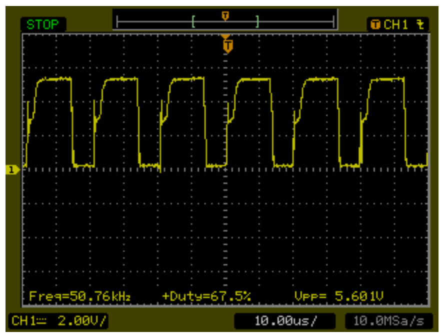
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองปรับสัญญาณ PWM ความถี่ 50 kHz ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ด้วยการปรับแรงดันที่ถูกแบ่งมาจากเอาต์พุตของวงจรขับหลอดมีค่าเท่ากับ 0 – 5 V ซึ่งผลการทดลองได้แสดงในรูปที่ 7 ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC สามารถกำเนิดสัญญาณ PWM ที่มีดิวตี้ไซเคิ้ลในช่วง 32.1 – 71.1%



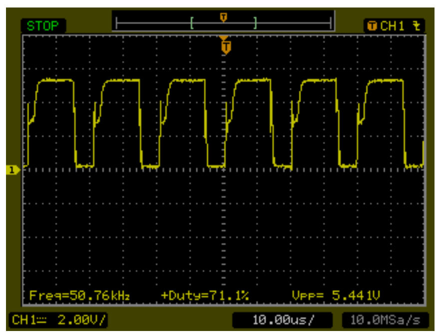
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

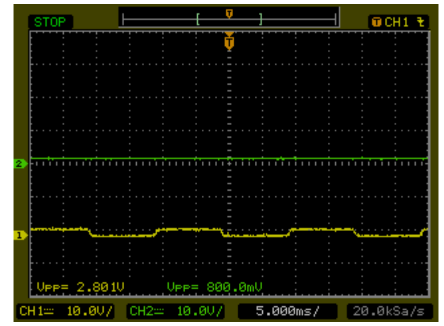
รูปที่ 7 สัญญาณ PWM ที่ความถี่ 50 kHz (ก) Duty cycle 32.1% (ข) Duty cycle 32.7% (ค) Duty cycle 67.5% และ (ง) Duty cycle 71.1%

ตารางที่ 4 ผลการทดลองปรับแรงดันเพื่อปรับความสว่าง

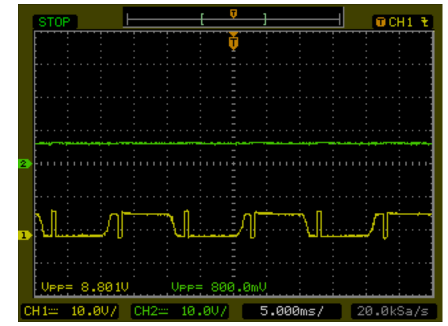
V_{ac}	$V_{in,ac}$	V_{OUT}	I_{out}
0 V_{rms}	0 V_{rms}	0 V	0 mA
50 V_{rms}	1 V_{rms}	16.4 V	15 mA
110 V_{rms}	2.2 V_{rms}	17.6 V	124 mA
160 V_{rms}	5.6 V_{rms}	18.6 V	270 mA
220 V_{rms}	11.5 V_{rms}	19.5 V	615 mA

การลองวงจร SEPIC converter ที่ทำหน้าขับชุดหลอด high power LED โมดูลด้วยการต่อวงจรดไมโครคอนโทรลเลอร์และต่อชุดหลอด high power LED โมดูล และทำการจ่ายแรงดันอินพุตเพื่อพิสูจน์การทำงานของวงจรขับชุดหลอดที่ได้ออกแบบ จากผลการทำลองพบว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรขับ high power LED มีค่าเท่ากับ *19.5 V* และกระแสเอาต์พุตของวงจรมีค่าเท่ากับ

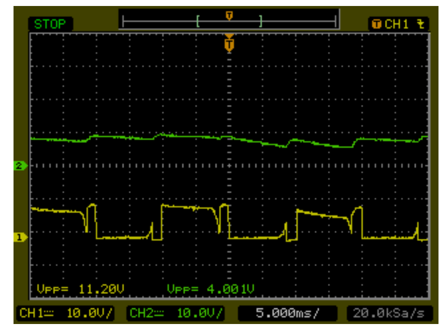
610 mA ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองปรับแรงดันเพื่อปรับความสว่าง ด้วยการปรับค่าความต้านทาน RD2 เพื่อหน่วงเวลาในการทำให้ไตรแอคนำกระแส จากผลการทดลองพบว่าแรงดันอินพุตสามารถปรับได้ตั้งแต่ *0 – 220* V_{rms} แรงดันเอาต์พุตสามารถปรับได้ตั้งแต่ *0 – 19.5 V* และกระแสเอาต์พุตสามารถปรับได้ตั้งแต่ *0 – 615 mA*



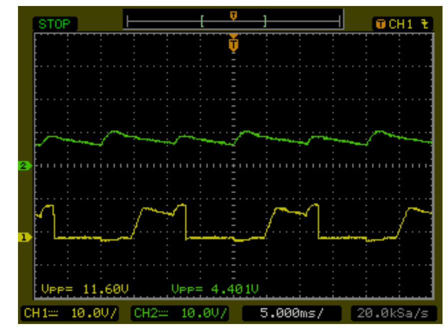
(ก)



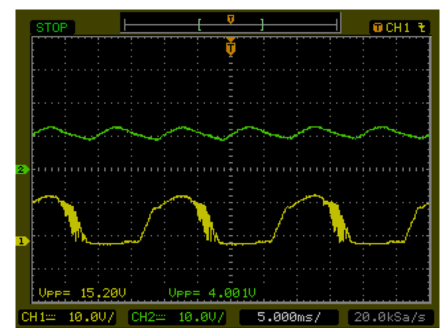
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 8 ผลการทดลองปรับแรงดันเอซี (ก) v_{ac} = 0 V_{rms}, (ข) v_{ac} = 50 V_{rms}, (ค) v_{ac} = 110 V_{rms}, (ง) v_{ac} = 160 V_{rms} และ (จ) v_{ac} = 220 V_{rms}

รูปที่ 8 ผลการทดลองปรับแรงดันเอซี ซึ่งสามารถปรับได้ตั้งแต่ *0 – 220* V_{rms} รูปที่ 9 แสดงชุดไฟฟ้าส่องสว่างที่อยู่ในขณะทำการทดลองชุดไฟฟ้าส่องสว่างนี้ประกอบไปด้วยวงจรขับชุดหลอด, วงจรควบคุม และชุดหลอด high power LED โมดูล ซึ่งมี 2 หลอด โดยหลอดทั้งหมดอยู่บนแผ่นปริ้นและติดอยู่บนแผ่นระบายความร้อนเพื่อป้องกันความเสียหายของหลอด high power LED โมดูล อันเนื่องมากจากความร้อนที่เกิดขณะหลอด high power LED โมดูล ทำงาน

(ก) (ข)

รูปที่ 9 (ก) ชุดไฟฟ้าส่องสว่างที่ปรับความสว่างได้ (ข) ชุดหลอด High power LED

รูปที่ 10 การทดลองวัดความเข้มของแสง

รูปที่ 10 แสดงการทดลองวัดความเข้มของแสง ซึ่งในการทดลองความสว่างของชุดหลอดที่ความสูง 3 เมตร ให้ความสว่างได้ *1,076 Lux* และสามารถให้ความสว่างได้พื้นที่ 12 ตารางเมตร และสามารถปรับความสว่างได้เท่ากับ 0 – 1,076 lm ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบความสว่างชุดหลอด High power LED ขนาด 20 W กับหลอดคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์ TOSHIBA ขนาด 5 W 50 Lm/w ความสว่างทั้งหมด 250 Lm ซึ่งแสดงใน

ตารางที่ 3 ผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบความสว่างของหลอด High power LED กับหลอดคอมแพ็คฟลูออเรสเซนต์

แรงดัน AC	ความเข้มแสง	
	High power LED 20 W	Compact fluorescent 5 W
0	0 Lm	-
50 V_{rms}	295.9 Lm	-
110 V_{rms}	564.9 Lm	-
160 V_{rms}	753.2 Lm	-
220 V_{rms}	1,076 Lm	250 Lm

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

5. บทสรุป

บทความนี้เป็นการนำเสนอวงจรขับชุด high power LED และสามารถปรับความสว่างได้ ซึ่งวงจรขับชุดหลอดได้ใช้วงจร SEPIC Converter และใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ PIC 16F877A ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรขับชุดหลอดให้คงที่ การปรับสว่างด้วยวงจรไตแอค จากผลที่ได้ทำการทดลองพบว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรมีค่าเท่ากับ *19.5 V*, กระแสเอาต์พุตมีค่าเท่ากับ *650 mA* และวงจรสามารถปรับความสว่างได้ตั้งแต่ *0–1,076 Lux* (ความสูง 3 เมตร)

6. กิติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการอุดมศึกษา สนับสนุนทุนวิจัยโครงการทุนวิจัย SPII ประจำปี 2554

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน "บทที่ 3 การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง" http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Fac/Fac_7.pdf

[2] Y. K. Cheng and K. W. E. Cheng, "General Study for using LED to replace traditional lighting devices", International Power Electronic systems and applications, pp. 173-177, 2006.

[3] High power LED 10W, Warm white Specification, http://www.hanhualed.com.cn/product/529976349-209875758/10w_warm_white_high_power_led_diode.html

[4] Wei Gu and Dongbing Zhang, "Designing SEPIC Converter," National Semiconductor Application note 1484, 2009.

[5] Jeff Falin, "Design DC/DC Converters Based on SEPIC topology". http://focus.ti.com/lit/an/slyt309/slyt309.pdf.

[6] Zhongming Ye, Fred Greenfeld and Zhixing Liang, "A Topology Study of Single-Phase Offline AC/DC Converters for High Brightness White LED Lighting with Power Factor Pre-regulation and Brightness Dimmable" *34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics,* IECON 2008, pp.1994 - 2000, 10-13 Nov 2008.

[7] Zhongming Ye, Fred Greenfeld and Zhixing Liang, "Offline SEPIC Converter to Drive the High Brightness White LED for Lighting Applications" *34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics,* IECON 2008, pp.1961 - 1967, 10-13 Nov 2008.

[8] Zhongming Ye, Fred Greenfeld and Zhixing Liang, "Design Considerations of a High Power Factor SEPIC Converter for High Brightness White LED for Lighting Applications" *IEEE Power Electronics Specialists Conference, PESC 2008,* pp. 2657 - 2663, 15-19 June 2008.

[9] M. Ali, M. Orabi, M. E. Ahmed and A. El-Aroudi, "Design Considerations of Modified SEPIC Converter for LED Lamp Driver" *IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems,* pp. 394 - 399, 2010.

[10] สันติชัย หงษ์เวียงจันทร์, ธวัชชัย ทองเหลี่ยม และ สัญญา ควรคิด, "วงจรขับชุดหลอด High Power LED ด้วยวงจร SEPIC Converter และ ปรับความสว่างได้ที่มีขนาดเล็กและราคาถูก", การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 3 (ECTI-CARD 2011), 5-6 พฤษภาคม 2554,

การนำเสนอผลงานแบบบรรยาย

กลุ่มวิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ (CE)

อาจารย์เจษฎา ปริตาโพธิ์

การพัฒนาวิธีการแก้ไขปัญหาอุทกภัยในประเทศไทย
Development of Methodology in Solving Flood Disaster in Thailand

ศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ติงสัญชลี

โปรแกรมวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
tawatch_t@hotmail.com

บทคัดย่อ

อุทกภัยเป็นภัยที่เกิดจากน้ำท่วมซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเช่นในปี พ.ศ. 2554 ภาคกลางและภาคเหนือรวมทั้งกรุงเทพมหานครประสบความเสียหายถึง 1.43 ล้านล้านบาทและมีผู้เสียชีวิตถึง 813 คน อุทกภัยเกิดจากสาเหตุทางธรรมชาติเช่นฝนตกหนักและจากการกระทำของมนุษย์เช่นการบริหารอ่างเก็บน้ำที่ไม่ถูกต้อง การปลูกสิ่งก่อสร้างขวางทางน้ำ การตัดไม้ทำลายป่า การใช้ที่ดินไม่ถูกต้อง การแก้ปัญหาอุทกภัยทำได้โดยการบริหารจัดการอุทกภัยที่ดี โดยใช้ มาตรการใช้สิ่งก่อสร้างและมาตรการไม่ใช้สิ่งก่อสร้าง มาตรการใช้สิ่งก่อสร้างได้แก่การสร้างเขื่อน พนังกันน้ำทางระบายน้ำ สถานีสูบน้ำ แก้มลิง เป็นต้น มาตรการไม่ใช้สิ่งก่อสร้างได้แก่การพยากรณ์เตือนภัยน้ำท่วม การจัดระบบองค์กรที่มีอำนาจสั่งการเบ็ดเสร็จ (Single command) การฝึกอบรมและจัดหาอุปกรณ์ป้องกันน้ำท่วม ในปี พ.ศ. 2555 รัฐบาลได้อนุมัติงบประมาณ 350,000 ล้านบาทในการป้องกันบรรเทาอุทกภัยและได้มีการดำเนินการไปบางส่วนแล้ว คาดว่าเมื่อโครงการเสร็จสมบูรณ์จะสามารถลดความเสียหายจากอุทกภัยได้เป็นจำนวนมาก

คำสำคัญ: อุทกภัย, ประเทศไทย, สาเหตุ, การบริหารจัดการ, การแก้ไขปัญหาน้ำท่วม

Abstract

Flood disasters cause damages to life and properties. The catastrophic flood in 2011 in north and central Thailand including Bangkok resulted in a damage of US dollars 47,600 million and death toll of 813 people. Floods occur due to natural causes such as heavy rainfall etc and human factors such as improper reservoir operation, blocking of drainage channels, deforestation, improper land use etc. Solving flood disasters should be done by integrated flood management, using structural and non-structural measures. Structural measures include construction of dams, levees, flood drainage channels, pumping stations and flood retention reservoirs, etc. Non-structural measures include flood forecasting and warning, single command institutional arrangement, training education, and logistic supply. In 2012, the Thai government has approved a budget of US dollars 11,700 million for flood control and mitigation work in which some work is now in progress. It is expected that the work when complete will reduce flood damages significantly.

Keywords: Flood disaster, Thailand, Causes, Flood management, Solving flood problems.

1. บทนำ

ปัญหาการจัดการภัยธรรมชาติและอุทกภัยในประเทศไทยยังต้องมีการปรับปรุงแก้ไขการจัดการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผล ในการป้องกันและลดความเสียหายโดยการจัดการอุทกภัยแบบบูรณาการ [1] [2] [3] บทความนี้ครอบคลุมเนื้อเรื่องและขอบเขตอันได้แก่สาเหตุของการเกิดอุทกภัยในประเทศไทย ตัวอย่างเช่นมหาอุทกภัยปีพ.ศ.2554ซึ่งมีผลกระทบต่อ กรุงเทพมหานคร ภาคกลาง และภาคเหนือของประเทศไทย ทำให้เกิดความเสียหายจากมหาอุทกภัยในลุ่มเจ้าพระยาเป็นจำนวนมาก แนวทางในการบริหารจัดการอุทกภัย รวมถึงมาตรการป้องกันบรรเทาอุทกภัยโดยใช้สิ่งก่อสร้างและไม่ใช้สิ่งก่อสร้าง โครงสร้างการบริหารจัดการอุทกภัย และทางเลือกใหม่ของกรอบแนวคิดการจัดตั้งและพัฒนาองค์กรที่มีอำนาจสั่งการสูงสุด (single command) เกณฑ์การจัดระดับความรุนแรงและความเสี่ยงของอุทกภัยตลอดจนหน่วยงานที่รับผิดชอบ การวิเคราะห์วิจารณ์การจัดการอุทกภัย สรุปและข้อเสนอแนะ

2. ปัญหาการจัดการภัยธรรมชาติในประเทศไทย

ปัญหาการจัดการอุทกภัยและภัยธรรมชาติ ในประเทศไทยมีสาเหตุมาจาก ขาดแผนหลักการจัดการภัยธรรมชาติที่สมบูรณ์แบบ ขาดหน่วยงานเอกเทศที่รับผิดชอบโดยตรงในการจัดการภัยธรรมชาติ นโยบายและวิธีการที่ได้มาตรฐานในการจัดการภัยธรรมชาติยังไม่สมบูรณ์ การจัดการภัยธรรมชาติโดยหลายหน่วยงานซ้ำซ้อนและขัดแย้ง ขาดฐานข้อมูลและระบบสารสนเทศภัยธรรมชาติที่เพรียบพร้อม ระบบโครงสร้างพื้นฐานการป้องกันภัยธรรมชาติไม่เพียงพอ

3. ประเภทและสาเหตุของการเกิดอุทกภัย

ประเภทของการเกิดอุทกภัยน้ำท่วมได้แก่
1.น้ำท่วมฉับพลันซึ่งเกิดในที่ลาดชัน
2.น้ำท่วมหลากล้นตลิ่งซึ่งระดับน้ำขึ้นลงไม่รวดเร็ว
3.น้ำท่วมแช่ขังซึ่งเกิดในบริเวณแอ่งหรือที่ราบลุ่ม

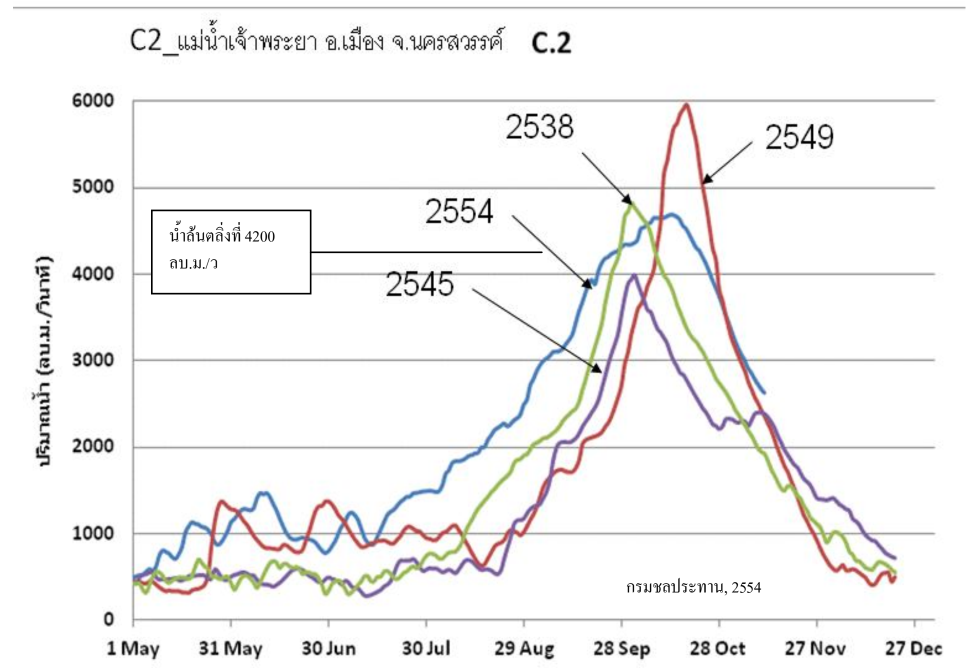
สาเหตุของการเกิดอุทกภัยเกิดจากสาเหตุทางธรรมชาติและสาเหตุจากมนุษย์ หรือทั้งสองอย่างร่วมกัน ดังมีรายละเอียดดังนี้
สาเหตุจากธรรมชาติ

ปรากฏการณ์เรือนกระจก(Greenhouse Effect) เป็นสาเหตุเกิดการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ (Climate Change) ทำให้โลกร้อนขึ้นและอุณหภูมิผิวน้ำในมหาสมุทรเพิ่มขึ้นมีการระเหยมากขึ้นและทำให้มีการแปรเปลี่ยนทิศทางกระแสน้ำอุ่นในมหาสมุทร ได้แก่ El Nino and La Nina (เรียกรวมกันว่า Southern Oscillation, or ENSO) [4] เป็นปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงของกระแสน้ำอุ่นที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรแปซิฟิกในเขตร้อนตามแนวเส้นศูนย์สูตรประมาณทุกๆ 5 ปีเป็นระยะเวลา ประมาณ 18 เดือน ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณภูมิของผิวน้ำทางด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิก เช่นประเทศเปรูและทางด้านตะวันตกเช่นบริเวณประเทศฟิลิปปินส์และประเทศไทย โดยที่กระแสน้ำอุ่น La Nina ไหลมาจากด้านตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกจะมาสะสมทางด้านตะวันตกของมหาสมุทรเมืผลทำให้มีอุณภูมิของผิวน้ำและความชื้นที่ผิวมหาสมุทรเพิ่มขึ้นเช่นบริเวณประเทศไทยทำให้เกิดฝนตกหนักและอุทกภัย ส่วนกระแสน้ำ El Niño ไหลกลับทิศทางกับ La Nina โดยจะไหลจากบริเวณประเทศไทยและประเทศฟิลิปปินส์ไปทางตะวันออกมีผลทำให้อุณภูมิของผิวน้ำและความชื้นที่ผิวมหาสมุทรของอ่าวไทยลดลงทำให้เกิดฝนตกน้อยและภัยแล้งในประเทศไทยและประเทศใกล้เคียงซึ่งส่วนใหญ่เป็นประเทศที่กำลังพัฒนามีเศรษกิจขึ้นกับการเกษตรและการประมงตามชายฝั่ง ผลที่เกิดตามของ La Nina และ El Nino ทางอุตุ-อุทกวิทยา ทำให้เกิดการเพิ่มความรุนแรงและความถี่ของพายุใต้ฝุ่น ฝนตกหนัก น้ำท่วม การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล ภัยแล้ง ไฟป่า หมอกควัน เป็นต้น
นอกจากนี้ยังมีสาเหตุทางธรรมชาติอื่นที่ทำให้เกิดอุทกภัย เช่น ฝนตกหนักเนื่องจากลมมรสุมและอิทธิพลของสมุทรศาสตร์ เช่น น้ำทะเลหนุนสูง การขวางกั้นลำน้ำ เนื่องจากการพัดพาตะกอนขอนไม้หรือการถล่มของไหล่เขา ทางระบายน้ำตื้นเขิน แผ่นดินทรุดและอื่นๆ

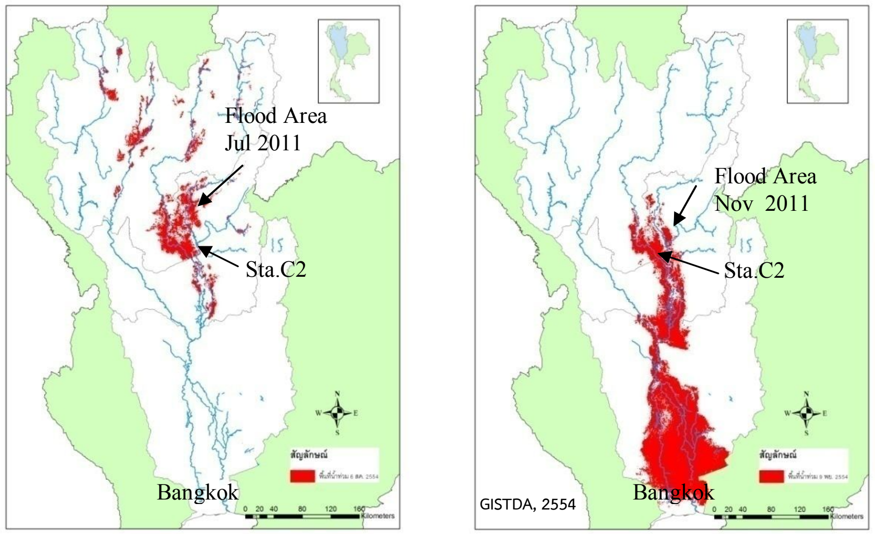
สาเหตุจากมนุษย์
การออกแบบอาคารป้องกันน้ำท่วมอย่างไม่ถูกต้อง จำนวนและขนาดโครงสร้างการบังคับน้ำไม่เพียงพอ การปฏิบัติการควบคุมการทำงานของอาคารป้องกันน้ำท่วมไม่ถูกต้อง การสร้างสิ่งกีดขวางทางระบายน้ำ การขาดการบำรุงรักษาและการวางแผนป้องกันล่วงหน้า แผ่นดินทรุดเนื่องจากการสูบน้ำบาดาลมากเกินไป การทำลายป่าไม้และการใช้ดินอย่างไม่ถูกต้อง และอื่นๆ

4. สาเหตุและความเสียหายของมหาอุทกภัยปีพ.ศ.2554 ในภาคเหนือ ภาคกลาง และกรุงเทพมหานคร

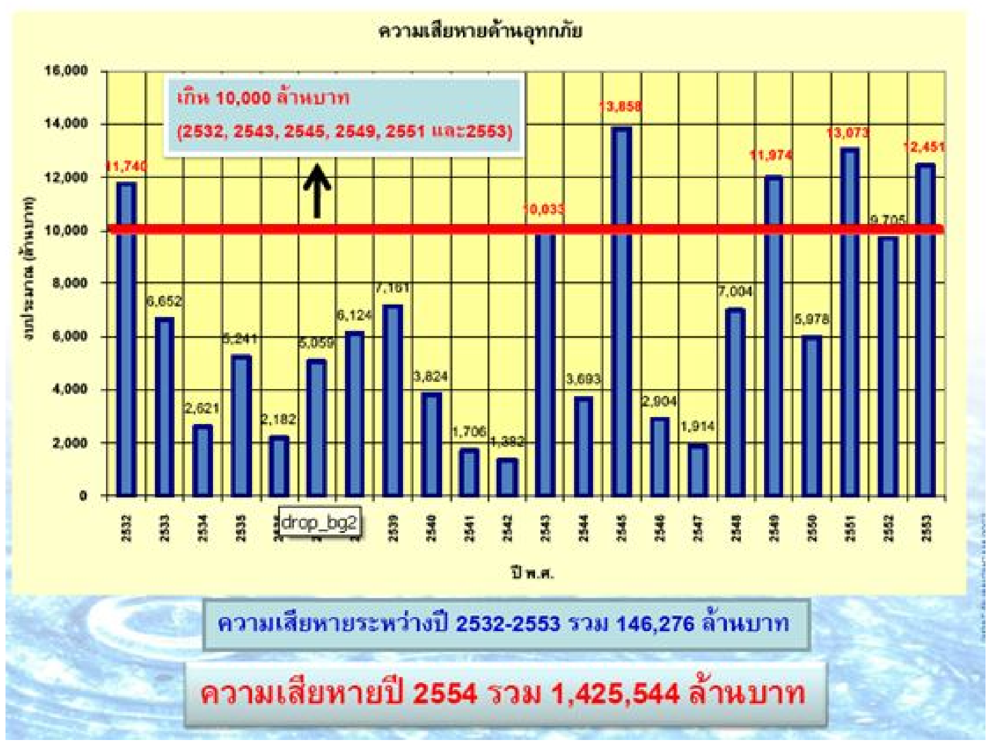
ในปีพ.ศ. 2554 เกิดฝนตกหนักในลุ่มน้ำเจ้าพระยาและลุ่มน้ำสาขามากกว่าค่าเฉลี่ย 42 % ปริมาณน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาสูงมากและเกิดน้ำล้นฝั่งเป็นพื้นที่กว้าง (ภาพที่1และ 2) มีการพังทลายของคันกันน้ำเนื่องจากความสูงของน้ำ และระยะเวลาท่วมขัง มีระยะเวลา**น้ำท่วม** ประมาณ183 วัน ขนาดและจำนวนของคลองและทางระบายน้ำท่วมไม่เพียงพอ หรืออุดตัน การทรุดตัวของพื้นดินประมาณ 4- 5 ซม. ต่อปีในชานเมืองด้านตะวันออกของ กรุงเทพมหานครและปริมณฑลเนื่องจากการสูบน้ำบาดาล ระดับน้ำทะเลขึ้นสูงสุดที่ สะพานพระพุทธยอดฟ้าฯทำลายสถิติสูงถึง 2.65 ม รทก (เทียบกับสถิติเดิม 2.3 ม รทก) ใน 30 ปีที่ผ่านมา พื้นที่สีเขียวในกรุงเทพมหานครลดลงครึ่งหนึ่ง จาก 40% เป็น 20% ของบริเวณตัวเมืองทำให้การดูดซึมน้ำฝนน้ำท่าน้อยลง ความเสียหายจากมหาอุทกภัยในลุ่มเจ้าพระยาปี 2554 ได้แก่ความเสียหายในทรัพย์สินทางด้านอุตสาหกรรม การเกษตรและอื่น รวม 1.43 ล้านล้านบาท (ภาพที่ 3) มีผู้เสียชีวิต 813 คน ผู้ได้รับผลกระทบ ประมาณ 12.8 ล้านคน พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบครอบคลุม 22 จังหวัดในภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง [5] [6]



ภาพที่ 1: ปริมาณการไหลของน้ำที่สถานี C2 แม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัด นครสวรรค์



ภาพที่ 2: พื้นที่น้ำท่วมในลุ่มน้ำเจ้าพระยาในภาคเหนือและภาคกลางในเดือนกรกฎาคมและพฤศจิกายน 2554



ภาพที่ 3: ความเสียหายจากอุทกภัยของประเทศไทยในปีต่างๆระหว่าง พ.ศ. 2532 – 2553 [5]

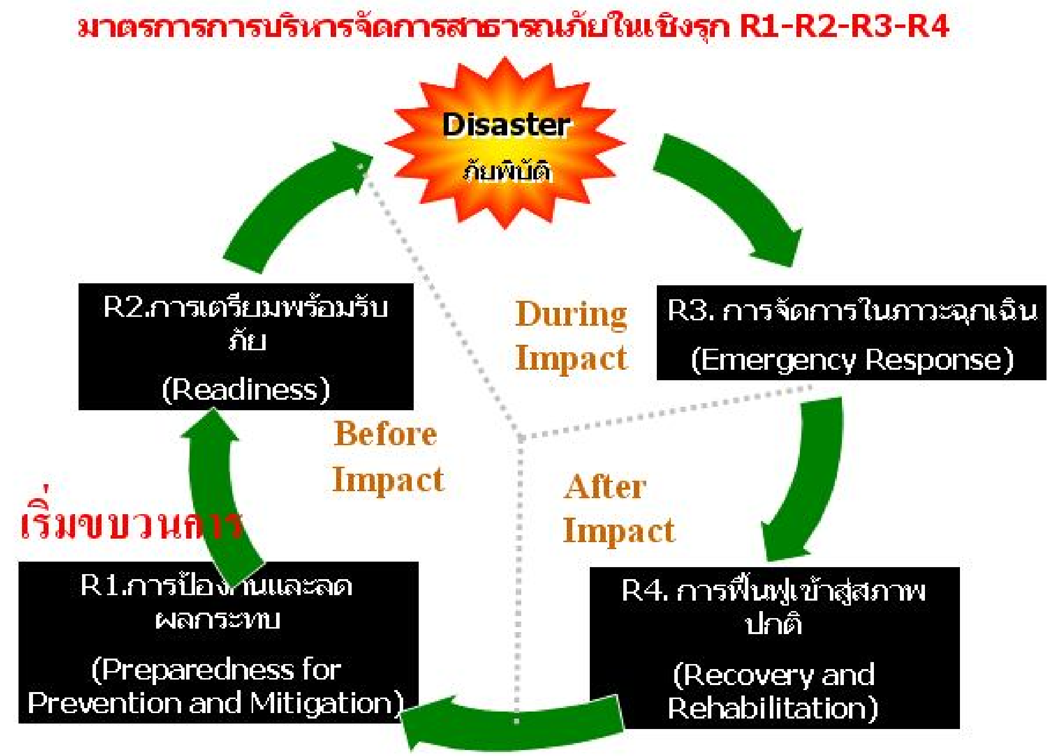
5. การบริหารจัดการอุทกภัยในเชิงรุกและตั้งรับแบบบูรณาการ

ในประเทศที่กำลังพัฒนาส่วนใหญ่การจัดการป้องกันภัยธรรมชาติเป็นแบบการตั้งรับ (reactive) ในการดำเนินการช่วยเหลือฉุกเฉิน การตอบรับแก้ไขฟื้นฟูสถานะการณ์หลังประสบภัย การจัดการภัยธรรมชาติควรเปลี่ยนเป็นแบบเชิงรุก**แบบบูรณาการ** (proactive) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผล ซึ่งควรให้มีการวางแผนเตรียมพร้อมล่วงหน้าอย่างดี มีการร่วมมือทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และประชาชนที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสถานะการณ์ [7] **การบริหารจัดการอุทกภัยแบบบูรณาการ** แสดงในภาพที่ 4

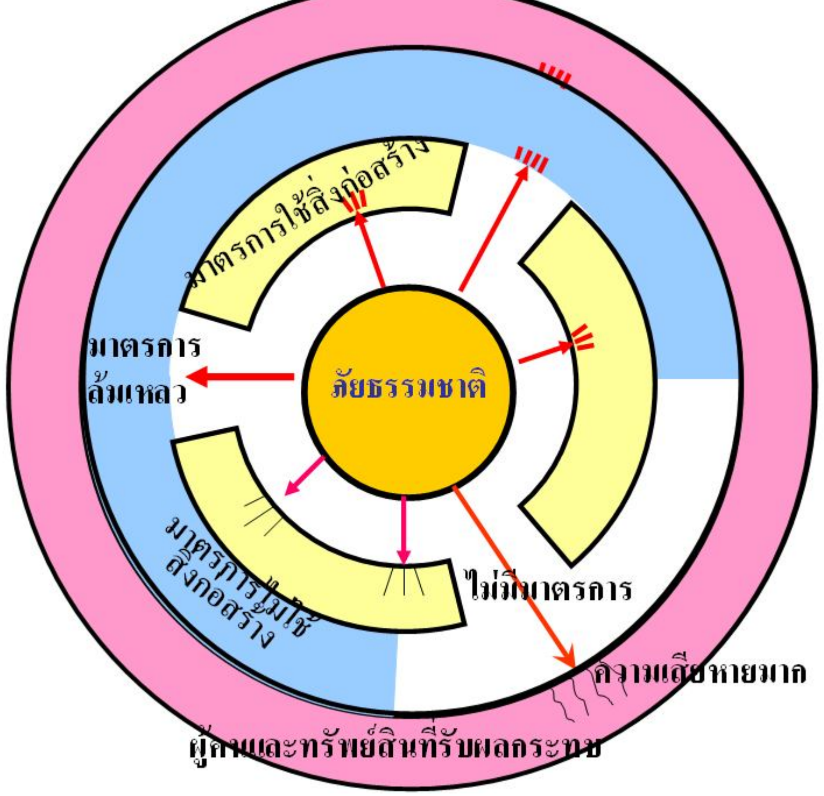
-การเตรียมพร้อมรับภัย (Disaster preparedness and readiness) เช่น การให้การศึกษา อบรม แนะนำ เกี่ยวกับสาเหตุความรุนแรงและความเสียหายที่เกิดขึ้นเพื่อสร้างจิตสำนึกให้กับประชาชนในพื้นที่ การจัดการด้านงานเอกสารและรูปแบบการประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และการเตรียมความพร้อมรับภัยของทีมงานและโครงข่ายการประสานงาน

-การจัดการและปฏิบัติการในภาวะฉุกเฉิน (Emergency response) การวางแผนการกู้ภัยร่วมกับหน่วยงานอื่น ๆ การจัดทีมงานกู้ภัย ทีมอาสาสมัครกู้ภัย การดูแลผู้ประสบภัย และการอพยพผู้ประสบภัย ผู้คนในบริเวณเสี่ยงภัยต้องหนีหรือขนย้ายให้รวดเร็วที่สุด อพยพหนีขึ้นที่สูง อย่าขับรถฝ่าน้ำป่าที่ไหลเชี่ยวให้ทิ้งรถและปีนขึ้นที่สูง

-การจัดการและปฏิบัติการหลังการเกิดภัย (Disaster recovery) การย้ายชุมชนออกจากพื้นที่เสี่ยงภัย การฟื้นฟูสาธารณูปโภคที่เสียหาย และการฟื้นฟูสภาพจิตใจและความเป็นอยู่ผู้ประสบภัย และการเยียวยา



ภาพที่ 4: การบริหารจัดการอุทกภัยในเชิงรุกและตั้งรับแบบบูรณาการ



ภาพที่ 5: มาตรการการป้องกันและลดความเสียหายเนื่องจากอุทกภัยแบบบูรณาการ

6. มาตรการการแก้ปัญหาอุทกภัยเพื่อลดความเสียหาย

การแก้ปัญหาอุทกภัยมีสองมาตรการ (ภาพที่ 5) คือ มาตรการการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีก่อสร้าง เช่น การสร้างเขื่อนอ่างเก็บน้ำ การสร้างทำนบป้องกันน้ำท่วม และประตูกั้นน้ำทะเล การขุดลอกทางระบายน้ำ การสร้างคันกั้นน้ำรูปวงแหวน (Polder) และแก้มลิง เป็นต้น และ มาตรการการแก้ไขปัญหาโดยไม่ใช้วิธีการก่อสร้าง เช่น การพยากรณ์และเตือนภัยน้ำท่วม การร่วมมือในการรักษาความสะอาดและขุดลอกทางระบายน้ำ การกักเก็บน้ำฝนไว้ชั่วคราว ในขณะฝนตกหนักในบริเวณบ้าน การวางแผนและควบคุมการใช้ที่ดินและการรักษาป่าไม้ให้ถูกต้อง การจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยและจัดลำดับความเสี่ยงต่อภัยพิบัติของพื้นที่ เป็นต้น [1] [8] [9]

7. แนวทางการบริหารจัดการอุทกภัยในลุ่มน้ำเจ้าพระยา

คณะกรรมการยุทธศาสตร์ได้วางระบบบริหารจัดการน้ำแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและอุทกภัย (ภาพที่ 6) ทั้งระยะเร่งด่วนและระยะยาว แผนยุทธศาสตร์ 8แผนปีพ.ศ.2554มีงบประมาณดำเนินการ 350,000 ล้านบาท [5] ประกอบด้วย

7.1 แผนงานฟื้นฟูและอนุรักษ์ป่าและระบบนิเวศน์ โดยเป็นการฟื้นฟูป่าต้นน้ำ เพื่อดูดซับและชะลอน้ำ รวมถึงพัฒนาแหล่งกักเก็บน้ำเพิ่มเติมตามศักยภาพพื้นที่ พัฒนาแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินให้สอดคล้องกับสภาพภูมิสังคม อาทิ การจัดทำโครงการอนุรักษ์ดินและน้ำ การส่งเสริมให้มีการปลูกป่าเศรษฐกิจ และจัดทำป่าชุมชน นอกจากนี้ยังจะมีการยกร่างกฎหมายที่เกี่ยวข้องอีกด้วย

7.2 แผนงานการบริหารจัดการเขื่อนเก็บน้ำหลัก และจัดทำแผนบริหารจัดการน้ำของประเทศประจำปี เพื่อให้สามารถป้องกันและบรรเทาปัญหาอุทกภัยที่จะเกิดขึ้นในแต่ละปีได้ โดยจะพัฒนาแผนการบริหารจัดการน้ำในเขื่อนที่สำคัญ จัดทำแผนการบริหารน้ำในกรณีต่างๆ (Scenario) และนำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้องสู่สาธารณชน

7.3 แผนงานฟื้นฟูและปรับปรุงประสิทธิภาพสิ่งก่อสร้างเดิมหรือตามแผนที่วางไว้ เพื่อป้องกันและบรรเทาปัญหาน้ำท่วม ทั้งการปรับปรุงคันกั้นน้ำ ขุดคลอง การดำเนินการตามแนวพระราชดำริ การเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำและบริหารจัดการน้ำหลากในพื้นที่เฉพาะ

7.4 แผนงานพัฒนาคลังข้อมูล ระบบพยากรณ์ และเตือนภัย เพื่อให้มีข้อมูลที่จำเป็นในการบริหารจัดการน้ำ และมีแบบจำลองเตือนภัยที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงมีองค์กรในการเตือนภัยที่มีเอกภาพ ซึ่งมีแนวทางการดำเนินการ โดยการจัดตั้งศูนย์คลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ

7.5 แผนงานเผชิญเหตุเฉพาะที่ โดยเฉพาะระบบป้องกันบรรเทาอุทกภัยในพื้นที่ที่มีความสำคัญ โดยมีแนวทาง อาทิ การจัดเตรียมแผนคมนาคมเมื่อเกิดอุทกภัย การแก้ไขน้ำเน่าเสียจากน้ำท่วมขัง และจัดทำแผนช่วยเหลือฟื้นฟูผู้ได้รับผลกระทบ

7.6 แผนงานกำหนดพื้นที่รองรับน้ำนองในเขตลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนและตอนล่าง รวมถึงการกำหนดมาตรการชดเชยความเสียหายเป็นกรณีพิเศษสำหรับพื้นที่ที่ถูกกำหนดเป็นพื้นที่รับน้ำ

7.7 แผนงานปรับปรุงองค์กรเพื่อบริหารจัดการน้ำ ให้มีองค์กรบริหารจัดการแบบบูรณาการ ที่สามารถตัดสินใจได้อย่างฉับพลันในยามวิกฤติ ในลักษณะ Single command

7.8 แผนงานสร้างความเข้าใจ การยอมรับและการมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการอุทกภัยขนาดใหญ่ของทุกภาคส่วนเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการต่อต้านการดำเนินงานของภาครัฐในการแก้ปัญหาอุทกภัยในภาพรวม

8. โครงสร้างการบริหารจัดการอุทกภัยและการพัฒนาองค์กร

โครงสร้างบริหารจัดการน้ำและอุทกภัย (ภาพที่ 7) มีคณะกรรมการ หลายหน่วยงานปฏิบัติหลายหน่วยงานทำงานประสานกันแต่ยังขาดการให้ความสำคัญต่อองค์กรภาคเอกชน/องค์กรอิสระ เน้นการปฏิบัติการเชิงรุก (Proactive) เช่นการวางแผนและการเตรียมความพร้อมรับภัย และการปฏิบัติการตั้งรับ (Reactive) ให้ความช่วยเหลือและฟื้นฟูบูรณะ มีการกระจายอำนาจสู่ท้องถิ่น ยึดแนวนโยบายการบริหารราชการยุคใหม่ มุ่งผลสัมฤทธิ์ มีเจ้าภาพ มีการแบ่งงานความรับผิดชอบของ

นายกรัฐมนตรี และคณะกรรมการร่วมประสานงานรับผิดชอบ ให้อำนาจในการตัดสินใจตามขนาดของสาธารณภัย/อุทกภัยและมีการทำงานบูรณาการอย่างยั่งยืนใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า

การพัฒนาโครงสร้างองค์กรควรมีการกระจายอำนาจ สอดคล้องกับนโยบายแนวทางปฏิบัติและการดำเนินการแบบบูรณาการ (Integrated Disaster Management) ความเป็นไปได้ในการนำไปสู่การปฏิบัติ อย่างมีประสิทธภาพ สำหรับในด้านอุทกภัยต้องมีการประสานงานในระบบลุ่มน้ำ [7]

ภาพที่ 6: ยุทธศาสตร์การบริหารน้ำและอุทกภัยแห่งชาติ พ.ศ. 2555 [5]

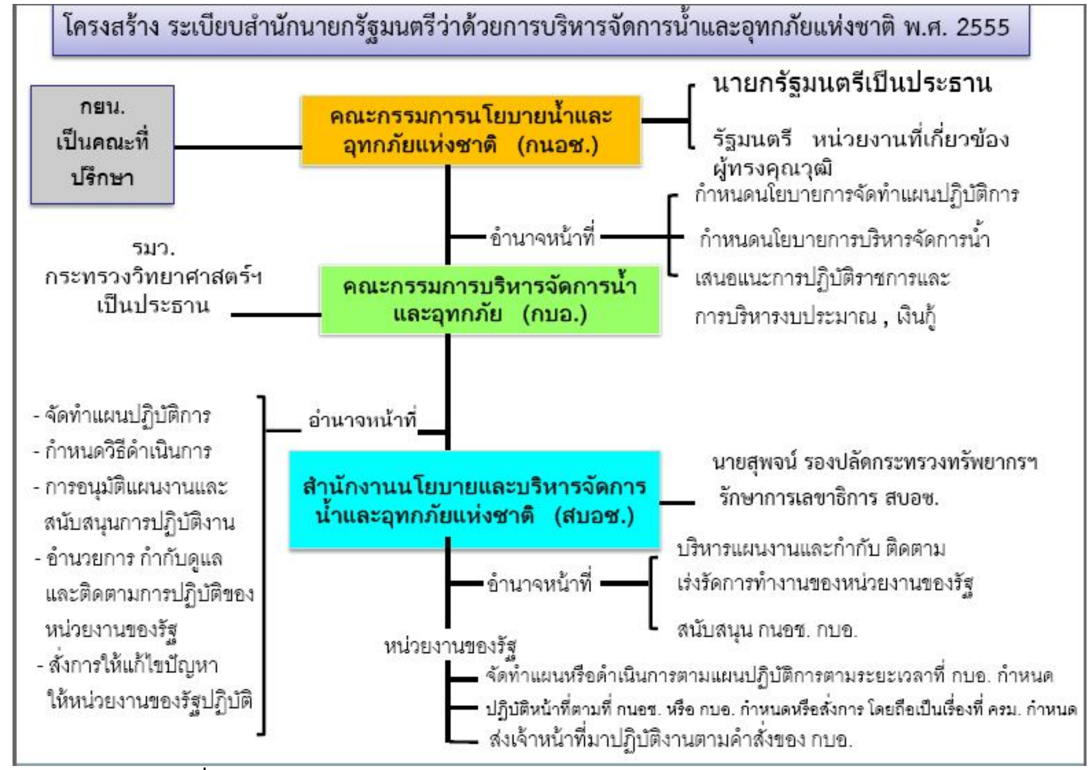
9. เกณฑ์การจัดระดับความรุนแรงอุทกภัยและองค์กรหรือหน่วยงานที่รับผิดชอบ

เสนอให้มีเกณฑ์การจัดระดับความรุนแรง 3 ระดับ [7] สอดคล้องกับแผนป้องกันภัยฝ่ายพลเรือนปีพ.ศ. 2545 คือ

-ระดับ 1 เป็นอุทกภัยขนาดเล็กก่อให้เกิดความรำคาญ ไม่สะดวกในการสัญจรไปมา และเกิดความสูญเสียในวงจำกัด รอบการเกิดอุทกภัยไม่เกิน 5 ปีจังหวัด สามารถควบคุมได้ โดยอาจได้รับความช่วยเหลือจากจังหวัดใกล้เคียง

-ระดับ 2 เป็นอุทกภัยขนาดปานกลาง ที่ทำให้สูญเสียสิ่งก่อสร้างและทรัพย์สินมากขึ้น การสูญเสียชีวิตมีไม่มาก รอบการเกิดอุทกภัยระหว่าง 5 ปี ถึง 25 ปี จังหวัดไม่สามารถควบคุมสถานการณ์และระงับภัยได้ ต้องอาศัยความช่วยเหลือสนับสนุนจากจังหวัดอื่น มีคณะกรรมการอำนวยการลุ่มน้ำเป็นผู้อำนวยการ

-ระดับ 3 เป็นอุทกภัยขนาดใหญ่ มีผลกระทบรุนแรงและกว้างขวาง มีการสูญเสียชีวิตจำนวนมาก รอบการเกิดอุทกภัยมากกว่า25 ปี คณะกรรมการอำนวยการลุ่มน้ำไม่สามารถควบคุมได้ ต้องอาศัยความช่วยเหลือจากหน่วยงานภายนอกลุ่มน้ำต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีนายกรัฐมนตรีเป็นผู้อำนวยการ



ภาพที่ 7: โครงสร้างระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการบริหารจัดการน้ำและอุทกภัยแห่งชาติ พ.ศ. 2555 [5]

10. การวิเคราะห์วิจารณ์

กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณปากทางออกของลุ่มน้ำเจ้าพระยาซึ่งมีพื้นที่รับน้ำประมาณ 157,924 ตารางกิโลเมตร ก่อนจะไหลออกสู่ทะเลที่อ่าวไทยในปี พ.ศ. 2554 ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนภูมิพลและสิริกิตต์สู่ท้ายน้ำเมื่อรวมกับปริมาณฝนที่ตกในลุ่มน้ำเจ้าพระยาและสาขามากกว่าค่าเฉลี่ย ถึง 42%ทำให้เกิดปริมาณน้ำท่าสะสมถึง 16,000 ล้านลูกบาศก์เมตร ทำให้เกิดน้ำท่วมในภาคเหนือและภาคกลาง ต้องใช้เวลาประมาณ 45-60 วันในการระบายลงสู่อ่าวไทย

ในปีพ.ศ. 2554 เขื่อนภูมิพลและสิริกิตต์ปล่อยน้ำสู่ท้ายน้ำเป็นปริมาณมากในช่วงเวลาวิกฤติเชื่อว่าเป็นสาเหตุหนึ่งของน้ำท่วมเป็นวงกว้างในลุ่มน้ำ ทั้งนี้เพราะเขื่อนทั้งสองเก็บกักน้ำปริมาตร 8,000-9000 ล้าน ลบ.มใน 3 เดือนต้นฤดูฝนจนน้ำเต็มอ่างเก็บน้ำ เป็นการเก็บกักน้ำมากกว่าที่ควรจะเป็น เมื่อมีฝนตกหนักตามมาหลังจากนั้นเขื่อนทั้งสองไม่สามารถเก็บกักน้ำต่อไปได้ทำให้ต้องปล่อยน้ำจากเขื่อน เนื่องจากทางเขื่อนไม่ได้ใช้ข้อมูลการพยากรณ์น้ำฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำเจ้าพระยาและสาขา อีกประการหนึ่งสภาวะน้ำแล้งจัดในปี พ.ศ. 2553 ทำให้ผู้ปฏิบัติงานของเขือน พยายามเก็บกักน้ำให้มากที่สุดในช่วงต้นฤดูฝน ของ ปี พ.ศ. 2554 เพื่อสำรองไว้สำหรับสภาวะน้ำแล้งที่อาจจะเกิดในปี พ.ศ. 2555.

การขาดประสบการณ์และการประเมินสถานะการณ์น้ำท่วมน้อยกว่าที่เป็นจริง ตลอดจนการได้รับข้อมูลที่สับสนขัดแย้งของหลายฝ่ายและการขาดการพยากรณ์ที่ถูกต้อง ทำให้การตัดสินใจและดำเนินการป้องกันน้ำท่วมขัดแย้งและ ขาดประสิทธิภาพ อนึ่งการโต้แย้งและปัญหาทางสังคมเกี่ยวกับการต่อต้านทำลายคันกั้นน้ำและการแบ่งทุกข์แบ่งสุขของประชาชนผู้ที่ได้รับและไม่ได้รับผลกระทบ ทำให้เกิดความตึงเครียดของประชาชนที่อยู่ในบริเวณน้ำท่วม จำเป็นต้องมีการศึกษาวิเคราะห์หาทางแก้ไขให้เป็นที่ยอมรับของทั้งสองฝ่าย

11. สรุปและข้อเสนอแนะ

อุทกภัยอาจเกิดจากธรรมชาติหรือการกระทำของมนุษย์ หรือทั้งสองอย่าง สาเหตุที่เกิดจากธรรมชาติมีหลายชนิดเช่น ฝนตกหนัก น้ำเหนือบ่า น้ำทะเลสูง เป็นต้น การบริหารจัดการอุทกภัยควรเปลี่ยนจากการตั้งรับแบบเดิม (Reactive) เป็นแบบเชิง**รุก** (Proactive) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความสำเร็จและประสิทธิผล จัดตั้งฐานข้อมูลและระบบสารสนเทศ on-line เพื่อการพยากรณ์และเตือนภัยอุทกภัยที่เพรียบพร้อม เช่น น้ำฝน น้ำท่า พายุ น้ำป่าและดินถล่ม เป็นต้นรวมทั้งจำนวน ประชากร การใช้ที่ดินและทรัพย์สิน แก้ปัญหาหน้าที่ความรับผิดชอบของหน่วยงานมีการซ้ำซ้อนและขัดแย้ง การจัดตั้งหน่วยพยากรณ์และเตือนภัยระดับชาติ จัดตั้งองค์กรที่ดูแลรับผิดชอบโดยตรงในการจัดการภัยพิบัติในระดับหมู่บ้าน ตำบล อำเภอ จังหวัด ประเทศ และในระดับลุ่มน้ำ องค์กรที่จัดตั้งต้องมีภารกิจและความรับผิดชอบชัดเจนมีนโยบายต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพได้มาตรฐาน และทันการ เป็นหน่วยงานที่มีอำนาจในการสั่งการ เพราะอุทกภัยและภัยธรรมชาติเป็นเรื่องเฉียบพลันอันตราย ควรออกกฎหมายพระราชบัญญัติรองรับให้องค์กรใหม่ได้รับความร่วมมืออย่างดีจากหน่วยงานอื่นๆ

12. เอกสารอ้างอิง

[1] Tingsanchali, T. “Flood Disaster Management”, Keynote Lecture, International Conference on Water Resources Engineering and Management, Lahore, Pakistan, March, 2011

[2] Tingsanchali, T. “Flood Disaster and Risk Management”, Invited Paper, 1st EIT International Conference on Water Resources Engineering, Petchaburi, Thailand, August, 2011.

[3] Tingsanchali, T. “Urban Flood Disaster Management”, Keynote lecture, Procedia Engineering, Elsevier, Volume 32, 3rd ISEEC International Conference, Nakhon Pathom, Thailand, February, 2012.

[4] Allan, R., Lindesay, J. and Parker D. “El Nino: Southern Oscillation and Climate Variability” CSRIO Atmospheric Research, Australian National University, Australia, 1996, 416 p.

[5] สุพจน์ โตวิจักษณ์ชัยกุล “การบริหารจัดการน้ำและอุทกภัยแห่งชาติ” เอกสารการประชุมทางวิชาการโครงการวิชาการเพื่อประโยชน์สาธารณะ ข้อเสนอของชุมชนว่าด้วยการจัดการน้ำ ฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยาครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน, กรุงเทพฯ, มีนาคม 2555

[6] Wikipedia- The Free Encyclopedia, 2011 Thailand Floods, website-en.wikipedia.org/wiki/2011_Thailand_floods.

[7] Tingsanchali, T., Rewtrakulpaiboon, L. and Supharatid, S. “Development of Master Plan for Management of Water Related Natural Disasters: Floods, Droughts and Landslides” Research Report, Thailand Research Fund, Bangkok, 2004.

[8] Tingsanchali, T. and Karim, M. F. “Flood Hazard Assessment and Risk-based Zoning of a Tropical Flood Plain: Case Study of the Yom River, Thailand”, Hydrological Sciences Journal, IAHS, 55(2), 2010.

[9] Keokhumcheng Y., Tingsanchali, T. and Clemente, R. S. “Flood Risk Assessment in the Eastern Region of Bangkok Flood Plain”, Water International, International Water Resources Association, U.S.A., May, 2012.

การจำลองกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงด้านข้างแบบไปกลับ
The Simulation of Reinforced Concrete Walls under Cyclic Lateral Loading

วัชระ จันทร์อนันต์[1]

[1]โปรแกรมวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
Watchara@npru.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลองกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก (กำแพง คสล.) ที่ถูกกระทำด้วยแรงด้านข้างแบบไปกลับ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Perform 3D นำไปเปรียบเทียบกับผลทดสอบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทดสอบจากสามการทดสอบดังนี้การทดสอบที่หนึ่ง Pilakoutas., and Elnashai, A. S. ได้ทำการทดสอบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกกระทำจากแรงทางด้านข้างแบบไปกลับโดยไม่มีแรงตามแนวดิ่งกระทำต่อกำแพงการทดสอบที่สอง และการทดสอบที่สามซึ่งทำการทดสอบโดย Dazio A. et al. และ Wallace, J. W. et al. ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองการทดสอบเป็นการทดสอบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกกระทำจากแรงด้านข้างแบบไปกลับที่มีแรงตามแนวดิ่งที่กระต่อกำแพง การจำลองกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กใช้ Fiber Section แยกออกได้เป็นการจำลองพฤติกรรมการรับแรงของคอนกรีต และเหล็กเสริมโดยใช้ตามรายงานของ Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER/ATC 72-1) เรื่อง [Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings] จากการศึกษาพบว่าการจำลองกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกกระทำด้วยแรงด้านข้างแบบไปกลับด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Perform 3D นั้นได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบของทั้งสามการทดสอบ ซึ่งค่าสลายพลังงานและแรงตามแนวแกนมีความสำคัญต่อผลการศึกษาจากแบบจำลอง

คำสำคัญ: กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก (กำแพง คสล.) แรงกระทำด้านข้างแบบไปกลับ การสลายพลังงาน

Abstract

The Purposes of this paper is studying simulation of reinforced concrete walls (RC. wall) under lateral cyclic loading by computer program Perform 3D is compared to there testing results. First testing, Pilakoutas., and Elnashai, A. S. tested reinforced concrete walls which reinforced concrete walls apply lateral cyclic force, but not apply axial force to reinforced concrete wall, both second and third testing, Dazio A. et al. and Wallace, J. W. et al., respectively tested reinforced concrete walls which reinforced concrete walls apply both lateral cyclic and axial force to reinforced concrete walls. Modeling of reinforced concrete walls are used by fiber section which Modeling of reinforced concrete walls include modeling of concrete and rebar according to Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER/ATC 72-1) title [Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings]. Results of simulation of reinforced concrete walls under cyclic Loading are modeled by computer program Perform 3D, and the results of simulation resemble testing results. The energy dissipation and Axial Force are significant to results of this study.

Keyword: reinforced concrete wall, lateral cyclic loading, and energy dissipation

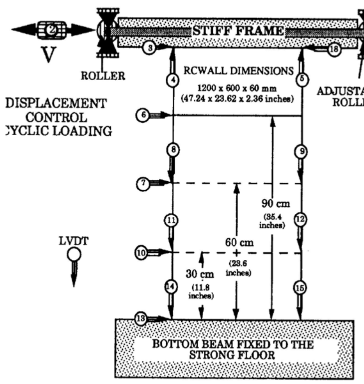
1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติบ่อยครั้งซึ่งแผ่นดินไหวเป็นภัยพิบัติหนึ่งที่ อาจทำให้อาคารที่ได้รับผลกระทบเนื่องและกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก (กำแพง คสล.) เป็นองค์อาคารหลักที่มีหน้าที่เพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวซึ่งมีแรงแผ่นดินไหวลักษณะเป็นแรงกระทำทางด้านข้างแบบกลับไปกลับมา ดังนั้นการศึกษานี้จะทำการจำลองกำแพง คสล. ที่ถูกแรงกระทำทางด้านข้างแบบไปกลับซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหวโดยเลือกมาจากสามการทดสอบดังนี้ Pilakoutas., and Elnashai, A. S. [4] ทำการทดสอบกำแพง คสล.ที่ถูกกระทำด้วยแรงด้านข้างแบบไปกลับ ส่วน Dazio A. et al.[2] และ Wallace, J. W. et al.[5] ได้ทำการทดสอบกำแพง คสล. ที่ถูกกระทำด้วยแรงด้านข้างแบบไปกลับ และแรงตามแนวแกนของกำแพง ด้วยโปรคอมพิวเตอร์ Perform 3D เป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างวิธีแรงสถิตเทียบเท่าแบบไม่เชิงเส้น (Push Over) ได้

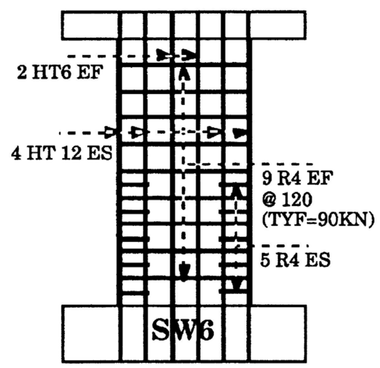
2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทดสอบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกกระทำด้วยแรงทางด้านข้างแบบไปกลับ

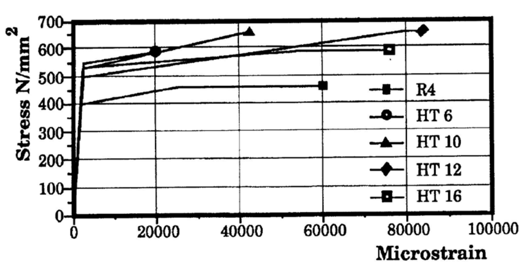
Pilakoutas., and Elnashai, A. S. [4] ได้ทำการทดสอบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 6 ตัวอย่างโดยแต่ละตัวอย่างเสริมเหล็กที่แตกต่างกัน และไม่ได้ให้แรงตามแนวแกนในกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งในการศึกษานี้เลือกตัวอย่างทดสอบ SW6 ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยคอนกรีตมีค่ากำลังอัดประลัยทดสอบด้วยทรงกระบอก $(f_c^{'})$ เท่ากับ 36.9 Mpa และความเครียดสูงสุด (ε_{co}) เท่ากับ 2093µ ใช้เหล็กยืนขนาด HT6 HT 12 และใช้เหล็กปลอกขนาด R4 มีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดดังแสดงตามภาพที่ 1ค. และผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 2



ก. ระยะต่าง ๆของการทดสอบ

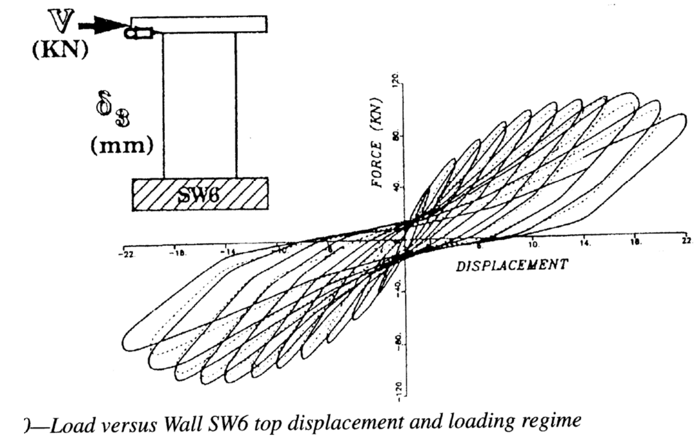


ข. รายละเอียดการเสริมเหล็ก



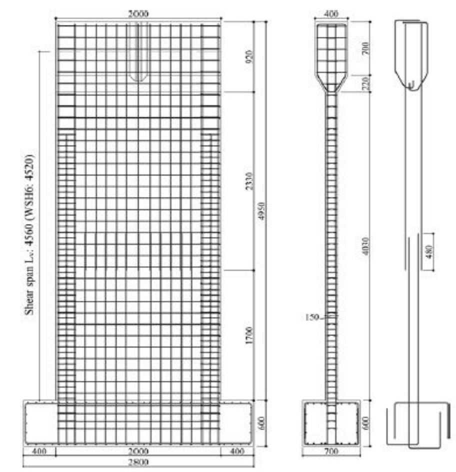
ค. ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดและความเค้นของเหล็กเสริม

ภาพที่ 1: แสดงตัวอย่างการทดสอบ SW6 โดย Pilakoutas., and Elnashai, A. S. [4]

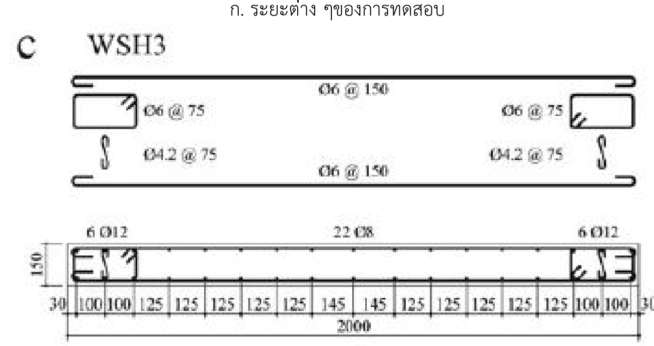


ภาพที่ 2: แสดงผลการทดสอบของตัวอย่าง SW6 โดย Pilakoutas., and Elnashai, A. S. [4]

Dazio A. et al.[2] ได้ทำการทดสอบกำแพง คสล.จำนวน 6 ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างเสริมเหล็กในปริมาณที่แตกต่างกัน และให้แรงตามแนวแกนในขณะที่ กำแพง คสล.รับแรงทางด้านข้าง ซึ่งในการศึกษานี้เลือก WSH3 รายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 3 โดยให้แรงตามแนวแกนเป็น 5.8% ของกำลังต้านทานแรงอัดของหน้าตัด ซึ่งคอนกรีตมีกำลังอัดประลัย $(f_c^{'})$ เท่ากับ 39.2 Mpa และเหล็กเสริมมีกำลังดึงที่จุดคราก ϕ12 เท่ากับ 601.0 Mpa ϕ 8 เท่ากับ 569.2 Mpa และϕ 6 เท่ากับ 489.0 Mpa และผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 4

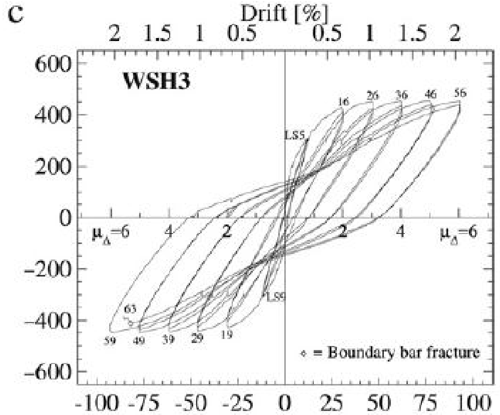


ก. ระยะต่าง ๆของการทดสอบ



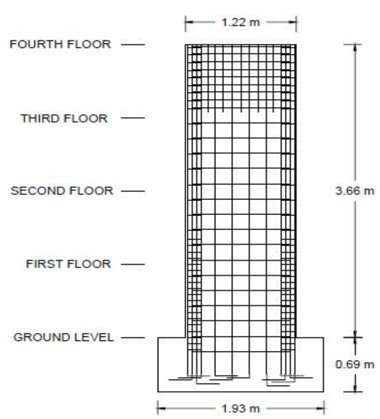
ข. รายละเอียดการเสริมเหล็ก

ภาพที่ 3: แสดงตัวอย่างการทดสอบ SW4 โดย Dazio A. et al.[2]

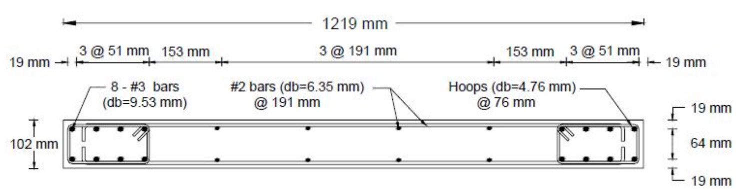


ภาพที่ 4: แสดงผลการทดสอบของตัวอย่าง WSH3 โดย Dazio A. et al.[2]

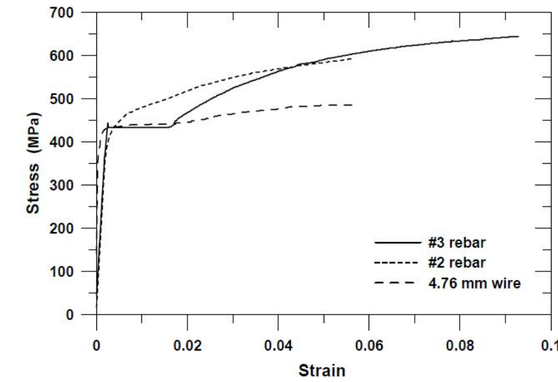
Wallace, J. W. et al.[5] ได้ทำการทดสอบกำแพง คสล. RW2 โดยให้แรงตามแนวแกนในขณะที่ กำแพง คสล.รับแรงทางด้านข้าง ซึ่งรายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 5 โดยให้แรงตามแนวแกนเป็น 7 % ของกำลังต้านทานแรงอัดของหน้าตัด ซึ่งคอนกรีตมีกำลังอัดประลัย $(f_c^{'})$ เท่ากับ 42.8 Mpa และเหล็กเสริมมีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ดังแสดงในภาพที่ 5 และผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 6



ก. ระยะต่าง ๆของการทดสอบ

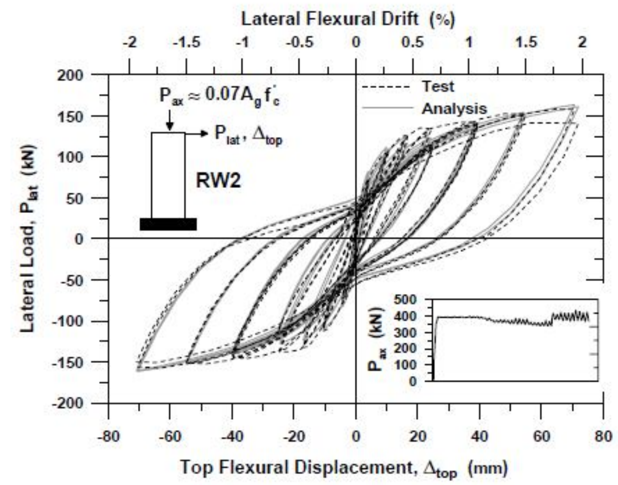


ข. รายละเอียดการเสริมเหล็ก



ค. ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเครียดและความเค้นของเหล็กเสริม

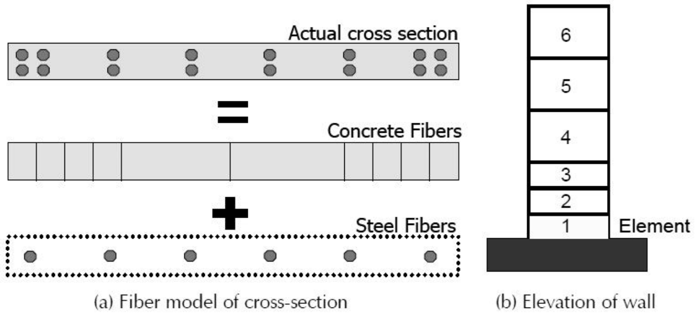
ภาพที่ 5: แสดงตัวอย่างการทดสอบ SW4 โดย Wallace, J. W. et al.[5]



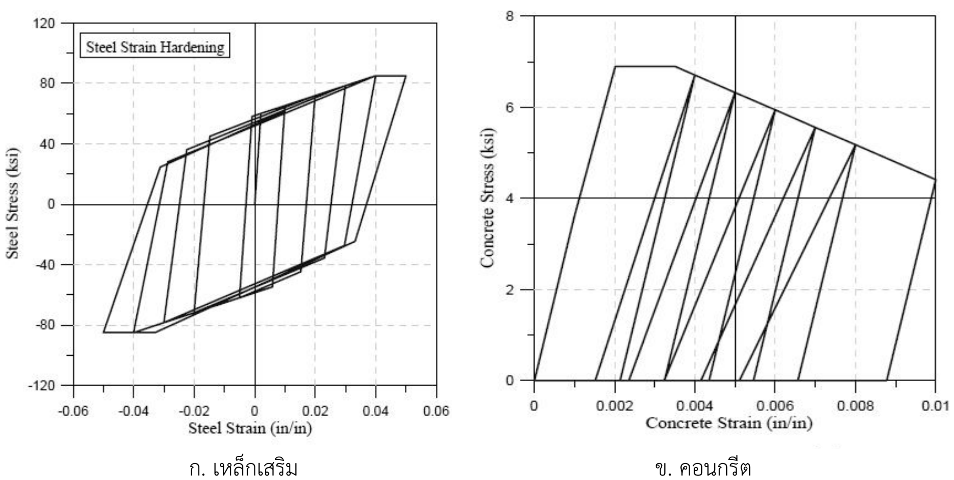
ภาพที่ 6: แสดงผลการทดสอบของตัวอย่าง RW2 โดย Wallace, J. W. et al.[5]

2.2 แบบจำลอง Fiber Section

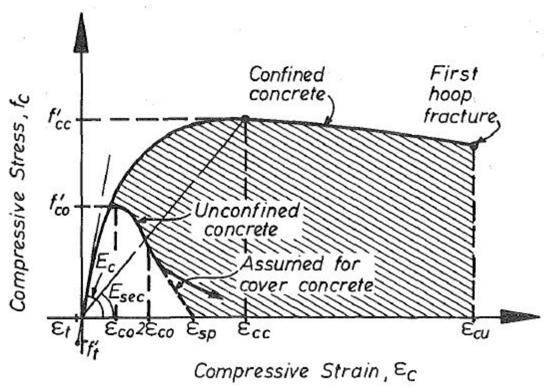
การสร้างแบบสร้างแบบจำลองนั้นใช้แบบ Fiber Section ซึ่งประกอบด้วยคอนกรีต และเหล็กเสริมโดยแบ่งเป็นหน้าตัดของเหล็กเสริม (Steel Fiber) และคอนกรีต (Concrete Fiber) ซึ่งสมมุติให้คอนกรีตไม่สามารถรับแรงดึงได้ที่ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของแต่ละหน้าตัดดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 7 [1] เมื่อวัสดุทั้งสองนั้นอยู่ภายใต้แรงแบบไปกลับจะเกิดรอยร้าวขึ้นการเกิดรอยร้าวนี้ทำให้เกิดการสลายพลังงานขึ้นในช่วงยืดหยุ่น ส่วนการจำลองพฤติกรรมแบบไปกลับของเหล็กเสริม และคอนกรีต จะพิจารณาถึงช่วง Strain Hardening ดังแสดงในตัวอย่างแบบจำลองตามภาพที่ 8 [1] และเนื่องจากเมื่อคอนกรีตถูกโอบรัด (confined) ด้วยเหล็กปลอกจะช่วยให้คอนกรีตไม่ระเบิดออกทางด้านข้างทำให้คอนกรีตในองค์อาคารที่รับแรงอัดสามารถรับแรงอัดได้เพิ่มมากขึ้น และมีค่าความเครียดเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้แบบจำลองของ Mander J.B. et al. [3] $f_{co}^{'}$, ε_{co} คือค่าความเค้นอัดและค่าความเครียดของคอนกรีตที่ไม่ได้โอบรัด ส่วน $f_{cc}^{'}$, ε_{cc} ค่าความเค้นอัดและค่าความเครียดของคอนกรีตที่ได้โอบรัด และ ε_{cu} คือค่าความเครียดของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดที่เกิดจุดแตกหักดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 7: แสดงตัวอย่างแบบจำลอง Fiber Section [1]



ภาพที่ 8: แสดงแบบตัวอย่างแบบจำลองของ ก. เหล็กเสริม ข. คอนกรีต ที่รับแรงแบบไปกลับ [1]



ภาพที่ 9: แสดงความสัมพันธ์ ความเค้นและความเครียดของคอนกรีตที่ถูกโอบรัดด้วยเหล็กปลอก [3]

3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Perform 3D

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Perform 3D เป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างได้ดังนี้ แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, แรงสถิตเทียบเท่าแบบไม่เชิงเส้น, พลศาสตร์ไม่เชิงเส้น, พลศาสตร์เชิงเส้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในช่วง เชิงเส้นและไม่เชิงเส้น การใช้

โปรแกรมโดยหลักแล้วมีอยู่ 2 ส่วนเป็นหลัก คือ ส่วนการสร้างแบบจำลอง และ ส่วนที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งทั้งสองส่วน มีรายละเอียดที่สำคัญต่อการศึกษานี้ดังนี้

ส่วนการสร้างแบบจำลอง ประกอบด้วยค่าต่าง ๆ ที่ต้องกำหนดดังนี้

- วัสดุ ใช้กำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุทั้งเหล็ก และคอนกรีตทั้งในช่วงยืดหยุ่น และไม่ยืดหยุ่นโดยต้องกำหนดอยู่หลายค่าประกอบด้วย ค่าความสัมพันธ์ความเครียด-ความเค้นของวัสดุ ค่าการสลายพลังงานแต่ละช่วงของวัสดุเนื่องจากแรงแบบไปกลับ และการสูญเสียของกำลังของวัสดุที่อยู่หลังช่วง Strain Hardening
- หน้าตัดขององค์อาคารซึ่งสามารถกำหนดได้หลายวิธีโดยในงานวิจัยนี้จะใช้การสร้างแบบจำลองของหน้าตัดด้วยวิธี Fiber Section จะต้องกำหนดชนิดของวัสดุ คุณสมบัติของวัสดุ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ และตำแหน่งของวัสดุออกเป็นชั้น ๆ

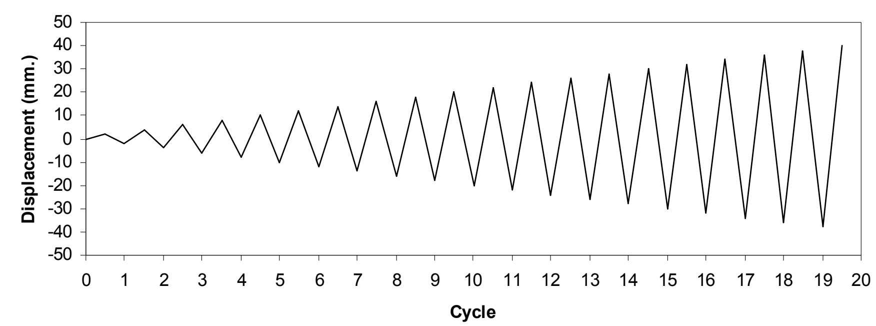
ส่วนการวิเคราะห์ เพื่อกำหนดแรงต่าง ๆ เช่น แรงตามแรงโน้มถ่วงของโลก ความแร่งของพื้นดิน การเสียรูปของโครงสร้างที่กระทำต่อโครงสร้าง เลือกแรงที่ให้วิเคราะห์โครงสร้างและแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้าง

4. วิธีการดำเนินการศึกษา

การสร้างแบบจำลองทั้งสามแบบจำลองจะจำลองด้วย Fiber model โดยแบ่งออกเป็น เหล็กเสริม และคอนกรีต การจำลองการทดสอบของ Pilakoutas., and Elnashai, A. S. [4] และการทดสอบของ Wallace, J. W. et al. [5] ดังแสดงในภาพที่ 1ค. และ 5 ค. ตามลำดับ ส่วนการจำลองเหล็กในการทดสอบที่ไม่ได้ระบุไว้จะให้การจำลองความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริมตาม ASTM และคอนกรีตนั้นมีค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดที่ถูกโอบรัดด้วยเหล็กปลอกดังแสดงในตารางที่ 1. การวิเคราะห์ใช้วิธีแรงสถิตเทียบเท่าแบบไม่เชิงเส้น โดยเพิ่ม ระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างเพิ่มครั้งละ 2 มม.ซึ่งสอกคล้องกับการทดสอบ โดยการเพิ่มทั้งด้านบวกและด้านลบดังแสดงในภาพที่ 10 และใช้ค่าการสลายพลังตั้งแต่ 0.4 – 1.0

การทดสอบ	ตัวอย่าง	f'_{cc} (Mpa)	ε_{cc}	ε_{cu}
Pilakoutas., and Elnashai, A. S	SW6	49.60	0.0048	0.015
Dazio A. et al.	WSH3	42.34	0.0028	0.010
Wallace, J. W. et al.	RW2	47.60	0.0037	0.015

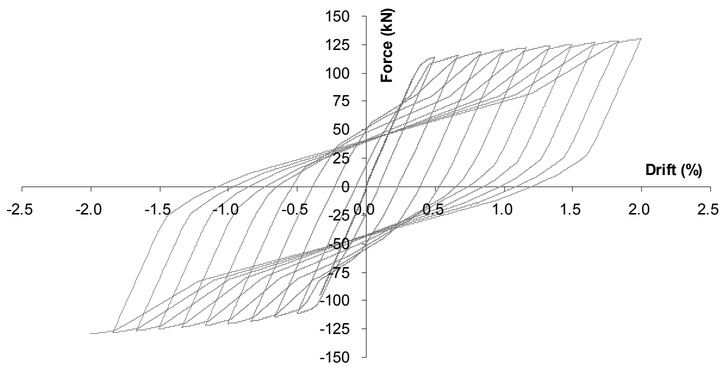
ตารางที่ 1: แสดงความค่าความเค้นและความเครียดมี่ถูกโอบรัดด้วยเหล็กปลอกจากการคำนวณด้วย Mander J.B. et al.



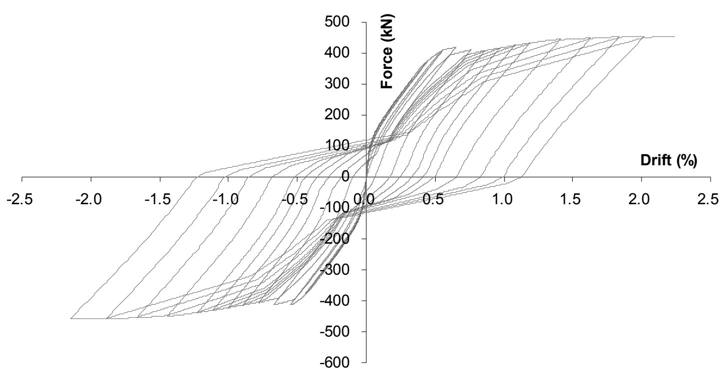
ภาพที่ 10: แสดงการให้การเคลื่อนที่ทางด้านข้างของการวิเคราะห์ด้วยวิธี Push Over

5. ผลการศึกษา

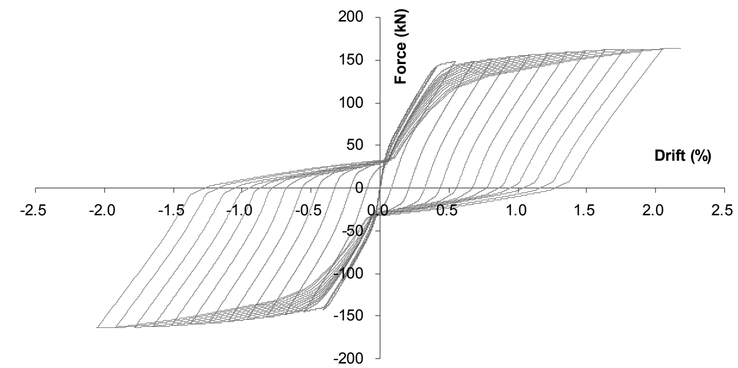
ผลการศึกษาการสร้างแบบจำลองผนัง คสล. SW6 ที่ทำการทดสอบโดย Pilakoutas., and Elnashai, A. S. ซึ่งได้ทำการจำลองด้วย Fiber Section โดยต้องใช้ค่าสลายพลังงานของเหล็กเสริมในช่วงยืดหยุ่น เท่ากับ 1 และจากการลองผิดลองถูก (Trial and Error) พบว่าช่วงไม่ยืดหยุ่นค่าสลายพลังงานอยู่ระหว่าง 0.4 - 0.8 ซึ่งขึ้นอยู่กับการกำหนดตำแหน่งที่ระบุว่าสลายพลังงานในความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด และค่าสลายพลังงานของคอนกรีตนั้นไม่มีนัยสำคัญต่อการศึกษาดังแสดงตามภาพที่ 11 ซึ่งจะพบได้ว่ามีค่าแรงสูงสุดประมาณ 125 kN ที่ร้อยละการเคลื่อนตัวทางด้านข้างประมาณ 1.8 (21.6 มม.) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบส่วนค่าของแรงบริเวณคอขอดนั้นแต่งจากผลการทดสอบ ส่วนผลการศึกษาการสร้างแบบจำลองผนัง คสล. WSH3 และ RW2 ที่ทำการทดสอบโดย Dazio A. et al. และ Wallace, J. W. et al. ตามลำดับ นั้นพบว่าทั้งสองการทดสอบต้องใช้ค่าสลายพลังงานของเหล็กเสริมในช่วง elastic เท่ากับ 1 และช่วง Inelastic มีค่าสลายพลังงานประมาณ 0.7 และค่าสลายพลังงานของคอนกรีตนั้นไม่มีนัยสำคัญต่อการศึกษาเช่นเดียวกับการสร้างแบบจำลอง กำแพง คสล. SW6 ดังแสดงตามภาพที่ 12 และ 13 ตามลำดับ ค่าแรงสูงสุดของ ผนัง คสล. WSH3 ประมาณ 480 kN ที่ร้อยละการเคลื่อนที่ทางด้านข้างประมาณ 2.0 ส่วน ผนัง คสล. มีค่าแรงสูงสุดประมาณ 170 kN ที่ร้อยละการเคลื่อนที่ทางด้านข้างประมาณ 2.0 ซึ่งทั้งสามแบบจำลองนั้นให้ผลที่คล้ายคลึงกับผลการทดสอบจริงส่วนบริเวณคอขอดนั้นมีค่าแตกต่างจากผลการทดสอบอยู่บ้าง



ภาพที่ 11: แสดงผลการศึกษาผนัง คสล. SW6



ภาพที่ 12: แสดงผลการศึกษาผนัง คสล. WSH3



ภาพที่ 13: แสดงผลการศึกษาผนัง คสล. RW2

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการสร้างแบบจำลองกำแพง คสล. ที่รับแรงทางด้านข้างแบบไปกลับด้วยวิธี Fiber Section พบว่าให้ผลที่คล้ายคลึงกับการทดสอบจริง โดยมีปัจจัยที่สำคัญต่อการสร้างแบบจำลองกำแพง คสล.นั้นสององค์ประกอบคือ แรงความแนวแกน และค่าการสลายพลังงานในเหล็กเสริม และข้อเสนอแนะควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับค่าการสลายพลังงานในแต่ละตำแหน่งของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด และผลกระทบจากแรงตามแนวแกนต่อแบบจำลอง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Applied Technology Council, and Pacific Earthquake Engineering Research Center., "Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings", PEER/ATC-72, (10), 2010.

[2] Dazio A. et al "Quasi-static cyclic tests and plastic hinge analysis of RC structural walls", International Journal of Engineering Structures, 11(2), 2009,pp. 1556-1571.

[3] Mander J.B. et al., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", International Journal of Engineering Structures, (8), 1988,pp. 1804-1826.

[4] Pilakoutas., and Elnashai, A. S., "Cyclic Behavior of Reinforced Concrete Cantilever Walls", International Journal of ACI Structures, V. 92, No. 3, (5), 1995,pp. 271-281.

[5] Wallace, J. W. et al., Displacement-Based Design of Reinforced Concrete Structural Walls: an Experimental Investigation of Walls With Rectangular and T-Shaped Cross-Sections.", Report No. CU/CEE–95/06, Department of Civil Engineering. Clarkson University, Postdam, New York, 1995.

ทัศนคติที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการเลือกใช้บริการรถตู้โดยสารของผู้เดินทาง
Attitude toward the Behavior of Selection and Usage Public Van Service

เจษฎา ปริตาโพธิ์[1]
[1]โปรแกรมวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
jesada15@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงทัศนคติของผู้เดินทางและตรวจสอบอิทธิพลของทัศนคติในเชิงจิตวิทยาที่ส่งผลต่อเจตนาในการเลือกใช้บริการรถตู้โดยสาร โดยศึกษาจากกลุ่มผู้ใช้บริการรถตู้โดยสารในเขตกรุงเทพเป็นหลัก โดยข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์ได้มาจากการสัมภาษณ์ด้วยแบบสอบถาม สำหรับตัวแปรทางด้านทัศนคติที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ เจตคติต่อพฤติกรรม พันธะทางจริยธรรม การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม และ เจตนาในการกระทำพฤติกรรม โดยความสัมพันธ์ภายในแบบจำลองได้มาจากทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of planned behavior ,TPB) โดยตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงจิตวิทยากับเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองสมการโครงสร้าง

ผลการศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 415 ตัวอย่างพบว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของแบบจำลอง ตัวแปรสังเกตได้มีความสอดคล้องกับตัวแปรแฝงเป็นอย่างดี เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างพบว่า แบบจำลองสมมติฐานมีความกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์อยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลของแบบจำลองพบว่า เจตนาในการใช้บริการรถตู้โดยสาร สามารถอธิบายได้จากตัวแปรแฝงภายในอันได้แก่ การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง และเจตคติต่อพฤติกรรม โดยความสัมพันธ์มีนัยทางสถิติที่ 0.01 และมีค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลเท่ากับ 0.27 0.25 และ 0.24 ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแบบจำลอง พบว่า ตัวแปรเชิงทัศนคติสามารถอธิบายความแปรปรวนของเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารของผู้เดินทางได้ร้อยละ 39

คำสำคัญ: ทัศนคติในเชิงจิตวิทยา รถตู้โดยสาร ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน แบบจำลองสมการโครงสร้าง

Abstract

The objectives of this research are to study the attitudes of the passenger van commuters and to investigate the influence of psychological factors on their will to continue the use of public van service. The data was collected by using questionnaire survey technique. The employed attitudinal factors were attitude toward the behavior, moral obligation, subjective norm, perceived behavioral control and behavioral intention. The intrinsic relation of the model followed the Theory of planned behavior (TPB). The structural equation modeling was applied for estimating of the relation between psychological variables and the intention to use the service.

The results from 415 samples of public van users show that the result from Confirmatory Factor Analysis indicates that the observed variables correspond with the latent variables. For the consideration of the

causal structural relationships, the assumption model is fairly harmonious with the empirical data. When the latent variables in the model are considered, the will of public van users is directly influenced by Perceived behavioral control, Subjective norm, and Attitude toward the behavior respectively and the relationship is significant at 0.01. Their effects (coefficients) of the relationship from the models are 0.27, 0.25, and 0.24 respectively. When the Squared multiple correlations are considered, all causal variables could co-explain the variance of the attitude of the public van service usage at 39%.

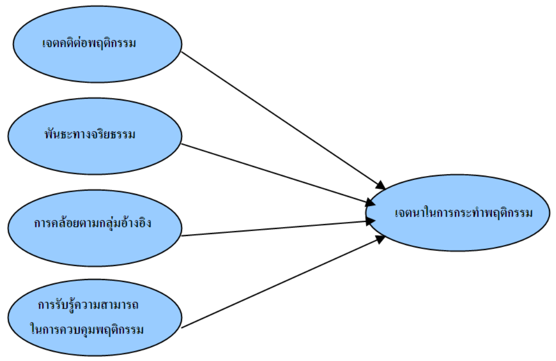
Keyword: Psychological Attitude, Public Van Service, Theory of Planned Behavior (TPB), Structural - Equation Modeling (SEM)

1. บทนำ

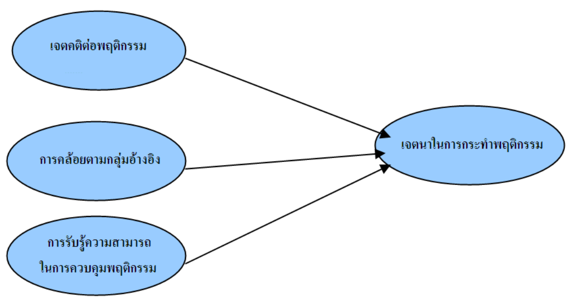
การศึกษาถึงทัศนคติของผู้เดินทางด้วยรถตู้โดยสาร โดยมุ่งประเด็นไปทางด้านการศึกษาและวิเคราะห์ทัศนคติของผู้ใช้บริการรถตู้โดยสารเป็นหลักนั้น สืบเนื่องจากปัจจุบันได้มีนักวิชาการทางด้านวิศวกรรมขนส่งหลายๆท่านมีสมมติฐานว่า การที่ผู้เดินทางจะเลือกใช้บริการระบบขนส่งสาธารณะใดๆนั้น ผู้โดยสารหรือตัวผู้เดินทางเองไม่ได้ใช้เพียงแค่องค์ประกอบด้านเศรษฐกิจสังคมของตนเองเป็นเหตุผลในการเลือกรูปแบบการเดินทางเท่านั้น แต่ได้ใช้ทัศนคติส่วนบุคคล (Personal Attitude) ที่มีต่อระบบการขนส่งนั้นๆ เป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทางด้วย ซึ่งการที่เราสามารถทำความเข้าใจถึงทัศนคติของผู้เดินทางที่มีต่อระบบการขนส่งนั้นๆ ได้อย่างลึกซึ้งและสมบูรณ์มากเท่าใด ก็ย่อมสามารถเข้าใจถึงพฤติกรรมการใช้ระบบขนส่งต่างๆ ได้ดีมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งที่จะศึกษาถึงทัศนคติในส่วนลึกของผู้เดินทาง เพราะจะทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการใช้รถตู้โดยสารได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นพื้นฐานหลักที่สำคัญที่นักวิชาการด้านขนส่งหรือผู้กำหนดนโยบายด้านการขนส่ง จะนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดมาตรการจัดการกับอุปสงค์การเดินทาง โดยเฉพาะการจัดการกับอุปสงค์ในการเดินทางด้วยรถตู้โดยสาร ไม่ว่าจะเป็นนโยบายในการส่งเสริมการใช้รถตู้โดยสาร หรือนโยบายในการควบคุมการใช้รถตู้โดยสาร

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดกรอบความคิดของงานวิจัยในครั้งนี้ การวิเคราะห์ทัศนคติของผู้เดินทางด้วยรถตู้โดยสาร จะศึกษาเฉพาะทัศนคติในเชิงจิตวิทยาที่ส่งผลต่อเจตนาในการเดินทาง โดยผู้วิจัยจะใช้การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองโครงสร้างเชิงสาเหตุ (Structural Equation Modeling : SEM) โดยตัวแปรในการศึกษาความสัมพันธ์เชิงสาเหตุนั้นผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรทำนาย (Predictor Variables) ในแบบจำลองโดยอ้างอิงจากทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior : TPB) ของ Ajzen (2006a) และ Norm Activation Theory ของ Schwartz (1977) ซึ่งได้แก่ เจตคติต่อพฤติกรรม (Attitude toward the behavior) พันธะทางจริยธรรม (Moral obligation) การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง (Subjective norm) และการรับรู้ถึงความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม (Perceived behavioral control) โดยการวิเคราะห์แบบจำลองความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของทัศนคติที่ส่งผลต่อเจตนาหรือความตั้งใจในการเดินทางด้วยรถตู้โดยสารของผู้เดินทางนั้น ผู้วิจัยได้กำหนดแบบจำลองในการวิจัยครั้งนี้ไว้ 2 แบบจำลอง ตามรูปที่ 1 และ รูปที่ 2 โดยแบบจำลองที่หนึ่งในรูปที่ 1 เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจากแบบจำลองของทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (TPB) ซึ่งได้เพิ่มตัวแปรพันธะทางจริยธรรมเข้าในแบบจำลองของ (TPB) เพื่อต้องการขยายมิติของตัวทำนายเจตนาในการกระทำพฤติกรรมให้กว้างยิ่งขึ้น ซึ่งกรณีที่พันธะทางจริยธรรมไม่สามารถอธิบายเจตนาในการกระทำพฤติกรรมได้อย่างสมเหตุสมผล ก็จะทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรตามแบบจำลองที่สอง ในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ได้จากทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (TPB) โดยทดสอบว่า ทฤษฎีดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการอธิบายถึงเจตนาหรือความตั้งใจในการใช้รถตู้โดยสารของผู้เดินทางได้อย่างสมเหตุสมผลในทางสถิติหรือไม่



รูปที่ 1. แบบจำลองความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างแบบที่หนึ่ง



รูปที่ 2. แบบจำลองความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างแบบที่สอง

3. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาอิทธิพลของทัศนคติที่มีต่อเจตนาในการใช้บริการรถตู้โดยสารของผู้เดินทางโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี SEM

4. ขอบเขตของงานวิจัย

4.1 แบบจำลองความสัมพันธ์ทัศนคติของผู้เดินทางที่ส่งผลต่อเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารนั้น เป็นแบบจำลองความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงสาเหตุ (causal structural model) ซึ่งตัวแปรทัศนคติในเชิงจิตวิทยาของแบบจำลองได้กำหนดขึ้นบนพื้นฐานของทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior : TPB) ของ Ajzen และ Norm Activation Theory ของ Schwartz

4.2 สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของทัศนคติที่มีอิทธิพลต่อเจตนาในการเดินทางด้วยรถตู้โดยสารนั้น ผู้วิจัยจะใช้เทคนิควิธีวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling, SEM)

5. วิธีการดำเนินงานวิจัย

5.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนด ปัญหา วัตถุประสงค์ ออกแบบและวางแผนการวิจัย
5.2 กำหนดกรอบการวิจัย
5.3 สร้างเครื่องมือในการวิจัย
5.4 นำเครื่องมือวิจัยที่ได้ไปดำเนินการเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย
5.5 วิเคราะห์ข้อมูล สร้างแบบจำลอง และสรุปผล

6. ผลการวิจัย

6.1 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของแบบจำลอง

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ในการศึกษารูปแบบความ สัมพันธ์โครงสร้างเชิงสาเหตุของเจตนาในการใช้รถตู้โดยสาร เป็นการทดสอบสมมติฐานข้อหนึ่ง คือ องค์ประกอบของเจตคติต่อพฤติกรรม (ATB) ประกอบด้วยตัวแปรสังเกตได้ 4 ตัวแปร ได้แก่ ความเชื่อส่วนตัวที่ได้รับอิทธิพลมาจากความรู้สึกนึกคิด (X1) ความเชื่อส่วนตัวที่ว่าหากทำพฤติกรรมนั้นๆแล้วจะได้รับผลดีจากการกระทำ (X2) ความรู้สึกที่ดีจากผลของการกระทำพฤติกรรมของตน (X3) และ ความรู้สึกที่ดีจากผลของการกระทำพฤติกรรมใดๆของบุคคลอื่น (X4)

องค์ประกอบของพันธะทางจริยธรรม (MO) ประกอบด้วยตัวแปรสังเกตได้ 3 ตัวแปร ได้แก่ การคำนึงถึงผลของการกระทำพฤติกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อสังคม (X5) การคำนึงถึงจริยธรรมในการกระทำพฤติกรรม (X6) และ การตระหนักถึงผลของการกระทำที่เป็นประโยชน์ต่อตนเอง (X7)

องค์ประกอบของการคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง (SN) ประกอบด้วยตัวแปรสังเกตได้ 4 ตัวแปร ได้แก่ การรับรู้ว่าบุคคลหรือกลุ่มบุคคลที่สำคัญต่อตนคาดหวังให้ตนกระทำพฤติกรรม (X8) ความเชื่อเกี่ยวกับความคาดหวังของบุคคลหรือกลุ่มบุคคลที่สำคัญต่อตน (X9) ความคล้อยตามบุคคลหรือกลุ่มบุคคลที่สำคัญต่อตน (X10) และ ความคล้อยตามสังคม (X11)

องค์ประกอบของการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม (PBC) ประกอบด้วยตัวแปรสังเกตได้ 2 ตัวแปร ได้แก่ ความเชื่อในการควบคุมการกระทำพฤติกรรมของตน (X12) และ การรับรู้ถึงความสามารถของตนในการกระทำพฤติกรรม (X13)

มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของเจตนาในการใช้รถตู้โดยสาร (BI) ประกอบด้วยตัวแปรสังเกตได้ 4 ตัวแปร ได้แก่ การรับรู้ถึงความพร้อมของตนที่จะกระทำพฤติกรรม (Y1) การรับรู้ถึงความต้องการของตนในการกระทำพฤติกรรม (Y2) การรับรู้ถึงระดับของความตั้งใจที่จะกระทาพฤติกรรม(Y3) และความตั้งใจที่จะกระทำพฤติกรรม (Y4)

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ของแบบจำลอง

ตัวแปร	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	Y1	Y2	Y3	Y4
X1	1																
X2	.185**	1															
X3	.181**	.392**	1														
X4	.107*	.209**	.254**	1													
X5	.106*	.181**	.144**	.245**	1												
X6	.137**	.223**	.214**	.285**	.299**	1											
X7	.039	.128**	.114*	.210**	.312**	.120*	1										
X8	.184**	.145**	.177**	.354**	.180**	.240**	.329**	1									
X9	.100*	.089	.152**	.195**	.139**	.337**	.287**	.402**	1								
X10	.176**	.203**	.131**	.147**	.232**	.128**	.319**	.323**	.167**	1							
X11	.150**	.230**	.2 26**	.175**	.259**	.087	.354**	.304**	.067	.624**	1						
X12	.089	.130**	.250**	.197**	-.112*	.301**	-.040	.178**	.305**	-.009	-.064	1					
X13	.123*	.239**	.317**	.263**	.175**	.393**	.153**	.368**	.350**	.201**	.169**	.372**	1				
Y1	.115*	.175**	.315**	.308**	.160**	.245**	.277**	.513**	.311**	.261**	.290**	.296**	.463**	1			
Y2	.110*	.190**	.240**	.296**	.126**	.211**	.245**	.485**	.245**	.273**	.276**	.256**	.374**	.715**	1		
Y3	.070	.259**	.195**	.124*	.239**	.160**	.251**	.226**	.167**	.214**	.226**	.015	.132**	.337**	.397**	1	
Y4	.178**	.239**	.286**	.286**	.212**	.175**	.376**	.510**	.284**	.347**	.367**	.156**	.300**	.638**	.691**	.492**	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

จากตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพบว่า ตัวแปรส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ ระดับ 0.05 โดยมีความ สัมพันธ์ทางบวก ยกเว้นตัวแปร ความเชื่อในการควบคุมการกระทำพฤติกรรมของตน (X12) ที่มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับตัวแปร (X5) (X7) (X10) และ (X11)

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ที่อยู่ภายในตัวแปรแฝงองค์ประกอบเดียวกันพบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01และระดับ 0.05 ยกเว้นองค์ประกอบของการคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง (SN) ซึ่งตัวแปร (X9) และ (X11)มีความ สัมพันธ์โดยไม่มีนัยสำคัญ โดยตัวแปรสังเกตได้ของตัวแปรแฝงองค์ประกอบของเจตคติต่อพฤติกรรม (X1 - X4) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.107 - 0.392 ตัวแปรสังเกตได้ของตัวแปรแฝงองค์ประกอบของพันธะทางจริยธรรม (X5 – X7) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.120 - 0.312 ตัวแปรสังเกตได้ของตัวแปรแฝงองค์ประกอบของการคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง (X8 – X11) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.067 - 0.624 ตัวแปรสังเกตได้ของตัวแปรแฝงองค์ประกอบของการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม (X12 – X13) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.372 และ ตัว

แปรสังเกตได้ของตัวแปรแฝงองค์ประกอบของเจตนาในการใช้รถตู้โดยสาร (Y1 – Y4) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.337 - 0.715

6.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor analysis)

ในการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของแบบจำลอง เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ได้ สอดคล้องกับแบบจำลองของการวิจัยหรือไม่ และตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของตัวแปรแฝง เพื่อให้แน่ใจว่าตัวแปรสังเกตได้ในแต่ละตัวแปรแฝงเป็นตัวชี้วัดที่เหมาะสมสำหรับการวัดตัวแปรแฝงที่กำหนดไว้ โดยค่าที่ใช้ในการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง คือ ค่าน้ำหนักองค์ประกอบจะต้องมากกว่า .30 โดยผู้วิจัยได้แบ่งแบบจำลองการวัดออกเป็น 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองการวัดตัวแปรแฝงภายนอก และแบบจำลองการวัดตัวแปรแฝงภายใน

6.2.1 รูปแบบการวัดตัวแปรแฝงภายนอก

รูปแบบการวัดตัวแปรแฝงภายนอก ประกอบด้วยตัวแปรแฝง 4 ตัวแปร คือ ตัวแปรแฝงกลุ่มเจตคติต่อพฤติกรรม (ATB) ตัวแปรแฝงกลุ่มพันธะทางจริยธรรม (MO) ตัวแปรแฝงกลุ่มการคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง (SN) และตัวแปรแฝงกลุ่มการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม (PBC) ได้ผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory factor analysis)
แบบจำลองการวัดตัวแปรแฝงภายนอก (n=415)

องค์ประกอบ	ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ b(SE)	ความคลาดเคลื่อนของตัวบ่งชี้ (e)	t	ความเชื่อมั่น (R^2)
ATB				
X1	0.36(0.05)	0.87	6.24	0.13
X2	0.48(0.04)	0.77	7.72	0.23
X3	0.61(0.05)	0.63	9.85	0.37
X4	0.47(0.05)	0.78	8.12	0.22
MO				
X5	0.53(0.06)	0.72	7.99	0.28
X6	0.60(0.06)	0.64	8.28	0.36
X7	0.37(0.10)	0.87	3.73	0.13
SN				
X8	0.45(0.08)	0.8	4.95	0.20
X9	0.31(0.06)	0.9	4.69	0.10
X10	0.51(0.09)	0.74	5.51	0.26
X11	0.53(0.10)	0.72	5.33	0.28
PBC				
X12	0.40(0.05)	0.84	5.54	0.16
X13	0.71(0.07)	0.49	7.15	0.51

Chi-Square = 27.81, df = 26, P-value = 0.36, RMSEA = 0.01, SRMR = 0.02, GFI = 0.99, AGFI = 0.96

จากตารางพบว่า ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันแบบจำลองการวัดตัวแปรแฝงภายนอกมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ พิจารณาได้จากค่าสถิติไค-สแควร์ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (χ^2 = 27.81 , df = 26 , P = 0.36) ค่าดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (GFI) เท่ากับ 0.99 และดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้แล้ว(AGFI) เท่ากับ 0.96 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ (>0.90) ส่วนค่ามาตรฐานดัชนีรากของค่าเฉลี่ยกำลังสองส่วนที่เหลือ (SRMR) เท่ากับ 0.02 และค่ามาตรฐานดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยนของค่าความแตกต่างโดยประมาณ (RMSEA) เท่ากับ 0.01 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.05 แสดงว่ารูปแบบการวัดตัวแปรแฝงภายนอกมีความกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์

6.2.2 รูปแบบการวัดตัวแปรแฝงภายใน

รูปแบบการวัดตัวแปรแฝงภายใน ประกอบด้วยตัวแปรแฝง 1 ตัวแปร คือ ตัวแปรแฝงกลุ่มเจตนาในการใช้รถตู้โดยสาร ได้ผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory factor analysis)
แบบจำลองการวัดตัวแปรแฝงภายใน (n=415)

องค์ประกอบ	ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ b(SE)	ความคลาดเคลื่อนของตัวบ่งชี้ (e)	t	ความเชื่อมั่น (R^2)
BI				
Y1	0.82(0.03)	0.33	18.82	0.67
Y2	0.89(0.03)	0.22	20.92	0.78
Y3	0.46(0.05)	0.79	8.89	0.21
Y4	0.75(0.04)	0.43	17.03	0.57

Chi-Square = 0.00, df = 0, P-value = 1.00, RMSEA = 0.00

จากตารางพบว่า ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันแบบจำลองการวัดตัวแปรแฝงภายใน มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ พิจารณาได้จากค่าสถิติไค-สแควร์ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (χ^2 = 0.00 , df = 0.00 , P = 1.00) และค่ามาตรฐานดัชนีรากกำลังสองเฉลี่ยของค่าความแตกต่างโดยประมาณ (RMSEA) เท่ากับ 0.00 แสดงว่ารูปแบบการวัดตัวแปรแฝงภายใน มีความกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน เมื่อพิจารณาค่าสถิติวัดความสอดคล้องแสดงว่ารูปแบบการวัดตัวแปรแฝงภายนอกและภายในที่กำหนดไว้ เป็นรูปแบบที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ มีค่าน้ำหนักองค์ประกอบซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดความตรงเชิงโครงสร้างของแต่ละองค์ประกอบมีค่ามากกว่า .30 และมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ทุกตัวแปรแสดงให้เห็นว่า ตัวแปรสังเกตได้เป็นตัวบ่งชี้หรือตัวชี้วัดที่เหมาะสมของตัวแปรแฝงที่จะนำไปใช้ในการศึกษาในครั้งนี้

6.3 การวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงสาเหตุของทัศนคติในเชิงจิตวิทยาที่มีอิทธิพลต่อเจตนาในการใช้รถตู้โดยสาร

6.3.1.การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของทัศนคติที่ส่งผลต่อเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารแบบจำลองที่ 1.

การวิเคราะห์ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลองตามสมมติฐานการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ผลการวิเคราะห์ปรากฏดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสถิติความสอดคล้องของแบบจำลองตามสมมติฐานกับข้อมูลเชิงประจักษ์

ค่าดัชนี	เกณฑ์การพิจารณา	แบบจำลอง	
		ค่าสถิติ	ผลการพิจารณา
Chi-square/df	< 3	217.84/84 = 2.59	ผ่านเกณฑ์
p value of (χ2)	> 0.05	0.00	ไม่ผ่านเกณฑ์
ดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ (RMSEA)	≤ 0.05	0.06	ไม่ผ่านเกณฑ์
ดัชนีรากมาตรฐานของค่าเฉลี่ยกำลังสองของส่วนที่เหลือ (SRMR)	≤ 0.05	0.05	ผ่านเกณฑ์
ดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (GFI)	> 0.90	0.94	ผ่านเกณฑ์
ดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้ (AGFI)	> 0.90	0.90	ผ่านเกณฑ์
ดัชนีระบุขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (CN)	≥ 200	224.54	ผ่านเกณฑ์

ผลการวิเคราะห์ พบว่าแบบจำลองตามสมมติฐานมีความกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์อยู่ในเกณฑ์ดีหรือแบบจำลองมีความเที่ยงตรงสูง พิจารณาได้จากค่าสถิติไค-สแควร์มีนัย สำคัญทางสถิติ (χ2 = 217.84,df = 84 , p= .00) ค่าสถิติไค-สแควร์ต่อระดับความเป็นอิสระมีเท่ากับ 2.59 น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ค่าดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (GFI) เท่ากับ 0.94 และค่าดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้แล้ว (AGFI) เท่ากับ 0.90 และค่า CN (Critical N) เท่ากับ 224.54 ซึ่งมากกว่า 200 จึงสรุปได้ว่าโมเดลตามสมมติฐานมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

อิทธิพลทางตรง (Direct effect) ของตัวแปรในแบบจำลองที่ 1.

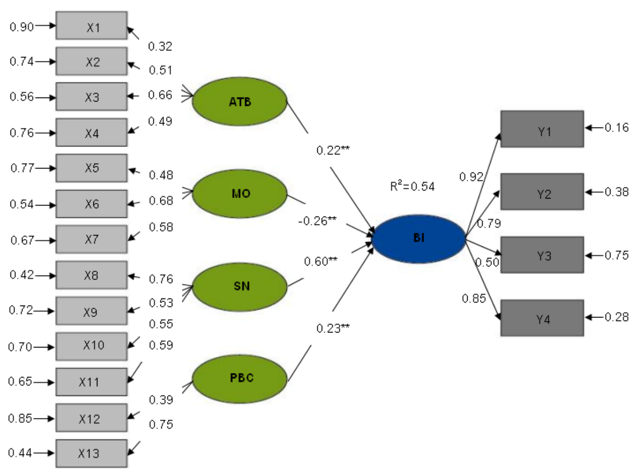
จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารของผู้เดินทาง (BI) ซึ่งเป็นตัวแปรผลลัพธ์สุดท้ายของโมเดล พบว่าเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารได้รับอิทธิพลทางตรงสูงสุดจาก การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง (SN) รองลงมาก็คือ พันธะทางจริยธรรม

(MO) เจคติต่อพฤติกรรม (ATB) และ การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม (PBC) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพล เท่ากับ 0.60, -0.26 , 0.23 และ 0.22 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (R^2) พบว่าตัวแปรสาเหตุทั้ง 4 ตัวแปรที่นำมาศึกษา สามารถร่วมกันอธิบายความแปรปรวนของเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารได้ถึงร้อยละ 54

ตารางที่ 2 อิทธิพลทางตรง (DE) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณกำลังสอง R^2
ของตัวเชิงสาเหตุที่ส่งผลต่อตัวแปรเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารแบบจำลองที่ 1.

ตัวแปรเชิงสาเหตุ	BI
	DE
ATB	0.22**
MO	-0.26**
SN	0.60**
PBC	0.23**
R^2	0.54

** p< .01



รูปที่ 1 แบบจำลองที่หนึ่ง แสดงความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงสาเหตุของทัศนคติที่ส่งผลต่อเจตนาในการใช้รถตู้โดยสาร

6.3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของทัศนคติที่ส่งผลต่อเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารแบบจำลองที่ 2.

การวิเคราะห์ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลองตามสมมติฐานการวิจัยกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ผลการวิเคราะห์ปรากฏดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสถิติความสอดคล้องของแบบจำลองตามสมมติฐานกับข้อมูลเชิงประจักษ์

ค่าดัชนี	เกณฑ์การพิจารณา	แบบจำลอง	
		ค่าสถิติ	ผลการพิจารณา
Chi-square/df	< 3	178.01/62 = 2.87	ผ่านเกณฑ์
p value of (χ2)	> 0.05	0.00	ไม่ผ่านเกณฑ์
ดัชนีความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าพารามิเตอร์ (RMSEA)	≤ 0.05	0.06	ไม่ผ่านเกณฑ์
ดัชนีรากมาตรฐานของค่าเฉลี่ยกำลังสองของส่วนที่เหลือ (SRMR)	≤ 0.05	0.05	ผ่านเกณฑ์
ดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (GFI)	> 0.90	0.94	ผ่านเกณฑ์
ดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้ (AGFI)	> 0.90	0.90	ผ่านเกณฑ์
ดัชนีระบุขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (CN)	≥ 200	214.52	ผ่านเกณฑ์

ผลการวิเคราะห์ พบว่าแบบจำลองตามสมมติฐานมีความกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์อยู่ในเกณฑ์ดี พิจารณาได้จากค่าสถิติไค-สแควร์มีนัย สำคัญทางสถิติ (χ2 = 178.01 ,df = 62 , p= .00) ค่าสถิติไค-สแควร์ต่อระดับความเป็นอิสระมีเท่ากับ 2.87 น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ค่าดัชนีวัดระดับความกลมกลืน (GFI) เท่ากับ 0.94 และค่าดัชนีวัดระดับความกลมกลืนที่ปรับแก้แล้ว (AGFI) เท่ากับ 0.90 และค่า CN (Critical N) เท่ากับ 214.52 ซึ่งมากกว่า 200 จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองตามสมมติฐานมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

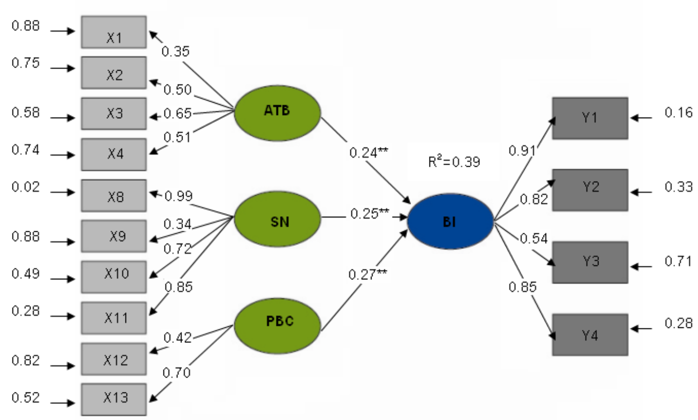
อิทธิพลทางตรง (Direct effect) ของตัวแปรในแบบจำลองที่ 2.

จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารของผู้เดินทาง (BI) ซึ่งเป็นตัวแปรผลลัพธ์สุดท้ายของแบบจำลอง พบว่า เจตนาในการใช้รถตู้โดยสารได้รับอิทธิพลทางตรงสูงสุดจาก การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม (PBC) รองลงมาก็คือ การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง (SN) และเจตคติต่อพฤติกรรม (ATB) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลเท่ากับ 0.27,0.25 และ0.24 ตาม ลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (R^2) พบว่าตัวแปรสาเหตุทั้ง 3 ตัวแปรที่นำมาศึกษา สามารถร่วมกันอธิบายความแปรปรวนของเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารได้ถึงร้อยละ 39

ตารางที่ 4 อิทธิพลทางตรง (DE) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณกำลังสอง R^2
ของตัวเชิงสาเหตุที่ส่งผลต่อตัวแปรเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารแบบจำลองที่ 2.

ตัวแปรเชิงสาเหตุ	BI
	DE
ATB	0.24**
SN	0.25**
PBC	0.27**
R^2	0.39

** p< .01



รูปที่ 2 แบบจำลองที่สอง แสดงความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงสาเหตุของทัศนคติที่ส่งผลต่อเจตนาในการใช้รถตู้โดยสาร

6.4 การเปรียบเทียบแบบจำลองและการนำเสนอค่าอิทธิพลของตัวแปรในแบบจำลอง

หลังจากทำการปรับปรุงแบบจำลองเพื่อให้แบบจำลองมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ทั้ง 2 แบบจำลองพบว่า แบบจำลองทั้ง 2 มีความเหมาะสมกลมกลืนกับข้อมูลเชิงประจักษ์อยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ แต่เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลของตัวแปรพันธะทางจริยธรรมในแบบ จำลองที่ 1. พบว่าค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลของตัวแปรพันธะทางจริยธรรมที่ส่งผลต่อตัวแปรเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารมีค่าติดลบ ซึ่งสามารถแปลความหมายได้ว่า ผู้ที่มีเจตนาหรือความตั้งใจที่จะใช้รถตู้โดยสารนั้น จะมีพันธะทางจริยธรรมในระดับต่ำ ผลจากการแปลความหมายดังกล่าวมีความไม่สมเหตุสมผลในการนำไปอธิบายความสัมพันธ์ของทัศนคติที่ส่งผลต่อเจตนาในการใช้รถตู้โดยสาร เมื่อกลับไปพิจารณาข้อคำถามในแบบสอบถามทั้ง 3 ข้อที่สะท้อนความหมายของพันธะทางจริยธรรม ทำให้ผู้วิจัยพบถึงปัญหาจากข้อคำถามเกี่ยวกับการให้นิยามเชิงปฏิบัติการของคำถาม พบว่า การให้นิยามเชิงปฏิบัติการในแบบสอบถามเพื่อวัดพันธะทางจริยธรรมนั้น ยังมีข้อผิดพลาดในการแปลความหมายของคำถามเกี่ยวกับพันธะทางจริยธรรม ซึ่งทำให้ผลที่ได้จากการสำรวจไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่คาดไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นสมควรว่า ควรจะนำแบบจำลองที่ 2. ซึ่งเป็นแบบจำลองที่กำหนดตัวแปรไว้ตามทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน ซึ่งสามารถอธิบายถึงทัศนคติในเชิงจิตวิทยาที่ส่งผลต่อเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารของผู้เดินทางได้เหมาะสมมากกว่า เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม LISREL ให้ผลสอดคล้องกับทฤษฎีของ TPB ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะนำแบบจำลองที่ 2. มาอธิบายทัศนคติในเชิงจิตวิทยาที่ส่งผลต่อเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารต่อไป

7. สรุปผลการวิจัย

ผลการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ พบว่า ตัวแปรมีความสัมพันธ์กับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ ระดับ 0.05 โดยมีความ สัมพันธ์ทางบวกยกเว้นตัวแปร ความเชื่อในการควบคุมการกระทำพฤติกรรมของตน (X12) ที่มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับตัวแปร การคำนึงถึงผลของการกระทำพฤติกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อสังคม (X5) การตระหนักถึงผลของการกระทำที่เป็นประโยชน์ต่อตนเอง (X7) ความคล้อยตามบุคคลหรือกลุ่มบุคคลที่สำคัญต่อตน (X10) และ ความคล้อยตามสังคม (X11)

สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันของแบบจำลองเพื่อตรวจสอบว่า ข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ได้สอดคล้องกับแบบจำลองของการวิจัยหรือไม่ และตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้างของตัวแปรแฝง เพื่อให้แน่ใจว่าตัวแปรสังเกตได้ในแต่ละตัวแปรแฝงเป็นตัวชี้วัดที่เหมาะสมสำหรับการวัดตัวแปรแฝงที่กำหนดไว้ พบว่า แบบจำลองการวัดตัวแปรแฝงภายนอก และแบบจำลองการวัดตัวแปรแฝงภายใน มีความกลมกลืนสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยตัวแปรสังเกตได้ทุกตัวมีความเหมาะสม เนื่องจากตัวแปรสังเกตได้ทุกตัวมีน้ำหนักองค์ประกอบมากกว่า .30

สำหรับการวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงสาเหตุของทัศนคติที่มีอิทธิพลต่อเจตนาในการใช้รถตู้โดยสาร ผู้วิจัยได้กำหนดแบบจำลองสมมติฐานไว้ 2 แบบจำลอง โดยแบบจำลองที่ 1. เป็นแบบจำลองความสัมพันธ์เชิงสาเหตุตามทฤษฎีของ TPB และได้เพิ่มตัวแปร พันธะทางจริยธรรม (Moral obligation) เข้าไปในแบบจำลองเพื่อให้มิติการวัดทัศนคติกว้างยิ่งขึ้น ส่วนแบบจำลองที่ 2. เป็นแบบจำลองที่กำหนดตัวแปรตามทฤษฎีของ TPB ซึ่งผู้วิจัยจะเลือกเพียงแค่ 1 แบบจำลองที่สามารถอธิบายทัศนคติที่ส่งผลต่อเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารได้ดีที่สุด

จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพลของแบบจำลองที่ 1. พบว่า ตัวแปรพันธะทางจริยธรรมส่งผลต่อเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารโดยมีค่าน้ำหนักสัมประสิทธิ์อิทธิพลเท่ากับ -0.26 นั่นหมายความว่าผู้ที่มีความตั้งใจในการใช้รถตู้โดยสารอยู่ในระดับสูงจะมีพันธะทางจริยธรรมที่ต่ำ ซึ่งผลที่ได้ไม่สมเหตุสมผลเท่าที่ควร เนื่องจากพันธะจริยธรรมควรจะมีอิทธิพลในทางบวกต่อเจตนาในการกระทำพฤติกรรม ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่า แบบจำลองที่ 1. ในการศึกษาในครั้งนี้ ยังไม่เหมาะสมพอที่จะนำไปอธิบายความสัมพันธ์ของทัศนคติที่ส่งผลต่อความตั้งใจในการใช้รถตู้โดยสารได้ดีเท่าที่ควร ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้แบบจำลองที่ 2. เป็นแบบจำลองในการอธิบายความสัมพันธ์ของทัศนคติที่ส่งผลต่อเจตนาในการใช้รถตู้โดยสาร

ซึ่งผลจากการวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรแฝงจากแบบจำลองที่ 2. พบว่า เจตนาในการใช้รถตู้โดยสารได้รับอิทธิพลทางตรงสูงสุดจาก การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม (PBC) การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง (SN) และเจตคติต่อพฤติกรรม (ATB) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์อิทธิพล เท่ากับ 0.27, 0.25 และ 0.24 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย (R^2) พบว่าตัวแปรสาเหตุทั้ง 3 สามารถร่วมกันอธิบายความแปรปรวนของเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารได้ถึงร้อยละ 39

สำหรับการวิจัยในอนาคตที่ผู้วิจัยขอเสนอแนะเป็นแนวทางในการศึกษาในวันข้างหน้า เนื่อง จากในการวิจัยในครั้งนี้ การวิเคราะห์ถึงเจตนาในการใช้รถตู้โดยสาร ผู้วิจัยได้พิจารณาจากตัวแปรแฝงทัศนคติในเชิงจิตวิทยาเท่านั้น โดยยังไม่ได้พิจารณาเพิ่มตัวแปรแฝงด้านอื่นๆเข้ามาในแบบจำลอง ซึ่งจากผลการวิจัยในครั้งนี้ทำให้ทราบว่า เจตคติต่อพฤติกรรม การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง และการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม โดยตัวแปรสาเหตุทั้ง 3 ตัวมีความสามารถร่วมกันอธิบายความแปรปรวนของเจตนาในการใช้รถตู้โดยสารได้ร้อยละ 39 นั้นแสดงให้เห็นว่า ยังมีปัจจัยหรือตัวแปรอื่นๆที่ส่งอิทธิพลถึงเจตนาในการใช้รถตู้สารอีกร้อยละ 61 ผู้วิจัยจึงเป็นระบุเป็นข้อเสนอแนะในการวิจัยในครั้งต่อไปว่าควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยนำปัจจัยอื่นๆเข้ามาพิจารณาร่วมด้วย เนื่องจากว่าเจตนาในการกระทำพฤติกรรมไม่ได้รับอิทธิพลทางตรงเฉพาะแค่ทัศนคติเท่านั้น แต่หากยังได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นๆ ตัวอย่างเช่น ลักษณะทางเศรษฐกิจสังคมของบุคคล รูปแบบการให้บริการที่ดีจากผู้ให้บริการ รวมทั้งนโยบายการส่งเสริมและสนับสนุนให้ประชาชนเดินทางด้วยรถตู้โดยสาร เป็นต้น

8. เอกสารอ้างอิง

[1] นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2542). ความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงเส้น (LISREL) สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] นันท์นภัส พลเตมา. (2550). รูปแบบความสัมพันธ์โครงสร้างเชิงสาเหตุขององค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการสื่อสารทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เขตพื้นที่การศึกษา3 กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาการวิจัยและสถิติทางการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[3] บุญรักษ์ กุณาศล.(2543).การศึกษาสาเหตุและแรงจูงใจในการให้และใช้บริการรถตู้โดยสารในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[4] สุชาดา บวรกิติวงศ์. (2548). สถิติประยุกต์ทางพฤติกรรมศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] สุชาต ประสิทธิ์รัฐสินธุ์ และคนอื่นๆ. (2549). แบบจำลองสมการโครงสร้าง: การใช้โปรแกรม LISREL, PRELIS และ SIMPLIS. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. สามลดา.

[6] สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์. (2548). การประยุกต์ใช้แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างเพื่อการตรวจสอบทัศนคติของคนในชุมชนที่มีต่อมาตรการเก็บค่าผ่านเข้าพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[7] Ajzen, I. Theory of Planned Behavior [Online]. Available from : http://people.umass.edu/ajzen/tpb.html. [2007,June 21]

[8] Bamberg, S., Ajzen, I., and Schmidt, P., Choice of Travel Mode in the Theory of Planned Behavior: The Roles of Past Behavior, Habit, and Reasoned Action. Past Behavior and Reasoned Action. Department of Psychology. University of Massachusetts. Amherst. USA.

[9] Fishbein and Ajzen. (1975). Belief, Attitude, Intention, and Behavior : An Introduction to Theory and Research. Addison-Wesley. Reading. MA.

[10] Illian J. F., et al. , (2004). Constructing questionnaires based on the theory of planned behavior: A manual for health services researchers. Centre for Health Services Research. University of Newcastle. UK.

[11] Joreskog, K.G. et al. (2000). LISREL 8 : New Statistical Features. Lincolnwood. IL.: Scientific Software International.

[12] Joreskog, K., and Sorbom, D. (1993). LISREL8: Structural Equation Modeling with the SIMPLIS Command Language. Scientific Software International. Lincolnwood. IL.

[13] Kline, R.B., (1998). Principles and Practice of Structural Equation Modeling. New York. USA. Guilford Press.

การประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพของอาคารที่พักอาศัย คอนกรีตเสริมเหล็กในเขตชุมชน

Evaluation of Damages and Deteriorations of Residential RC buildings in Community Area

บัญญัติ วารินทร์ไหล[1] ปิติศานต์ กร้ำมาตร[2] รักติพงษ์ สหมิตรมงคล[3] สมนึก ตั้งเติมสิริกุล[4]

[1]อาจารย์ โปรแกรมวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
nowsurvey@hotmail.com
[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[3]นักวิจัยและ[4]ศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC) สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประเมินความเสียหายและการเสื่อมสภาพของอาคารที่พักอาศัยประเภทอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในเขตชุมชน โดยทำการตรวจสอบพินิจ ทดสอบและประเมินค่ากำลังอัด วัดระยะหุ้มเหล็ก วัดระยะความหนาปูนฉาบในกรณีที่มีชั้นปูนฉาบ เจาะเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบระยะคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างอาคารตัวอย่างในโครงการที่พักอาศัยทั้งหมด 9 โครงการ ผลการศึกษาพบว่าการตรวจสอบพินิจของโครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จ ปัญหาที่พบมากที่สุดคือปัญหาการรั่วซึมของน้ำที่บริเวณรอยต่อของโครงสร้าง นอกจากนี้ยังพบปัญหาเล็กน้อยเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาของไพไรต์ สำหรับโครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบหล่อในที่ ปัญหาที่พบมากสุดคือการแตกร้าวของโครงสร้าง การหลุดร่อนของชั้นปูนฉาบ และการเกิดสนิมในบางส่วนของโครงสร้างซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนคือในโครงการเคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2 ในขณะที่ปัญหาการรั่วซึมของน้ำในโครงสร้างนั้นจะมีอยู่บ้างแต่ระดับความรุนแรงจะน้อยกว่าปัญหาการรั่วซึมของน้ำที่พบในกรณีของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จ สำหรับกำลังอัดและระยะหุ้มเหล็กของโครงสร้างอาคารมีค่าเฉลี่ยเกินค่าที่ได้ออกแบบไว้ ในส่วนการเกิดระยะคาร์บอเนชั่นนั้นพบว่าอัตราการพัฒนาระยะคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างอาคารที่มีตำแหน่งที่ตั้งติดกับทางด่วนสูงกว่าที่ไม่ติดกับทางด่วน ในขณะที่ตำแหน่งที่ตั้งของโครงสร้างอาคารในเขตกรุงเทพมหานครมีอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นสูงกว่าในเขตปริมณฑล ส่วนในกรณีโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จนั้นมีแนวโน้มว่าอัตราการพัฒนาระยะคาร์บอเนชั่นช้ากว่าโครงสร้างอาคารหล่อในที่เมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมเหมือนกัน

Abstract

This study is an evaluation of damages and deteriorations of residential RC buildings in community area. Visual inspection, compressive strength, cover thickness, thickness of plastering mortar and carbonation depth of RC buildings in nine residential communities were measured. The results indicated the different damages. For precast structures, it was found that water leakage at the joints of the structure was the most common problem. It was also found that there were some problem with the deterioration due to Pyrite reaction. As for structure which were cast in place, the most common problem is the cracking of the structure. Deterioration of plastering mortar and corrosion in some parts of the structure is obvious in the second part of the Klongtoey housing project, These structure may have some problem with water leakage, but the level of damage is less than those of precast structures. The compressive strength and cover thickness of most of the structures were larger than the design specification. For carbonation depth, it was found that the rate of carbonation was higher in the buildings located near expressway while the buildings in Bangkok showed, on average, higher rate of carbonation than those in the suburb area. It was also found that the rate of carbonation of precast concrete buildings had greater carbonation resistance than those constructed with cast-in-place method in the similar environment.

Keyword: Visual inspection, Carbonation depth, Schmidt Hammer, Cover, Carbonation Coefficient

1. บทนำ

ในประเทศไทยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีการใช้คอนกรีตมาเป็นวัสดุในการก่อสร้างโครงสร้างหลายๆประเภท เช่น อาคารที่พักอาศัย ถนน เป็นต้น ทั้งนี้คอนกรีตอาจจะมีปัญหาการเสื่อมสภาพเนื่องจากความคงทนของคอนกรีตได้ เช่น การแตกร้าวขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก การเกิดสนิมของเหล็กเสริม การหลุดร่อนของปูนฉาบ เป็นต้น การเสื่อมสภาพเนื่องจากสภาวะแวดล้อมดังกล่าวเป็นปัญหาที่สำคัญและพบเห็นได้ทั่วไปในปัจจุบัน เช่น โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่ในเขตที่มีการจราจรหนาแน่นจะมีโอกาสสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 600 ถึง 650 ppm ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังกล่าวจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$ ในซีเมนต์เพสต์ ทำให้เกิดแคลเซียมคาร์บอเนตดังสมการที่ 1 [1]

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O \qquad (1)$$

ปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่าปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นซึ่งทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตลดลงส่งผลให้เหล็กเสริมเกิดสนิมได้หรือโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ใกล้กับสิ่งแวดล้อมชายทะเลก็มีโอกาสสัมผัสกับไอเกลือจากทะเลได้เช่นกัน ซึ่งสภาวะดังกล่าวส่งผลกระทบต่อตัวโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้ตัวโครงสร้างคอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพ

จากผลการวิจัยในอดีตพบว่าอัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นในคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นโดยที่บริเวณความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 50-75 ทำให้อัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นสูง ชนิดของวัสดุประสาน เช่น กรณีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยทำให้เกิดคาร์บอเนชั่นได้เร็วขึ้น และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์โดยคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในอัตราที่สูงเกิดคาร์บอเนชั่นได้เร็วขึ้น [2,3,4]

อย่างไรก็ตามผู้ก่อสร้างและผู้ใช้งานโครงสร้างส่วนใหญ่มักจะไม่ตระหนักต่อปัญหาการเสื่อมสภาพของโครงสร้างอาคารที่เกิดขึ้น รวมทั้งไม่ค่อยมีการตรวจสอบประเมินสภาพโครงสร้างอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาความคงทนที่พอจะมีการตรวจสอบอยู่บ้าง ก็เป็นการตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น เขื่อน สะพาน เป็นต้น ในขณะที่ยังไม่ค่อยมีการดูแลบำรุงรักษาอาคารคอนกรีตที่ใช้งานมาเป็นเวลาที่นานแล้ว รวมถึงอาคารที่สภาพทรุดโทรมยังถูกใช้งานตามปกติ ซึ่งปัจจัยทั้งหลายเหล่านี้ล้วนส่งผลให้ความแข็งแรงขององค์อาคารและอายุการใช้งานของโครงสร้างลดลงตามลำดับ จนอาจเกิดการพังทลายของโครงสร้างได้

สำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้นั้นเพื่อเป็นการรับมือกับปัญหาการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นของอาคารที่พักอาศัยในเขตพื้นที่ต่างๆ จึงได้สำรวจเก็บข้อมูลของความเสียหายและการเสื่อมสภาพของโครงสร้างที่พักอาศัยที่อยู่ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน ตลอดจนศึกษารวบรวมองค์ความรู้เกี่ยวกับสภาวะและปัจจัยต่างๆที่มีผลต่ออัตราการเกิดคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

2. ระเบียบวิธีการศึกษา

2.1 การคัดเลือกโครงการตัวอย่าง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีสภาวะเสี่ยงต่อปัญหาความคงทนของคอนกรีตเป็นหลักรวมทั้งหมด 9 โครงการ ดังแสดงใน***ตารางที่ 1***

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

	ลักษณะโครงสร้าง	*แล้วเสร็จ (พ.ศ.)*	*อายุโครงสร้าง* (ปี)*	*ตำแหน่งที่ตั้ง*	
				ละติจูด	*ลองติจูด*
พื้นที่กรุงเทพฯ					
1.เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะที่ 1	หล่อในที่	2520	33	13’45’47.2”N	100’32’55.7”E
2.เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2	หล่อในที่	2536	16	13’42’47.4”N	100’34’16.3”E
3.เคหะชุมชนดินแดง 3	หล่อในที่	2522	31	13’45’31.7”N	100’33’13.7”E
4.เคหะชุมชนดินแดง (12ชั้น)	หล่อในที่	2520	33	13’45’59.5”N	100’33’22.6”E
5.เคหะชุมชนห้วยขวาง	หล่อในที่	2520	33	13’46’34.4”N	100’34’15.7”E
พื้นที่ปริมณฑล					
6.บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์	ชิ้นส่วนสำเร็จ	2548	5	13’52’36.4”N	100’32’8.8’E
7.บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1	ชิ้นส่วนสำเร็จ	2549	4	13’58’54.0”N	100’37’43.3”E
8.เคหะชุมชนนวนคร	หล่อในที่	2526	27	14’07’10.1”N	100’36’20.6”E
พื้นที่ชลบุรีและพัทยา					
9.เคหะชุมชนพัทยา 2	หล่อในที่	2536	17	12’54’22.9”N	100’53’27.3”E

*อายุโครงสร้างนับจากวันที่ก่อสร้างเสร็จไปจนถึงวันที่ตรวจสอบ (พ.ศ.2553)

ตารางที่ 1: โครงการคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

2.2 ตรวจพินิจอาคารที่พักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็ก

การตรวจพินิจ (Visual Inspection) คือ การตรวจสอบด้วยตาเปล่า ร่วมกับการใช้อุปกรณ์ตรวจสอบพื้นฐาน เช่น ไม้บรรทัดมาตรวัดความกว้างของรอยร้าว แว่นขยาย หรือ กล้องถ่ายรูปโดยไม่มีการใช้เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเกี่ยวข้องกับการวัดความเสียหาย โดยการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการตรวจสอบหน้างาน เช่น แบบโครงสร้างอาคาร แบบสถาปัตยกรรมตัวอาคาร ข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง และข้อมูลการซ่อมแซมบำรุงรักษาของตัวอาคาร เป็นต้น จากนั้นทำการเดินสำรวจสภาพโครงสร้างอาคาร โดยใช้การจดบันทึกตำแหน่งและลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวอาคาร พร้อมกับถ่ายรูปประกอบเพื่อจัดทำแผนที่ความเสียหาย นำข้อมูลที่บันทึกได้ จำแนกและวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้น

2.3 การหาตำแหน่งเหล็กเสริมและวัดระยะหุ้มเหล็กเสริม

ทำการทดสอบหาตำแหน่งเหล็กเสริมด้วยเครื่องวัดระยะหุ้มเหล็กเสริมก่อนที่จะเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตสำหรับทดสอบระยะคาร์บอเนชั่น จากนั้นวัดระยะหุ้มเหล็กเสริมในตำแหน่งที่ใกล้กับตำแหน่งที่เจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตทดสอบระยะคาร์บอเนชั่น ***(รูปที่ 1ก)*** โดยแต่ละตำแหน่งที่เจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตจะวัดค่าระยะหุ้มเหล็กเสริม 4 ค่า เก็บข้อมูลระยะหุ้มเหล็กเสริม 54 ตำแหน่งต่อ 1 โครงการ ทำให้ได้ค่าระยะหุ้มเหล็กเสริมทั้งหมด 216 ค่าต่อ 1 โครงการ

2.4 การวัดกำลังอัด

สำหรับการวัดกำลังอัดของคอนกรีตใช้วัดค่าสะท้อนกลับของคอนกรีตด้วยค้อนกระแทก (Schmidt Hammer) ในตำแหน่งที่ใกล้กับตำแหน่งที่เจาะเก็บตัวอย่าง ***(รูปที่ 1ข)*** โดย 1 ตำแหน่งเก็บค่าการสะท้อนกลับของคอนกรีต 36 ค่าโดยจุดที่วัดค่าการสะท้อนแต่ละครั้งต้องห่างกันประมาณ 25 มิลลิเมตร เก็บข้อมูลทั้งหมด 1944 ค่าต่อ 1 โครงการ

(ก) การวัดระยะหุ้มเหล็กเสริม (ข) การวัดค่าการสะท้อน

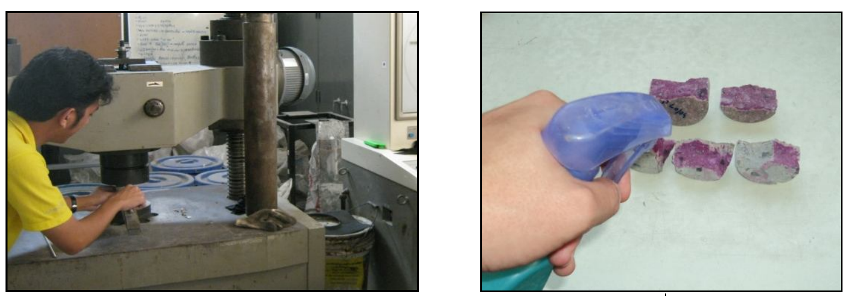
รูปที่ 1: การทดสอบแบบไม่ทำลาย

2.5 ตำแหน่งที่ทำการเจาะเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 4-5 เซนติเมตร เก็บจากบริเวณบันไดขึ้นลงชานพักบันไดที่อยู่ขอบตัวอาคาร โดยในแต่ละโครงการทดสอบทั้งหมด 3 อาคาร (ยกเว้นโครงการเคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น) ทดสอบ 2 อาคาร) และในแต่ละอาคารเจาะเก็บตัวอย่างจากชั้นที่ 1 (ที่ระดับความสูงประมาณ 1-2 เมตรจากระดับพื้นดิน) ชั้นที่ 3 (ที่ระดับความสูงประมาณ 5-7 เมตรจากระดับพื้นดิน) และชั้นที่ 5 (ที่ระดับความสูงประมาณ 11-13 เมตรจากระดับพื้นดิน) จำนวนชั้นละ 6 ตำแหน่ง รวมทั้งหมด 54 ตัวอย่างต่อโครงการ สำหรับโครงการที่มีความสูงเกิน 5 ชั้น คือเคหะชุมชนดินแดง 3 เจาะเก็บตัวอย่างชั้นที่ 8 เพิ่มเติม (ที่ระดับความสูงประมาณ 17-19 เมตรจากระดับพื้นดิน) รวมทั้งหมด 72 ตัวอย่างต่อโครงการ เคหะชุมชนดินแดง(12 ชั้น) เจาะเก็บตัวอย่างชั้นที่ 12 เพิ่มเติม (ที่ระดับความสูงประมาณ 30-32 เมตรจากระดับพื้นดิน) รวมทั้งหมด 48 ตัวอย่างต่อโครงการ และเคหะชุมชนพัทยา 2 เจาะเก็บตัวอย่างชั้นที่ 9 (ที่ระดับความสูงประมาณ 25-27 เมตรจากระดับพื้นดิน) และชั้นที่ 19 (ที่ระดับความสูงประมาณ 55-57 เมตรจากระดับพื้นดิน) เพิ่มเติม รวมทั้งหมด 78 ตัวอย่างต่อโครงการ

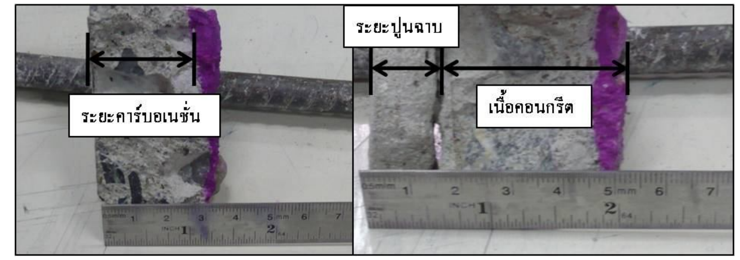
2.6 การเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตและการทดสอบระยะคาร์บอเนชั่น

ตัวอย่างคอนกรีตที่นำมาทดสอบระยะคาร์บอเนชั่นครั้งนี้ได้จากการเจาะด้วยสว่านหัวเจาะแบบ HOLESAW ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ลึกประมาณ 4-5 เซนติเมตรจากตำแหน่งที่กล่าวมาข้างต้น โดยนำตัวอย่างคอนกรีตดังกล่าวมาทำการผ่าซีกเพื่อทดสอบระยะคาร์บอเนชั่น ***(รูปที่ 2ก)*** ปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตลดลง (โดยทั่วไปค่า pH ของคอนกรีตประมาณ 13) ในการทดสอบนี้ได้ทำการแยกสีส่วนที่เกิดคาร์บอเนชั่นออกจากส่วนที่ยังไม่เกิดคาร์บอเนชั่น โดยฉีดพ่นด้วยสารละลายฟีนอล์ฟธาลีนไปยังคอนกรีตที่ผ่าซีกแล้ว ***(รูปที่ 2ข)*** ซึ่งสารละลายสารละลายฟีนอล์ฟธาลีนจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูเข้มในบริเวณที่ค่า pH ของคอนกรีตมีค่ามากกว่า 9 จากนั้นวัดค่าระยะคาร์บอเนชั่น ซึ่งคือระยะที่คอนกรีตไม่มีการเปลี่ยนแปลงสี ***(รูปที่ 3ก)*** สำหรับโครงการที่เป็นโครงสร้างแบบหล่อในที่ สามารถวัดค่าระยะปูนฉาบได้จากตัวอย่างที่เจาะ ***(รูปที่ 3ข)***



(ก) การผ่าซีกก้อนตัวอย่างคอนกรีต (ข) นำก้อนตัวอย่างที่ผ่าซีกฉีดพ่นด้วยสารละลายฟีนอล์ฟธาลีน

รูปที่ 2: การทดสอบวัดระยะคาร์บอเนชั่น



(ก) กรณีชิ้นส่วนสำเร็จ (ข) กรณีหล่อในที่และมีปูนฉาบ

รูปที่ 3: ระยะคาร์บอเนชั่นและปูนฉาบ

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์

จากการตรวจพินิจอาคารที่พักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็กที่สร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จพบความเสียหายดัง***ตารางที่ 2*** โดยปัญหาส่วนใหญ่เป็นปัญหาเกี่ยวกับการรั่วซึมของน้ำที่บริเวณรอยต่อของโครงสร้าง ซึ่งเป็นปัญหาที่เกี่ยวเนื่องกับการใช้งานโครงสร้างและอาจจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างส่วนที่สัมผัสกับน้ำ

นอกจากนี้ยังไม่พบปัญหาเกี่ยวกับการแตกร้าวหรือการเกิดสนิมที่รุนแรงในตัวอย่างโครงสร้างระบบชิ้นส่วนสำเร็จที่ได้ทำการตรวจสอบไปแล้ว ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจจะเป็นเพราะตัวอย่างโครงสร้างระบบชิ้นส่วนสำเร็จ ในความดูแลของการเคหะแห่งชาติทั้งหมดนั้นยังมีอายุค่อนข้างน้อย (<10 ปี) ปัญหาเกี่ยวกับความคงทนที่พบเห็นบ่อยสุดระหว่างการตรวจสอบคือการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาของไพไรต์ (พบใน 3 โครงการจาก 4 โครงการ โดยปฏิกิริยาของไพไรต์ เกิดจากการใช้มวลรวมที่มีส่วนผสมของเหล็กและกำมะถันในรูปของไพไรต์ (FeS_2) ในการผสมคอนกรีต หากปริมาณไพไรต์ที่ปะปนอยู่ในมวลรวมนั้นทำปฏิกิริยากับความชื้นและอากาศ ได้กรดซัลฟุริกและสารประกอบคล้ายสนิมที่มีปริมาตรมากขึ้นกว่าสารตั้งต้นซึ่งส่งผลให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวและหลุดร่อนออกไปในที่สุด) อย่างไรก็ตามการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาของไพไรต์นั้นส่งผลกระทบแค่บริเวณผิวของคอนกรีตซึ่งมีผลต่อกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างน้อยมาก

ความเสียหายที่พบ/โครงการ	รังสิตคลอง 1	บึงกุ่ม	ประชานิเวศน์	ปทุมธานี (บ้านฉาง)
รอยต่อของโครงสร้างอาคารเกิดรอยร้าว	ปานกลาง	น้อย	น้อย	น้อย
น้ำรั่วซึมตามรอยต่อ	น้อย	น้อย	น้อย	น้อย
ปฏิกิริยาไพไรต์	ปานกลาง	ปานกลาง	น้อย	-
เหล็กเสริมเกิดสนิม	น้อย	-	-	-
กระเบื้องปูพื้นล่อน/การโก่งตัวของพื้นกระเบื้อง	น้อย	-	น้อย	-
การหลุดร่อนของสี	-	น้อย	-	น้อย
ปัญหาสิ่งแปลกปลอมในโครงสร้าง (เช่นมีแผ่นโฟมหรือแผ่นไม้อยู่ในรอยต่อ)	-	-	-	น้อย

หมายเหตุ ตารางที่ 2 และ 3: น้อย หมายถึง จำนวนความเสียหายน้อยกว่า 15 จุด ในหนึ่งอาคาร
ปานกลาง หมายถึง จำนวนความเสียหายมากกว่า 15 จุดแต่น้อยกว่า 30 จุดในหนึ่งอาคาร
มาก หมายถึง จำนวนความเสียหายมากกว่า 30 จุดในหนึ่งอาคาร
- หมายถึง ไม่พบความเสียหาย

ตารางที่ 2: สรุปสภาพความเสียหายที่พบในโครงการที่สร้างด้วยระบบ Precast (บ้านเอื้ออาทร)

ส่วนการตรวจพินิจอาคารที่พักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็กที่สร้างด้วยระบบหล่อในที่พบความเสียหายดัง***ตารางที่ 3*** ซึ่งในกรณีของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบหล่อในที่นี้จะพบปัญหาการแตกร้าวของโครงสร้าง การหลุดร่อนของชั้นปูนฉาบได้โดยทั่วไป และพบปัญหาการเกิดสนิมในบางส่วนของโครงสร้างได้อย่างชัดเจนคือในโครงการเคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 1 และ 2 ในขณะที่ปัญหาการรั่วซึมของน้ำในโครงสร้างนั้นจะมีอยู่บ้างแต่ระดับความรุนแรงจะน้อยกว่าปัญหาการรั่วซึมของน้ำที่พบในกรณีของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จ

ความเสียหายที่พบ/โครงการ	**นวนคร**	**หลักสี่**	**คลองเตย 1**	**คลองเตย2**	**ดินแดง1**	**พัทยา 2**
การแตกร้าวในองค์อาคารรับแรง	น้อย	น้อย	ปานกลาง	น้อย	ปานกลาง	มาก
การแตกร้าวของผิวอาคารด้านนอก	-	น้อย	น้อย	น้อย	-	น้อย
การหลุดร่อนของชั้นปูนฉาบ	น้อย	-	-	น้อย	น้อย	-
ปัญหาการเกิดสนิมและการกะเทาะของคอนกรีตหุ้มเหล็ก	น้อย	น้อย	มาก	มาก	น้อย	น้อย
น้ำฝนรั่วซึมเข้าในอาคาร	น้อย	น้อย	-	น้อย	น้อย	น้อย
การหลุดร่อนของสี	-	น้อย	น้อย	น้อย	น้อย	น้อย

ตารางที่ 3: สรุปสภาพความเสียหายที่พบในโครงการที่สร้างด้วยระบบ Cast-in-place (เคหะชุมชน)

การจำแนกระดับความเสียหายของแต่ละโครงการใน***ตารางที่ 2 และ 3*** นั้นเป็นการจำแนกระดับเฉลี่ยโดยให้ความสำคัญความเสียหายแต่ละจุดเท่ากัน และให้ความสำคัญกับจำนวนจุดที่เกิดความเสียหายเป็นตัวแปรหลักในการจำแนกระดับ อย่างไรก็ตามจากผลการตรวจสอบพบว่าความเสียหายที่รุนแรงมักจะอยู่ในอาคารที่มีจำนวนความเสียหายประเภทดังกล่าวมากด้วยเหตุนี้ การจำแนกระดับด้วยจำนวนจึงมีความสัมพันธ์ทางอ้อมกับความรุนแรงของความเสียหายแต่ละประเภทในแต่ละโครงสร้างด้วย

จากผลการทดสอบโครงสร้างแบบชิ้นส่วนสำเร็จและแบบหล่อในที่ พบว่าระยะหุ้มเหล็กทั้ง 9 โครงการที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 35-57มม. ดังแสดงใน***ตารางที่4*** โดยระยะหุ้มเหล็กมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ออกแบบมาตรฐานที่การเคหะแห่งชาติกำหนดไว้คือ 25 มม. [5]

ส่วนผลการทดสอบค่ากำลังอัดด้วยวิธีการวัดแรงสะท้อนกลับของผิวคอนกรีตด้วย Schmidt Hammer ทั้งหมด 9 โครงการนั้นสามารถนำมาใช้ในการประมาณค่ากำลังอัดของคอนกรีตโดยอาศัยข้อมูลความสัมพันธ์ของสมการที่ (2) [6]

$$f_c' = -176.4 + (12.446 \times RN) \qquad (2)$$

โดยที่ f_c' คือค่าประมาณการกำลังอัดของ คอนกรีต (กก./ซม.^{2})

RN คือค่าเฉลี่ยการสะท้อนของ Schmidt Hammer

โดยผลของกำลังอัดเฉลี่ยทั้ง 9 โครงการอยู่ระหว่าง 218-434 กก./ซม.^{2} ดังแสดงใน***ตารางที่ 4*** ซึ่งพบว่ากำลังอัดเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ออกแบบมาตรฐานที่การเคหะแห่งชาติกำหนดไว้คือ 200 กก./ซม.^{2} [5]

สำหรับระยะความหนาปูนฉาบที่ได้ทดสอบ ***(ตารางที่ 4)*** พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8-15 มม. โดยที่โครงการเคหะชุมชนดินแดง 3 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์ออกแบบมาตรฐานที่การเคหะแห่งชาติกำหนดไว้คือ 10 มม. [5] สำหรับโครงการอื่นๆ มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ออกแบบที่การเคหะแห่งชาติกำหนดไว้

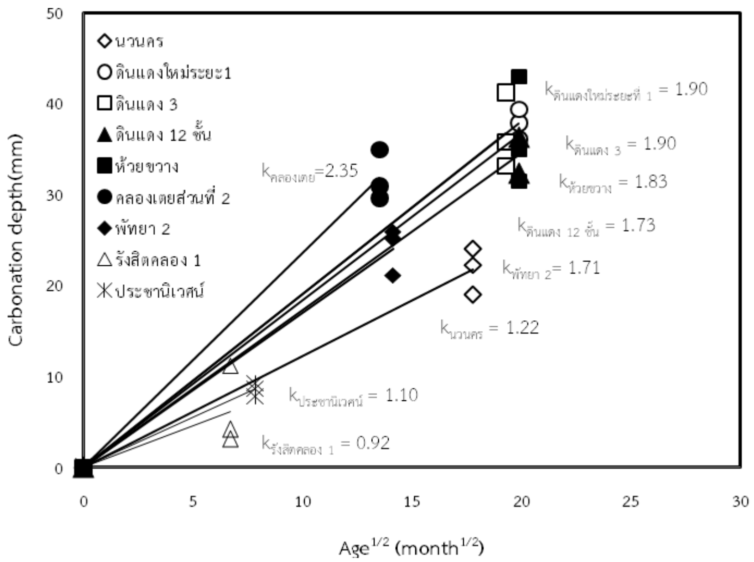
โครงการที่เข้าตรวจสอบ	***ระบบก่อสร้าง***	***อายุ (เดือน)***	***ระยะหุ้มเหล็ก***		***Schmide Hammer***		***ความหนาปูนฉาบ***	
			ระยะเฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.^{2})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระยะเฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1	ชิ้นส่วนสำเร็จรูป	45	35.85	9.35	431.32	46.97	ไม่มี	-
บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์	ชิ้นส่วนสำเร็จรูป	62	41.86	11.51	433.67	54.59	ไม่มี	-
เคหะชุมชนนวนคร	หล่อในที่	317	51.48	8.12	349.48	80.11	14.72	5.58
เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะ 1	หล่อในที่	396	46.79	12.57	218.13	88.05	12.94	4.78
เคหะชุมชนดินแดง 3	หล่อในที่	372	48.07	11.77	283.33	86.48	8.18	6.25
เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น)	หล่อในที่	396	45.95	8.31	378.95	45.20	0*	0
เคหะชุมชนห้วยขวาง	หล่อในที่	396	47.30	13.25	363.15	60.11	0*	0
เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2	หล่อในที่	183	56.36	12.55	304.12	50.09	13.43	4.88
เคหะชุมชนพัทยา 2	หล่อในที่	200	55.57	11.94	355.11	71.68	10.84	6.15

*จุดที่ทำการทดสอบอาคารเคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น) และเคหะชุมชนห้วยขวางเป็นผิวคอนกรีตเปลือย ระยะปูนฉาบจึงมีค่าเท่ากับศูนย์

ตารางที่ 4: ผลระยะหุ้มเหล็ก,กำลังอัดจาก Schmide Hammer และความหนาของปูนฉาบ

โครงการที่เข้าตรวจสอบ	***อายุ (เดือน)***	***ระยะคาร์บอเนชั่น***		***สัมประสิทธิ์คาร์บอเนชั่น***	
		ระยะเฉลี่ย (มม.)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	k (มม./เดือน$^{1/2}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
บ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1	45	6.18	4.88	0.92	0.73
บ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์	62	8.63	5.16	1.10	0.66
เคหะชุมชนนวนคร	317	21.72	9.39	1.22	0.57
เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะ 1	396	37.80	8.87	1.90	0.45
เคหะชุมชนดินแดง 3	372	36.70	8.22	1.90	0.43
เคหะชุมชนดินแดง (12 ชั้น)	396	34.38	13.02	1.73	0.65
เคหะชุมชนห้วยขวาง	396	36.48	10.86	1.83	0.55
เคหะชุมชนคลองเตยส่วนที่ 2	183	32.50	8.05	2.35	0.64
เคหะชุมชนพัทยา 2	200	24.18	6.97	1.71	0.49

ตารางที่ 5: ผลระยะคาร์บอเนชั่นเฉลี่ยและสัมประสิทธิ์คาร์บอเนชั่น



รูปที่ 4: ความสัมพันธ์ระหว่างระยะคาร์บอเนชั่นและอายุของโครงสร้าง (หล่อในที่และชิ้นส่วนสำเร็จ)

จาก***ตารางที่ 5*** แสดงผลระยะคาร์บอเนชั่นเฉลี่ยของอาคารในโครงการตัวอย่างทั้ง 9 โครงการ พบว่าระยะคาร์บอเนชั่นเฉลี่ยของโครงการที่ได้ศึกษาในครั้งนี้ มีค่าอยู่ระหว่าง 6-38 มม. โดยโครงการที่มีสถานที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร (เช่น เคหะชุมชนดินแดงใหม่ระยะ 1 ระยะคาร์บอเนชั่นเฉลี่ยเท่ากับ 37.80 มม.) มีแนวโน้มของระยะคาร์บอเนชั่นที่มากกว่าโครงการที่ตั้งอยู่ในเขตปริมณฑล (เช่น เคหะชุมชนนวนคร ระยะคาร์บอเนชั่นเฉลี่ยเท่ากับ 21.72 มม.) ทั้งนี้เนื่องจาก

1) สภาพอายุการใช้งานที่แตกต่างกัน คือโครงสร้างอาคารในเขตกรุงเทพมหานครมีการก่อสร้างก่อนโครงสร้างอาคารในเขตปริมณฑล

2) สภาวะแวดล้อมที่ต่างกันคือในเขตกรุงเทพมหานครมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าในเขตปริมณฑล

3) คุณภาพของคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างของแต่ละพื้นที่ก็มีส่วนที่ต่างกัน

อย่างไรก็ตามจากอายุของโครงสร้างและระยะคาร์บอเนชั่น สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอเนชั่นได้จากสมการที่ (3) [2]

$$d = k\sqrt{t} \qquad (3)$$

โดยที่ d คือค่าระยะคาร์บอเนชั่น (มม.)

t คืออายุของโครงสร้าง (เดือน)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอเนชั่น (มม./ เดือน$^{1/2}$)

จากผลการทดสอบโครงสร้างสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอเนชั่น (k) ได้ค่าดัง***ตารางที่ 5*** และพร้อมได้แสดงความสัมพันธ์ระยะคาร์บอเนชั่นและรากที่สองของอายุของโครงสร้างดัง***รูปที่ 4*** ซึ่งพบว่าอาคารที่อยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร เช่น เคหะชุมชนดินแดงมีค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอเนชั่นสูงกว่าอาคารที่อยู่ในเขตปริมณฑลเช่น เคหะชุมชนนวนคร เป็นต้น

นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอเนชั่นของอาคารชิ้นส่วนสำเร็จตำแหน่งที่ตั้งของอาคารที่ใกล้กับทางด่วน คือบ้านเอื้ออาทรประชานิเวศน์มีค่ามากกว่าบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 ในขณะเดียวกันพบว่าบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 และเคหะชุมชนนวนครซึ่งมีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในสิ่งแวดล้อมเดียวกันแต่ค่าสัมประสิทธิ์คาร์บอเนชั่นบ้านเอื้ออาทรรังสิตคลอง 1 ซึ่งเป็นกรณีโครงสร้างชิ้นส่วนสำเร็จมีค่าน้อยกว่าเคหะชุมชนนวนคร ซึ่งเป็นกรณีโครงสร้างหล่อในที่

4. สรุป

จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. โครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จ ปัญหาที่พบมากที่สุดคือปัญหาการรั่วซึมของน้ำที่บริเวณรอยต่อของโครงสร้าง นอกจากนี้ยังพบปัญหาเล็กน้อยเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาของไพไรต์ สำหรับโครงสร้างที่ก่อสร้างด้วยระบบหล่อในที่ ปัญหาที่พบมากสุดคือการแตกร้าวของโครงสร้าง การหลุดร่อนของชั้นปูนฉาบ และการเกิดสนิมในบางส่วนของโครงสร้าง ในขณะที่ปัญหาการรั่วซึมของน้ำในโครงสร้างนั้นจะมีอยู่บ้างแต่ระดับความรุนแรงจะน้อยกว่าปัญหาการรั่วซึมของน้ำที่พบในกรณีของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จ
2. จากการประเมินกำลังอัดและระยะหุ้มเหล็กของโครงสร้างอาคาร (9 โครงการที่ศึกษา) มีค่าเฉลี่ยมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ในการออกแบบ
3. อัตราการพัฒนาระยะคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างอาคารที่มีตำแหน่งที่ตั้งติดกับทางด่วนมีแนวโน้มสูงกว่าของโครงสร้างอาคารที่ตำแหน่งที่ตั้งไม่ติดกับทางด่วน ในขณะที่โครงสร้างอาคารที่ตำแหน่งตั้งในเขตกรุงเทพมหานครมีอัตราการเกิดระยะคาร์บอเนชั่นแนวโน้มสูงกว่าในเขตปริมณฑล
4. ในสิ่งแวดล้อมที่เหมือนกัน พบว่าอัตราการพัฒนาระยะคาร์บอเนชั่นของโครงสร้างอาคารชิ้นส่วนสำเร็จมีแนวโน้มช้ากว่าของโครงสร้างอาคารหล่อในที่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการเคหะแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนทุนในงานวิจัยนี้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องจากการเคหะแห่งชาติ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC) สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] Tangtermsirikul S., 2003. Durability and mix design of concrete. First Edition, Printing House of Thammasat University.

[2] J.Khunthongkeaw, S.Tangtermsirikul, and T.Leelawat, "A study on carbonation depth prediction for fly ash concrete". Construction and Building Materials, Vol.20,2006, 744-753.

[3] N.I Fattuhi, "Carbonation of concrete as affected by mix constituents and initial water curing period", Materiaux et Constructions, Vol.19: 131-136.

[4] S.K.Roy, K.B.Poh and D.O. Northwood, "Durability of concrete accelerated carbonation and weathering studies", Building and Environment, Vol.34, 1998, 597-606.

[5] คณะทำงานทบทวนรายการประกอบแบบก่อสร้าง, "รายการมาตรฐานทั่วไป รายการที่ (มฐ.) 01/2540", การเคหะแห่งชาติ, 2540.

[6] สมนึก ตั้งเติมสิริกุล และคณะ, "โครงการศึกษาวิจัยการสึกกร่อนของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดจากน้ำทะเล", ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC) สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินทร (SIIT) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ , 2551.

[7] มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีทดสอบแบบไม่ทำลาย กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2551.

การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าก้นเตา เศษปูนขาวและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

Improvement of Lateritic Soil Using Bottom Ash, Wasted Lime and Sodium Hydroxide

อุมาพร ปฏิพันธ์ภูมิสกุล[1], ประทีป ดวงเดือน[2]

[1]โปรแกรมวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
patipan219@gmail.com
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
fengptd@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเป็นการใช้เถ้าก้นเตา เศษปูนขาวและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทาง โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของดินลูกรังได้แก่ การกระจายขนาดของเม็ดดิน ปริมาณของเถ้าก้นเตาและเศษปูนขาว และอายุการบ่ม เถ้าก้นเตาและเศษปูนขาวที่ใช้ในงานวิจัยนำมาจากไฟฟ้าบีแอลซีพี เพาเวอร์ จังหวัดระยอง ศึกษาหาสัดส่วนของสารผสมเพิ่มระหว่างเถ้าก้นเตาและเศษปูนขาวตามอัตราส่วน 1:9, 3:7, 5:5 และ 7:3 โดยน้ำหนักแห้งของสารผสม จากนั้นนำสารผสมเพิ่มมาผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5 โมลาร์ทุกอัตราส่วนผสม จากนั้นนำสารผสมเพิ่มในสัดส่วนที่เหมาะสมมาผสมลงในดินลูกรังเกรด B และ D ตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนของสารผสมเพิ่มที่เหมาะสมคือ 3:7 โดยน้ำหนักแห้งเมื่อนำมาผสมกับดินลูกรังเกรด B และ D ทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มลดลง ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มสูงขึ้นและค่า C.B.R. แบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการบ่ม

คำสำคัญ: การปรับปรุงคุณภาพดิน, เถ้าก้นเตา, เศษปูนขาว, โซเดียมไฮดรอกไซด์, ดินลูกรัง

Abstract

This research attempted to study the improvement of lateritic soil by bottom ash, lime waste and sodium hydroxide solution. Tthe improvement aimed to use for road embankment construction. The study focuses on the effect of parameters (e.s.) particles size distribution, proportion of bottom ash and lime waste and curing times on the engineering properties of lateritic soil. Bottom ash and lime waste were supplied from the BLCP POWER electric generation factory located in Rayong. Proportion by weight of bottom ash and lime waste at ratios of 1:9, 3:7, 5:5 and 7:3 were mixed with 5 molars sodium hydroxide solution. Preliminary results show that the proportion 3:7 is recommended to achieve for mixing with grade B and D grain size distribution according to the subbase standard specification of The Department of Highways, Thailand. Experimental results show that maximum dry density of the improved lateritic soils decrease optimum water content of the improved were increase. Both soaked and unsoaked C.B.R. increases with increasing curing times.

Keyword: Soil improvement, Bottom Ash, Lime waste, Sodium hydroxide, Lateritic soil

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีงานก่อสร้างและปรับปรุงสาธารณูปโภคพื้นฐานต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะการก่อสร้างและปรับปรุงถนนหนทาง อันมีสาเหตุมาจากอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจและความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยี ทำให้มีการใช้วัสดุ เช่น หิน ดิน ทราย เพื่อเป็นวัสดุพื้นทางและรองพื้นทางของถนนเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าภายในประเทศมีการนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกันอย่างแพร่หลาย ผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินคือ เถ้าถ่านหิน

การก่อสร้างโดยเฉพาะงานทางจะต้องนำวัสดุในท้องถิ่นนั้นๆ มาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง แต่เนื่องจากในบางครั้งวัสดุที่ได้มีคุณภาพต่ำและไม่เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ดังนั้นเมื่อจำเป็นต้องใช้วัสดุเหล่านี้จึงต้องดำเนินการปรับปรุงคุณภาพอาจกระทำได้โดยการหาวัสดุเชื่อมประสานช่วยให้เม็ดดินยึดเกาะกันในครั้งนี้ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของเถ้าก้นเตา ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายสารปอซโซลาน จึงได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของดินโดยผสมเถ้าก้นเตา, เศษปูนขาวและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แล้วใช้เทคนิคการบดอัดดินควบคู่ไปด้วย ซึ่งการปรับปรุงโดยใช้วิธีการผสมสารนี้ยังไม่ได้มีการศึกษาทำให้ขาดความรู้ความเข้าใจในการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ประโยชน์

2. ทฤษฎีพื้นฐานของวัสดุทดสอบ

2.1 การกำเนิดดินลูกรัง

ดินลูกรังเกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศร้อนหรือกึ่งร้อนซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูง มีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือ สามารถแข็งตัวได้เมื่อทิ้งไว้ในอากาศ และมีสีแดงเพราะมีออกไซด์ของเหล็กปะปนอยู่ คุณสมบัติของดินลูกรังขึ้นอยู่กับ ชนิดของหินต้นกำเนิด ส่วนประกอบทางเคมี และสภาพภูมิอากาศ ในประเทศไทยพบดินลูกรัง ซึ่งดินลูกรังนี้สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทตามกระบวนการเกิดดังนี้ [1]

1. Primary lateritic soils หมายถึง ดินลูกรังซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ และเกิดอยู่กับที่เหนือหินเดิม เหล็กที่เป็นส่วนประกอบได้จากธาตุพวกเฟอร์โรแมกนีเซียมที่มีอยู่ในหินชั้นล่างๆลงไป

1.1 Decomposition เป็นขบวนการสลายตัวทางเคมีฟิสิกส์ในการทำลาย Primary Minerals

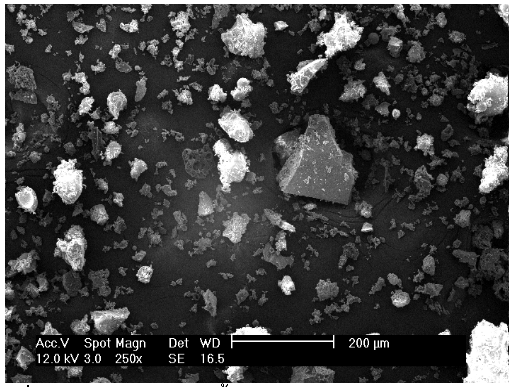
1.2 Laterization เป็นขบวนการก่อกำเนิดลูกรังโดยจะเกิดการชะล้างภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเกิดการรวมตัวของซิลิก้า, ด่าง และสารพวกออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ของเซสควิออกไซด์ (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Ti_2O_3) ส่วนสารอื่นๆ จะถูกระบายหรือรวมตัวกันขึ้นกับความเป็นกรด ด่าง ของน้ำในดิน

1.3 Dehydration หรือ Dessication เป็นขบวนการสูญเสียความชื้นโดยจะเกิดดีไฮเดรชั่น ในบางส่วนหรือทั้งหมดของเซสควิออกไซด์ (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Ti_2O_3) และ Secondary Mineral ซึ่งบางครั้งทำให้เกิดการแข็งตัว

2. Secondary lateritic soils หมายถึงการเกิด Secondary Mineral ในดินลูกรังได้แก่ แร่ดินเหนียวคาโอลิไนท์ (Kaolinite), ฮาลลอยไซด์ (Halloysite), อิลไลท์ (Illite), มอนท์โมริลโลไนท์ (Montmorillonite) และอื่นๆ ขึ้นกับอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ พืชที่ปกคลุมและสภาพการระบายน้ำ ชนิดของ Secondary Minerals ในดินลูกรังมีประโยชน์มากในทางวิศวกรรมปฐพีเพราะสามารถคาดการณ์ถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังได้ เช่น ดินลูกรังที่มีมอนท์โมริลโลไนท์ และ อิลไลท์สูงจะมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ ความดันน้ำในโพรงสูง และบวมตัวได้ง่ายกว่าดินลูกรังที่มีคาโอลิไนท์และคลอไรต์เป็นส่วนประกอบเป็นต้น

2.2 เถ้าก้นเตา (Bottom Ash)

เถ้าก้นเตาเป็นสารปอซโซลานสังเคราะห์ มีคุณสมบัติตามธรรมชาติ ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือ SiO_2 , Al_2O_3 ,Fe_2O_3 และ CaO เถ้าก้นเตาเป็นกากหรือตะกอนที่มีลักษณะเป็นเม็ดหยาบและละเอียดปะปนกัน ซึ่งได้จากการเผาไหม้ถ่านหินตามกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ให้คุณภาพรองจากแร่แอนทราไซท์ มีเนื้อแข็ง สีน้ำตาลถึงดำลักษณะมันวาว มีเหลี่ยมคม มีปริมาณซัลเฟอร์ต่ำ พื้นผิวเป็นแบบขรุขระ คล้ายกับทราย ไม่มีคุณสมบัติของการเชื่อมเกาะกันระหว่างอนุภาคระหว่างอนุภาค ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขนาดและลักษณะพื้นผิวของอนุภาคของเถ้าก้นเตา [2]

2.3 เศษปูนขาว (Typical Lime A)

เศษปูนขาว คือ กากหรือของเหลือทิ้งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดค่อนข้างสม่ำเสมอ สีเทาหรือขาวขุ่น มีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลานตามธรรมชาติ เนื่องจากประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เมื่ออยู่ในสภาพแห้งจะเป็นผงร่วนไม่มีคุณสมบัติของการเชื่อมเกาะกันระหว่างอนุภาค เศษปูนขาวเป็นรูปแบบหนึ่งของปูนขาวโดยมีส่วนประกอบทางเคมี อันประกอบด้วย CaO ร้อยละ 56 ซึ่งอาจอยู่ในรูปของปูนขาวไฮเดรต ($Ca(OH)_2$) เมื่อมีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องจะทำปฏิกิริยาไม่รุนแรง และเกิดสารผลิตภัณฑ์ซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้น

2.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ สารละลายเบสที่ละลายในน้ำ (เบสเป็นตัวละลาย น้ำเป็นตัวทำละลาย) ซึ่งสามารถแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เมื่อละลายน้ำ ในงานทางวิศวกรรมได้มีการนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารละลายเบสเข้มข้นเร่งปฏิกิริยาสารปอซโซลานทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน

2.5 กลไกการพัฒนากำลังของดินลูกรังผสมเถ้าก้นเตา เศษปูนขาวและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ปฏิกิริยาเคมีของดินลูกรังหลังผสมเถ้าก้นเตา เศษปูนขาวและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ประกอบด้วยปฏิกิริยา อันได้แก่ ปฏิกิริยา Hydration และ Flocculation ในช่วงเริ่มต้น และปฏิกิริยาในระยะยาว อันได้แก่ Cementation และ Carbonation ซึ่งจะเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระยะยาว ซึ่งแสดงปฏิกิริยาดังนี้[3]

$$Ca^{2+} + 2(OH)^- + SiO_2 \rightarrow CSH \quad (1)$$
$$Ca^{2+} + 2(OH)^- + Al_2O_3 \rightarrow CAH \quad (2)$$

3. วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุ

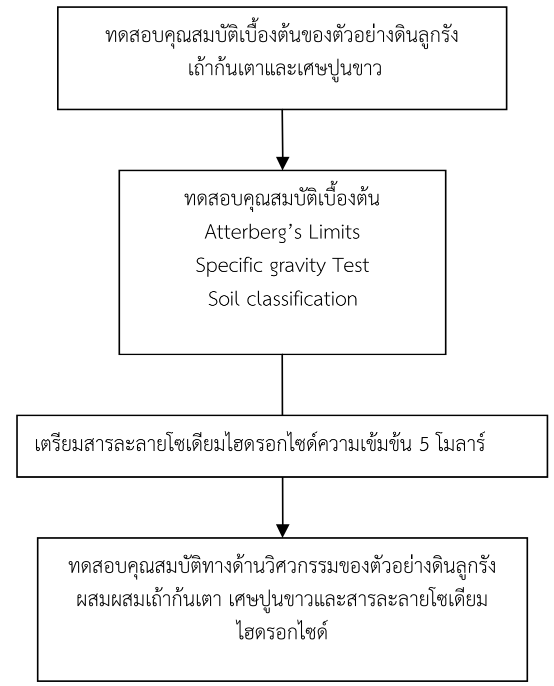
1. ตัวอย่างดินลูกรังจาก อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี
2. เถ้าก้นเตาที่ใช้ในการผสมดินลูกรังได้มาการเผาถ่านหินโดยไม่ปรับปรุงความละเอียด จากบริษัท BLCP POWER นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง
3. เศษปูนขาวที่ใช้ในการผสมดินลูกรังจัดหาจากบริษัท BLCP POWER นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

4. สารเคมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) ชนิดของแข็ง ความบริสุทธิ์ 98%
5. น้ำ ที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำประปา

3.2 แผนการทดสอบ

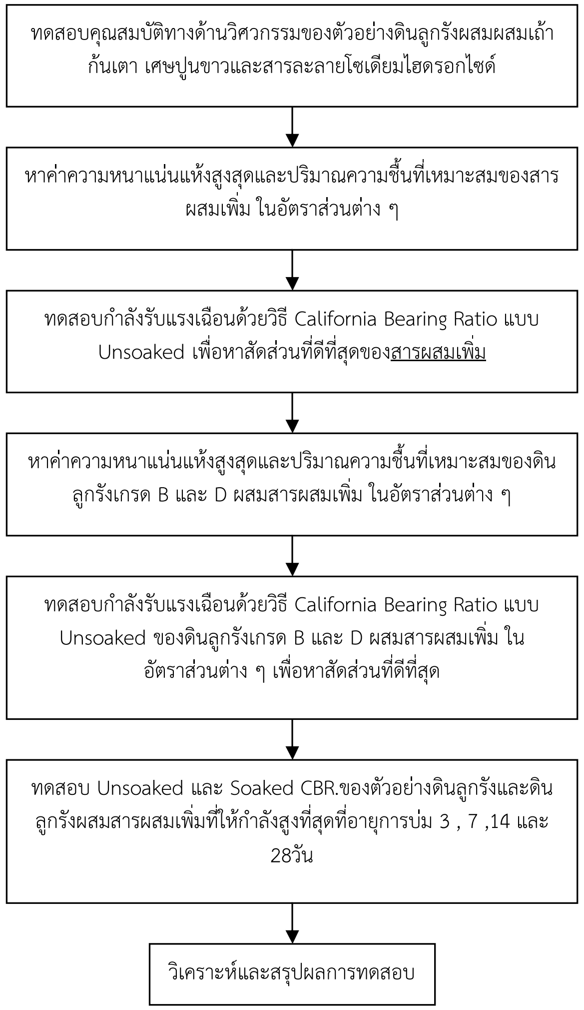
แบ่งขั้นตอนการทดสอบออกเป็น 2 ขั้นตอน

1. ทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น และคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง เถ้าก้นเตาและเศษปูนขาว ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น และด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง

2. ทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง ผสมสารผสมเพิ่ม ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังผสมเถ้าก้นเตา

3 3 สัญลักษณ์ที่ใช้เรียกและบ่งบอกตัวอย่างดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มแต่ละอัตราส่วนแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเรียกชื่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
B+20% (3:7)	ดินลูกรังเกรด B ผสมสารผสมเพิ่ม 20 % โดยในสารผสมเพิ่ม 20% มีเถ้าก้นเตา 6% และเศษปูนขาว 14% (เถ้าก้นเตา 3% ของสารผสมเพิ่มและเศษปูนขาว 7% ของสารผสมเพิ่ม)
D+25% (3:7)	ดินลูกรังเกรด D ผสมสารผสมเพิ่ม 25 % โดยในสารผสมเพิ่ม 25% (เถ้าก้นเตา 3% ของสารผสมเพิ่มและเศษปูนขาว 7% ของสารผสมเพิ่ม) มีเถ้าก้นเตา 7.5% และเศษปูนขาว 17.5%
BA	เถ้าก้นเตา
TL	เศษปูนขาว (Typical Lime A)
ZAV	เส้นแสดงปริมาตรอากาศเป็นศูนย์ (Zero air void line)
Un	การทดสอบ CBR แบบไม่แช่น้ำ
So	การทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ

4. ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังเกรด B และ D

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังได้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง

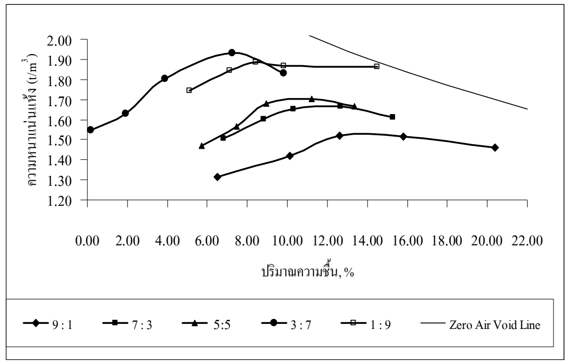
คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ			
	เกรด B	เกรด D	เถ้าก้นเตา	เศษปูนขาว
LL. (%)	23.28-25.97	23.28-25.98	NP.	NP.
PL. (%)	15.50-17.51	15.50-17.52	NP.	NP.
PI. (%)	7.78-8.36	7.78-8.37	NP.	NP.
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.78	2.78	2.25	2.97
การจำแนกตามระบบ Unified	GW-GC	SC	SP	SC
ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (t/m^3)	2.15	2.10	2.07	1.20
CBR Un (%)	30.55	15.00	56.67	120
CBR So (%)	21.33	12.40	42.03	-

5. ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังเกรด B และD ผสมเถ้าก้นเตา เศษปูนขาวและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

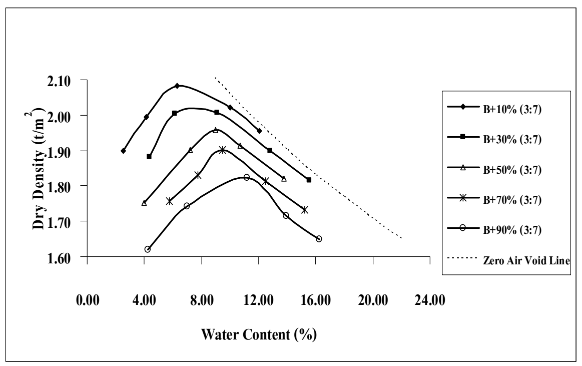
5.1 ผลการทดสอบ Compaction Test

ทำการบดอัดเถ้าก้นเตาและเศษปูนขาวโดยผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เพื่อหาความแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสม พบว่าเมื่อปริมาณเถ้าก้นเตาลดลง ความแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจมาจากเหตุผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดคละของมวลผสม เนื่องจากเถ้าก้นเตาซึ่งเป็นมวลหยาบเข้าไปแทนที่เศษปูนขาวที่มีขนาดของเม็ดละเอียดใกล้เคียงกันส่งผลให้ความแน่นแห้งสูงสุดมีค่าลดลงโดยที่เถ้าก้นเตามีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าเศษปูนขาว มีผลให้ความ

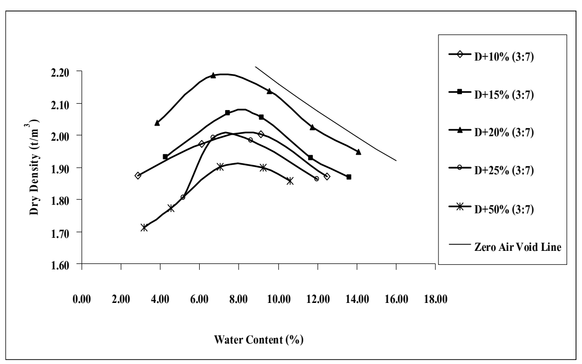
แน่นแห้งสูงสุดกลับลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงขนาดคละของดินลูกรังหลังจากที่ผสมเถ้าก้นเตาทั้งสองเกรด มีความละเอียดเพิ่มมากขึ้น เป็นผลทำให้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5, 6 และ 7



ภาพที่ 5 ความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของอัตราส่วนสารผสมเพิ่มต่างๆ (เถ้าก้นเตา : เศษปูนขาว)



ภาพที่ 6 ความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินลูกรังเกรด B ผสมสารผสมเพิ่มที่ปริมาณต่างๆ



ภาพที่ 7 ความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินลูกรังเกรด D ที่เปอร์เซ็นต์ของสารผสมเพิ่มต่างๆ

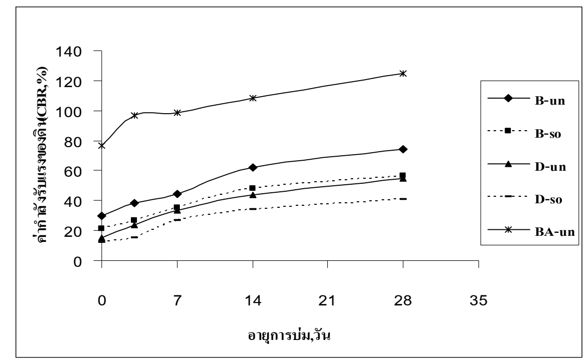
5.2 ผลการทดสอบ CBR

จากผลการทดสอบ CBR ของสารผสมเพิ่ม (เถ้าก้นเตาต่อเศษปูนขาว) แบบไม่แช่น้ำพบว่า เมื่อผสมปริมาณเศษปูนขาว มากขึ้นค่า CBR จะเพิ่มขึ้นโดยจะให้ค่ามากที่สุดที่เถ้าก้นเตาต่อเศษปูนขาว 3:7 โดยน้ำหนักแห้งของสารผสม เนื่องจากมีการวิจัยและแนะนำว่าควรใช้ปูนขาว 2-5% ในการปรับปรุงดินที่มีขนาดเม็ดหยาบ และควรใช้ปูนขาว 3-7% ในการปรับปรุงดินเม็ดละเอียด เมื่อผสมเศษปูนขาวเพิ่มมากขึ้น [4] เพราะฉะนั้นปริมาณเศษปูนขาวที่เหมาะสมในการปรับปรุงคือ 7% ผสมเถ้าก้นเตา 3% โดยน้ำหนักแห้งของสารผสม ทำให้ค่า CBR ที่ค่าสูงสุดหลังการบดอัดทันทีเท่ากับ 220%

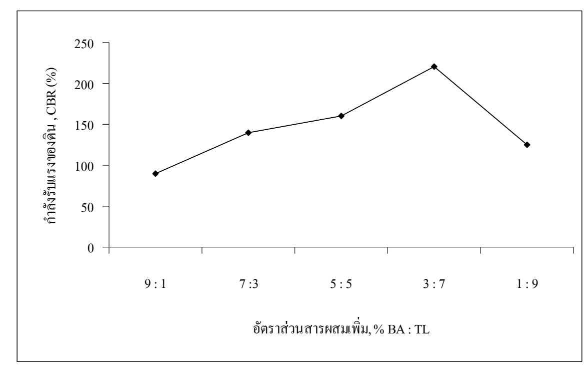
จากผลการทดสอบ CBR ของดินลูกรังเกรด B และ D ที่ผสมสารผสมเพิ่มแบบไม่แช่น้ำพบว่า เมื่อผสมปริมาณสารผสมเพิ่มมากขึ้น ค่า C.B.R. จะเพิ่มขึ้นโดยจะให้ค่ามากที่สุดที่ปริมาณการผสมสารผสมเพิ่มที่ 20% เมื่อผสมสารผสมเพิ่มมากขึ้นจากนี้ ค่า CBR จะมีค่าลดลง โดยดิน B+20% (3:7) หลังการบดอัดทันทีให้ค่า CBR คือ 178%

ส่วนผลการทดสอบ CBR ของดินลูกรังเกรด D ผสมสารผสมเพิ่มแบบไม่แช่น้ำพบว่า เมื่อผสมปริมาณสารผสมเพิ่มมากขึ้น ค่า CBR จะเพิ่มขึ้นโดยจะให้ค่ามากที่สุดที่ปริมาณสารผสมเพิ่ม 25% โดยดิน D+25% (3:7) หลังการบดอัดทันทีเป็น 170 %

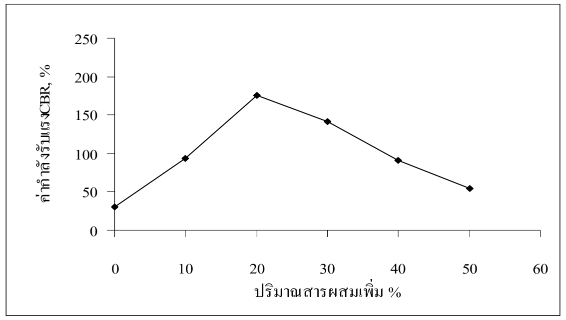
ผลของอายุการบ่มต่อ % CBR พบว่าเมื่ออายุการบ่มเพิ่มมากขึ้น% CBR มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นตามอายุการบ่มเช่นเดียวกับผลการทดสอบของดินลูกรังเกรด B, D และเถ้าก้นเตาดังแสดงในภาพที่ 8



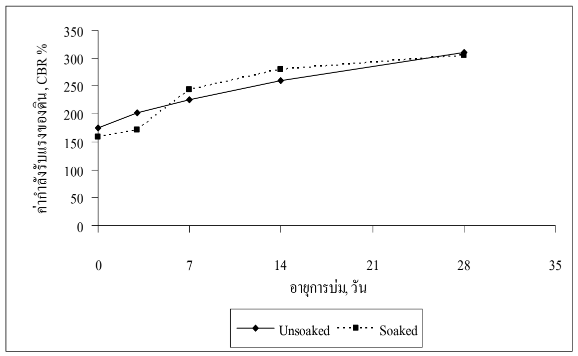
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรง CBR กับอายุการบ่มของดินลูกรังเกรด B, D และ เถ้าก้นเตา ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำ



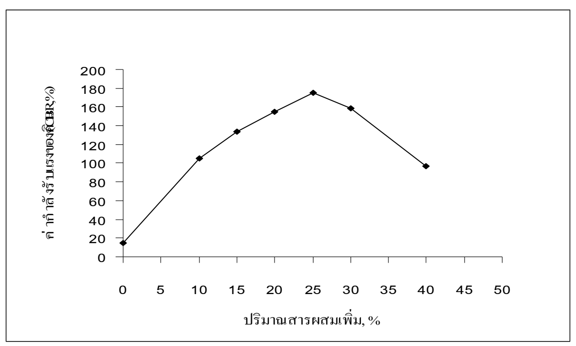
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรง CBR กับอัตราส่วนของสารผสมเพิ่มที่ให้กำลังสูงสุด แบบไม่แช่น้ำ



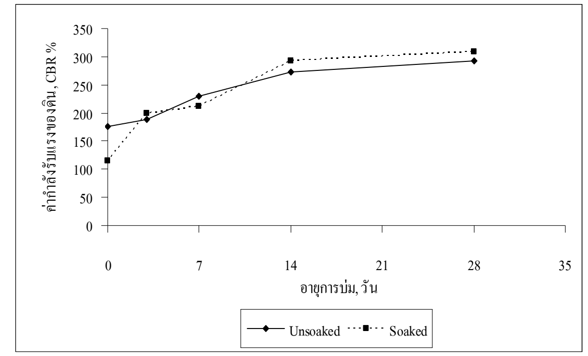
ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรง CBR กับปริมาณสารผสมต่างๆ (สารผสมอัตราส่วน 3:7) ผสมดินลูกรังเกรด B แบบไม่แช่น้ำ



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรง CBR กับอายุการบ่มต่างๆของดินลูกรังเกรด B ผสมสารผสมเพิ่มที่ 20 % (สารผสมอัตราส่วน 3:7)



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรง CBR กับปริมาณสารผสมต่างๆ (สารผสมอัตราส่วน 3:7) ผสมดินลูกรังเกรด D แบบไม่แช่น้ำ



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรง CBR กับอายุการบ่มต่างๆของดินลูกรังเกรด D ผสมสารผสมเพิ่มที่ 25 % (สารผสมอัตราส่วน 3:7)

จากการทดสอบพบว่าค่า Soaked CBR ของดินลูกรังเกรด B และ D ผสมสารผสมเพิ่ม ทดสอบทันทีหลังการบดอัด สามารถใช้เป็นชั้นรองพื้นทางได้ โดยข้อกำหนดสำหรับชั้นรองพื้นทางจะต้องมีค่า Soaked CBR มากกว่า 60% และชั้นพื้นทางจะต้องมีค่ามากกว่า 80% โดยปริมาณสารผสมเพิ่ม (อัตราส่วนเถ้ากันเตา 9% และเศษปูนขาว 1%) ที่เหมาะสมสำหรับชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทางเท่ากับ 20% โดยน้ำหนักดินแห้ง เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบพบว่า ค่า Soaked CBR ของดินลูกรังเกรด B และ D สำหรับชั้นรองพื้นทางมีค่าประมาณ 65% และ 74% ในส่วนของชั้นพื้นทางนั้นดินลูกรังเกรด B และ D สามารถใช้ปริมาณสารผสมเพิ่มเช่นเดียวกับชั้นรองพื้นทาง แต่ต้องอาศัยการบ่มตัวอย่างเพื่อเพิ่มค่า Soaked CBR โดยมีค่าประมาณ 94% และ 87% ตามลำดับ

6. สรุป

6.1 ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้นำมาจาก อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี เมื่อนำมาผสมผสมสารผสมเพิ่มแล้วมีการพัฒนากำลังสูงขึ้น ในดินลูกรังเกรด B และ D กำลังจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณสารผสม ที่เพิ่มมากขึ้นจนถึงอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารผสมเพิ่มขึ้นไปอีกกำลังจะมีค่าลดลง และมีการพัฒนากำลังตามอายุการบ่มในดินลูกรังทั้งสองเกรด

6.2 อัตราส่วนที่เหมาะสมที่ให้กำลังมากที่สุด คืออัตราส่วนสารผสมเถ้ากันเตาต่อเศษปูนขาว คือ 3 : 7 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำมาผสมในดินลูกรังเกรด B และ D กำลังจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณสารผสมเพิ่มและให้กำลังมากที่สุดที่ 20% และ 25% ของน้ำหนักดินแห้งตามลำดับ

6.3 งานวิจัยครั้งนี้สามารถบ่งชี้ว่าสารผสมเพิ่มคือเถ้ากันเตา เศษปูนขาวและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนที่เหมาะสม (อัตราส่วนเถ้ากันเตา 9% และเศษปูนขาว 1%) สำหรับชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทางเท่ากับ 20% โดยน้ำหนักดินแห้งสามารถใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อพัฒนากำลังของดินลูกรังได้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ในบทความนี้ ได้รับทุนอุดหนุน เถ้ากันเตาและเศษปูนขาวจากบริษัท BLCP POWER นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Hongnoi, M. 1969. Effect of method of preparation on the compaction and strength characteristic of lateritic soils. Asian Institute of Technology, Bangkok. 108 p

[2] วิเศษ แจ้งจิตร. 2552. **การปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยใช้เถ้ากันเตา** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[3] Hausmann, M.R. 1990. **Engineering Principles of Ground Modification.** McGraw-Hill Publ. Co. Sydney.

[4] Wang J.W.H., M. Mateos and D.T. Davidson. “Comparison Effects of Hydraulic, Cacitic and Dolomitic Limes and Cement in Soil Stabilization” **Highway Research Abstracts.**Vol.32, No.11-24 Annual Meeting of The Highway Resaerch Board, Washington D.C., National Academy of Sciences, 1963

Application of 2-D Finite Difference Model to Simulate Seepage Flow through an Earthfill Dam

JanjiraAksornnarong[1],Supicha Kongple[1], Phatcharasak Arlai[2]andTawatchai Tingsanchali[2]

[1]Graduate Student in Master of Water Resource Engineering Program
Nakhon Pathom Rajabhat University
[2]Research Center of Water Resources and Disaster Mitigation Management
Nakhon Pathom Rajabhat University
arlaip@mail.npru.ac.th

Abstract

The analysis ofa seepage flowthroughanearthfill dam is very crucial point in the dam design. The classical graphical method for analyzing a seepage flowmay be too complicatefora multiple-zone earthfill dam which is commonly presented in an earthfill dam. The difficulty for an investigation of seepage flow through a dam can be solved by the means of numerical models, so called finite difference or finite element model. This paper illustrates how a finite difference model can be applied to investigate a seepage flow through an earthfill dam. The 2 dimensional finite difference of groundwater flow-MODFLOW is applied to analyze a seepage flow througha typical earthfill dam. This groundwater flow model provides the piezometric head field of seepage flow within a dam. Next, the advective transport-PMPATH sub-model is run to delineate the flow lines through a dam. The combination of fields of piezometric heads and flow lines illustrates the flow net and phreatic line within the dam. The result of the study clearly shows the uses of applying finite difference models for the seepage flow analysis.

Keyword: 2-dimensional, Finite Difference Model, Simulation, a Seepage Flow through an Earthfill Dam

1.Rational

The design of earthfill dam is required to carefully consider seepage control, as the 25 persent of dam failure cases are caused by uncoordinated seepage seepage control[1]. The control of seepage flow which decreases the excess seepage discharge can be done by implementing the low-hydraulic conductivity zone in the dam or frequently so called "core zone", and also byconstructinga draining system within the dam [3].The lavish seepage flow through a dam may cause piping failure in a dam.The flow net graphical delineation for investigating seepage flow is obviously practical for homogeneous- and simple-shapedearthfill dam. Normally, the earthfill dam is multi-zoned earth damwhich causes the seepage flow mechanism to be more complicated.Herewith, the numerical method would be the answer to deal with a multi-zoned earthfill dam, as it can handle faster and more accurate seepage investigation rather than the classical graphic method. The paper illustrates how to apply a 2 dimensional finite difference of groundwater- and advective transport model to investigate the seepage flow in an earthfill dam.

2. Theory

2.1 Groundwater FlowEquation

The groundwater flow equation is initiated from a combination between continuity equation of mass (equation 1) and Darcy's law which is an empirical equation (equation 2) as follows [1] :

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = S\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (1)$$

$$q = -K\nabla h \qquad (2)$$

The groundwater flow equationcan be written as a partial differential equation as follows:

$$\left(Kxx\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + Kyy\frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + Kzz\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}\right) = S\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (3)$$

The variables in equation 3 are previously defined.

Where*x, y, z* are coordinates system for distance, *t* is time, *q* is discharge per unit width,*h* is hydraulic head,*K* is hydraulic conductivity and *S* is storage parameter. Equation 3 can be so called as "*Poisson's Equation*". The main assumption of deriving groundwater flow equation is the constant density flow.

3. Model Application

The studyillustrates a 2 dimensional finite difference of groundwater flow model-MODFLOW-96 (Figure 2) in order to simulate a flow net throughanearthfilldam. The problem domain is the cross-section of the earthfill dam relied on the impervious foundation at the ground level of + 51 meters (Figure 1). The upstream water level is + 63 meters, while the downstream level is + 52.5 meters. The porosity is about 0.25. The hydraulic conductivity in the previous zone is 40 meter per day, while that of the impervious zone is $4x10^{-3}$ meter per day. The top elevation of earthfill dam crest is + 66 meters, while top width of dam crest is 6 meters. The basement width of dam is 50 meters. Then the finite difference groundwater flow model is set up based on

the earlier mentioned data of the earthfill dam. The Dirichlet boundary condition is applied for the heads at upstream and downstream. The Neumann boundary condition is applied for basement of dam.

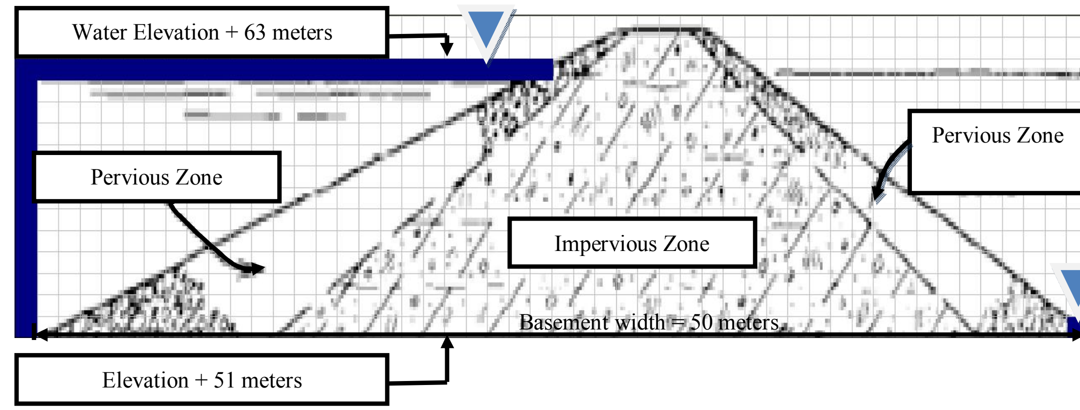


Figure 1 Finite Difference Grid of the earthfill dam

4. Study Results

The groundwater flow model-MODFLOW-96 is run by the mean of steady state. After runs, the piezometric headsare plotted from the model runs (Figure 2). The piezometrichead lines delineate the flow direction from upstream to the downstream according to the gradient of pressure. The advective transport model-PMPATH[3] is, thereafter, run and then provides the flow vectors through the earthfill dam (Figure 3).The intersections of piezometric heads and flow vectors give the flow net through the earthfill dam. It can draw the phreatic line from this flow net as shown in Figure 3.The seepage flow is from the upstream and driving through the pervious- and impervious zones, respectively. Then it drives down to the downstream toe of dam and there is no other vector that intrudes to the downstream slope.

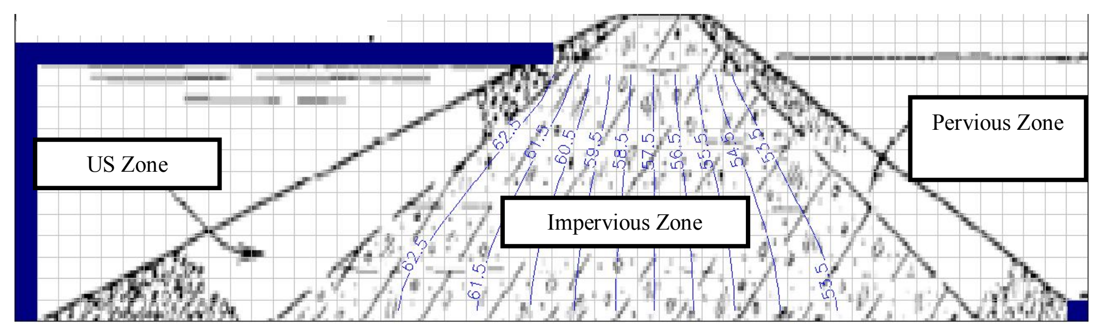


Figure 2Thecalculated piezometric head from the groundwater model run (modified from [2])

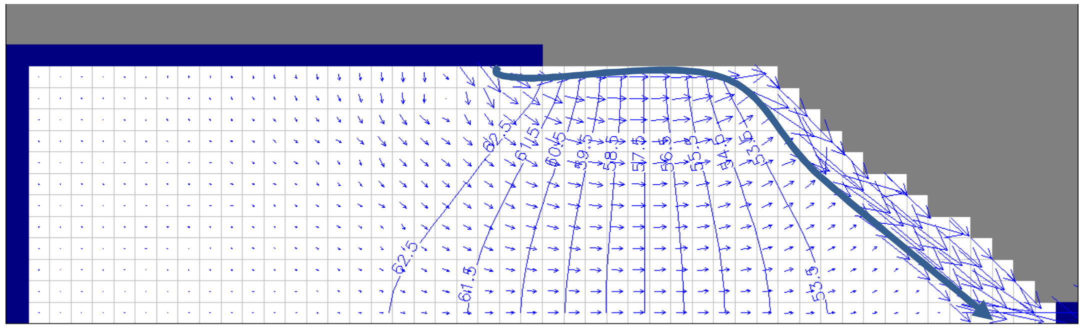


Figure 3Thecalculated flow net from the groundwater flow and advective model run

5. Summary

The paper illustrates how to set up the two dimensional groundwater- and advective model to delineate the flow net through the multi-zoned earthfill dam. The two dimensional groundwater-and advective model shows that itcan well draw the flow net in atypical heterogeneousearthfill dam.

7. Reference

[1] F. Kazim and W.S. Fei, Numerical Parametric Simulations for Seepage Flow Behaviourthrough an Earthfill Dam, Journal of Civil Engineering, Vol.14 No. 1 2002.

[2] Singh, B. and Varshney, R.S., "Engineering for Embankment Dams." A.A. Balkema,Rotterdam, 1995.

[3] W.H. Chiang and W. Kinzelbach, Processing ModflowA Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution, 1998.

Modeling Investigation on the Heterogeneity Effect to the Flow Net beneath a Concrete Dam

Supatcha Kongphed[1], Janjira Aksornnarong[1], Phatcharasak Arlai[2] and Tawatchai Tingsanchali[2]

[1]Graduate Student in Master of Water Resource Engineering Program
Nakhon Pathom Rajabhat University
[2]Research Center of Water Resources and Disaster Mitigation Management
Nakhon Pathom Rajabhat University
arlaip@mail.npru.ac.th

Abstract

A classical theory to analyze flow in an aquifer underneath the concrete dam is the Laplace equation with homogeneous condition of hydraulic conductivity. Based on the theory, the flow underneath the concrete dam, in practice, is delineated by drawing a flow net which might be subjective by each drawer. The assumption might not be consistently conformed the real situation in the field in which the subsurface underneath a dam is normally heterogeneous or anisotropic. However, the flow analysis beneath the concrete dam can be analyzed and drawn by using the 2-D groundwater flow and advective transport model. In the classical flow net drawing, it is very difficult to delineate the flow net for the heterogeneous porous media case. The paper demonstrates how to apply the 2-D groundwater flow and advective transport model to delineate the flow net beneath a concrete dam. This is an alternative tool to analyze the flow and pressure below a concrete dam. Furthermore, the paper explores the heterogeneity effect of conductivity to the flow net beneath a concrete dam. The results show the 2-D finite difference of groundwater- and advective model can simulate flow net very well in both homogeneous and heterogeneous porous media. Moreover, the heterogeneity effects of hydraulic conductivity to the flow net are discussed by comparing with the homogeneity case considering various hydraulic conductivity values.

Keyword: Homogeneous, Laplace's Equation, Flow underneath the concrete dam, Groundwater and advective Transport Model, Flownet, Heterogeneity Effect,

1. Rational

A flow net is a graphical representation of two-dimensional steady-state groundwater flow through aquifers. Construction of a flow net is often used for solving groundwater flow problems where the geometry makes analytical solutions impractical. The method is often used in civil engineering, hydrogeology or soil mechanics as a first check for problems of flow under hydraulic structures like dams or sheet pile walls. As such, a grid obtained by drawing a series of equipotential lines is called a flow net [2]. The flow net is an important tool in analysing two-dimensional irrotational flow problems. However, the theory of drawing flow net is constraints under many assumptions, i.e., (a) an aquifer is homogeneous, isotropic and saturated, (b) there is no change in head with time, (c) soil and water are incompressible, (d) flow is laminar, and Darcys Law is valid, and (e) all boundary conditions are known. These constraints are different with the real nature situation in which an aquifer is commonly non-homogeneous, anisotropic and head is varying with time. These constraints for flow net can be overcome by 2-D of finite difference of groundwater modelling. From the aforementioned reasons, it induces to this paper; the paper shows how to apply the 2-D groundwater flow and advective transport model to delineate the flow net beneath a concrete dam and explore the heterogeneity effect to the flow net beneath a concrete dam.

2. Theory

2.1 Laplace's Equation

The groundwater flow equation is initiated from a combination between continuity equation of mass and Darcy's law-an empirical equation [1]. In the steady state flow, the groundwater equation flow can be written as a partial differential equation as follows:

$$\left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}\right)=0 \qquad (1)$$

The partial differential equation can be so called "*Laplace's Equation*". The main assumptions of deriving Laplace's equation are homogeneous media and the system is not varying with time.

2.2 Flow Net

Mathematically, the process of constructing a flow net consists of contouring the two harmonic or analytic functions of potential and stream function. These functions both satisfy the Laplace equation and the contour lines represent lines of constant head (equipotentials) and lines tangent to flow paths (streamlines) as shown in Figure 1. Together, the potential function and the stream function form the complex potential, where the potential is the real part, and the stream function is the imaginary part. The construction of a flow net provides an approximate solution to the flow problem.

3. Model Implementation

The study illustrates a 2 dimensional finite difference of groundwater flow model-MODFLOW-96 (Figure 2) in order to simulate a flow net underneath a concrete dam. The problem domain is the cross-section of the embedded weir and its foundation. The upstream water stage is 12 meters, while the downstream stage is 10 meters. The porosity is about 0.15. The study simulates the hydraulic conductivity for 4 sets as follows: (a) set1

- homogeneous hydraulic conductivity-K1 = 0.3 meter per day and the other 3 sets of hydraulic conductivity (Table 1) where K2, K3 and K4 are hydraulic conductivities for set 2, 3 and 4 respectively

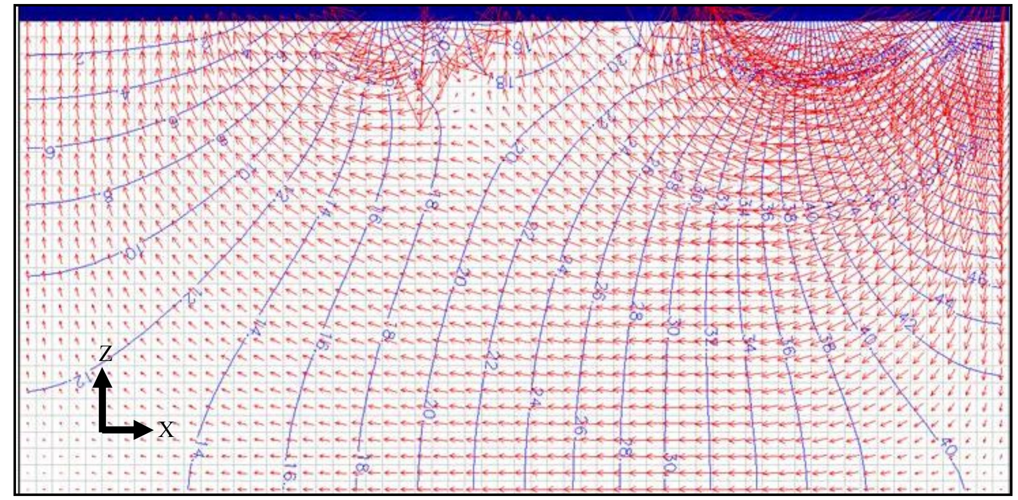


Figure 1 A flow net of groundwater flow in a hill slope (Arlai, 2012)

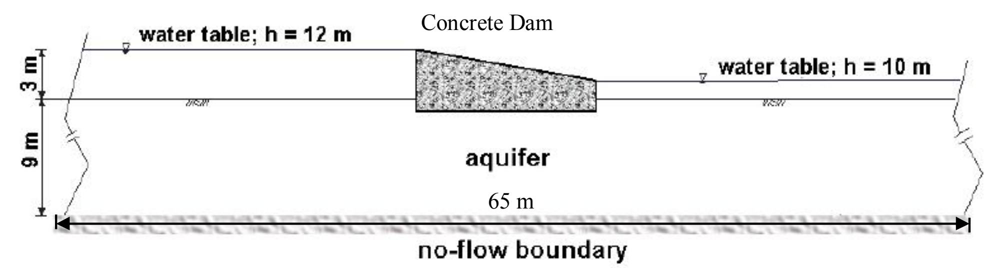


Figure 2 A cross-section of concrete dam [3]

Table 1 The different sets of hydraulic conductivity in the model domain

Layer	Depth (m)	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4
		K1(m/day)	K2(m/day)	K3 (m/day)	K4 (m/day)
1 (Top)	1-3	0.3	0.3	0.3	3
2 (Middle)	3-5	0.3	0.003	0.003	0.003
3 (Bottom)	4-9	0.3	3	0.3	3

The 4 sets of hydraulic conductivity unveil the effect of heterogeneity of conductivity to the flow net underneath the concrete dam. The hydraulic conductivity is demarcated into 3 layers, i.e., high-, low- and high conductivity in order to represent a typical aquifer in which is intervened by low conductivity layer in the middle. From the problem domain, the 2 dimensional finite difference of ground water model is set up. The upstream head is specified as Dirichlet boundary condition with head of 12 meters, while the downstream head is also specified as Dirichlet boundary condition with head of 10 meters. The model bottom boundary is specified as Neumann boundary condition at the depth of 9 meters from the channel bottom. The thickness of model is specified as one meter; while the set of hydraulic conductivity is varying as mentioned above. The model set up is shown in the figure 3 with Δx = 1 meter, Δy = 1 meter. The horizontal distance from upstream to downstream is 65 meters.

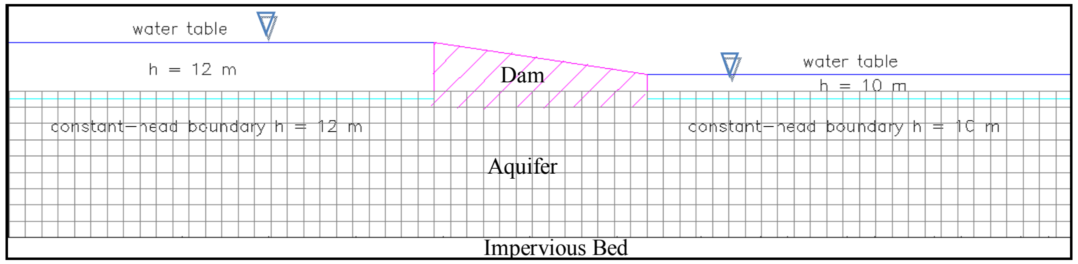


Figure 3 The 2 dimensional of finite difference of ground water model for the problem domain

4. Study Results

The groundwater flow model is run for 4 different sets of hydraulic conductivity as mentioned in the model implementation. After runs, the piezometric heads are plotted from the model runs. Thereafter, the advective transport model [3] is run and then provides the flow lines of various runs. By combining the piezometric heads and flow lines, the flow nets are delineated according different sets of hydraulic conductivities. The results as shown in Figures 4 to 7.

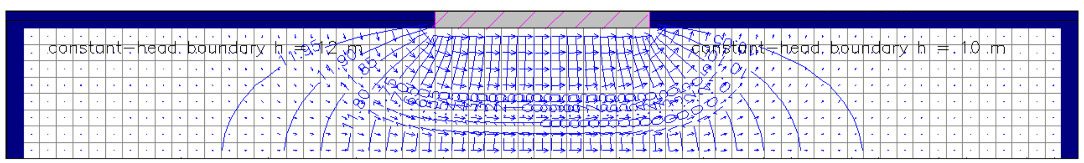


Figure 4 The flow net underneath dam due to the homogeneous hydraulic conductivity (K1) case

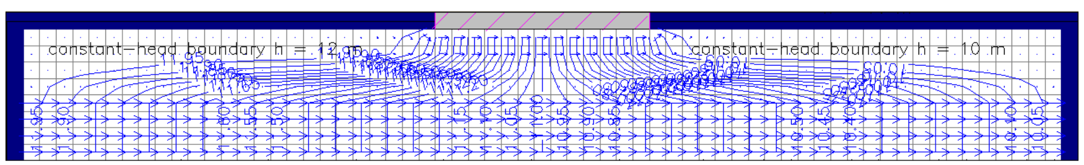


Figure 5 The flow net underneath dam due to the 1st heterogeneous hydraulic conductivity (K2) case

The 4th NPRU National Academic Conference 2012 | Nakhon Pathom Rajabhat University | Nakhon Pathom | Thailand | 12 – 13 July 2012

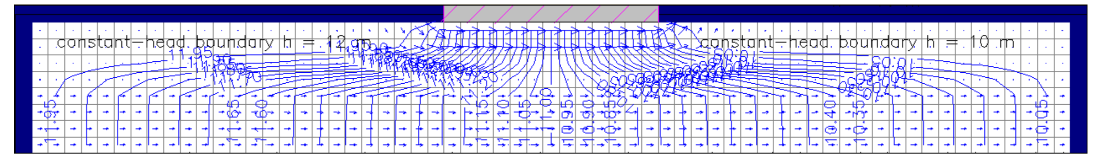


Figure 6 The flow net underneath dam due to the 2nd heterogeneous hydraulic conductivity (K3) case

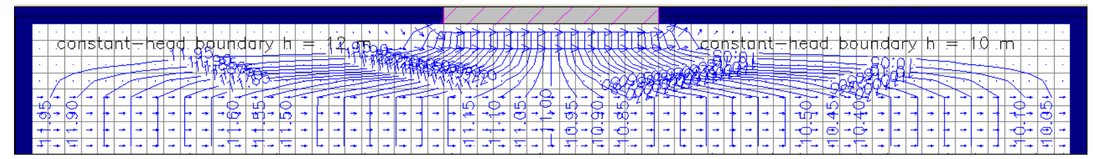


Figure 7 The flow net underneath dam due to the 3nd heterogeneous hydraulic conductivity (K4) case

Figure 4 shows that the 2 dimensional finite difference of groundwater- and advective transport model can delineate the flow net very well. By the way, Figures 4 to 7 unveil that the heterogeneity obviously changes the piezometric head lines from the homogeneity case due to the intervened low-hydraulic conductivity layer. In set 3 and 4, the flow in the top hydraulic conductivity layer is controlled to flow from the upstream to downstream above the intervened low hydraulic conductivity layer. While in the lower high hydraulic conductivity (bottom) layer, the flow velocity is lower than the upper high hydraulic conductivity (top layer) due to obstruction of the low hydraulic conductivity in the middle layer. However, in the set 2 or the first set of heterogeneity, the conductivity in bottom layer is ten times more than the top layer; therefore the groundwater in the bottom layer flows much faster than the above layers.

5. Summary

The paper illustrates how to set up the two dimensional groundwater- and advective model to delineate the flow net underneath the concrete dam. The model shows that it can well draw the flow net in both homogeneous and heterogeneous aquifers. The heterogeneity affects to the flow net field due to different hydraulic conductivities are analysis and discussed.

7. Reference

[1] Arlai P. "Groundwater Hydrology", Lecture Note, Nakhon Pathom Rajabhat University, 2012.

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Flownet

[3] W.H. Chiang and W. Kinzelbach, Processing Modflow A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution, 1998.

สามารถ **Download** เอกสารประกอบการประชุม
วิชาการของบทความวิจัยฉบับเต็ม
(The 4th NPRU National Academic Conference
Proceeding of Full-Papers)

ได้ที่เว็บไซต์ **rdi.npru.ac.th**
สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ปรัชญา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม เป็นสถาบันอุดมศึกษาเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น และสังคมไทย และเป็นแหล่งความรู้ของปวงชน มุ่งจัดการศึกษาเพื่อพัฒนาคน ให้สมบูรณ์ มีคุณค่าด้านการจัดการภูมิปัญญาและเทคโนโลยีที่เหมาะสม และมุ่งสร้างองค์ความรู้เพื่อท้องถิ่นและปวงชน

วิสัยทัศน์

เป็นมหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน ผลิตบัณฑิตที่มีคุณภาพ คู่คุณธรรม พัฒนาองค์ความรู้ ภูมิปัญญาสู่สากล

พันธกิจ

1. ผลิตบัณฑิตที่มีคุณภาพคู่คุณธรรมและขยายโอกาสทางการศึกษา
2. ผลิตบัณฑิตครูและส่งเสริมวิทยฐานะครู
3. วิจัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นสู่มาตรฐานสากล และสืบสานพัฒนาโครงการพระราชดำริ
4. พัฒนาระบบการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และยึดหลักธรรมาภิบาล
5. เพิ่มขีดความสามารถและพัฒนาศักยภาพของชุมชน

NPRU

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
เลขที่ 85 หมู่ที่ 3 ถนนมาลัยแมน ตำบลนครปฐม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000
โทรศัพท์ 0-3426-1021-38 website : www.npru.ac.th