

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
Industrial Technology
Lampang Rajabhat University Journal

วารสารกลุ่มที่ 1 ฐานข้อมูล TCI
ค่า Thai-Journal Impact Factors (T-JTF)
ปี 2561 : 0.043

ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2562
ISSN: 1906-5337 / E-ISSN: 2672-9539

**คณะกรรมการและกองบรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพปาก**

เจ้าของ ที่ปรึกษา	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพปาก อธิการบดี รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ คณบดี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
บรรณาธิการผู้ก่อตั้ง บรรณาธิการ ผู้ช่วยบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์บุญชาติ เนติศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนาคกิจกร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธิดิมา คุณยศยิ่ง

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก Peer Review)

ศ.เกียรติคุณ เสริมศักดิ์	นาคบัว	มหาวิทยาลัยศิลปากร	รศ.	สมพงษ์	บุญเลิศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่	
ศ.ดร.	ก้องกิติ	พสุสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	รศ.	สายัณห์	จันทร์วิรัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ศ.ดร.	ตรีทศ	เหล่าศิริหงษ์ทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ.	สุมาลี	อุณหวนิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ศ.ดร.	ทนงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่				พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศ.ดร.	ธนารักษ์	ธีระมันคง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ.	สุวิษ	บุตรสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.	ปริญญา	จินดาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	รศ.	อายุวัฒน์	สว่างผล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ศ.ดร.	ผดุงศักดิ์	รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	ผศ.ดร.	เกรียงศักดิ์	เขียวมั่ง	มหาวิทยาลัยบูรพา
ศ.ดร.	สุพล	อนันดา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร.	จิรพัฒน์	วณิชวัฒนาโกศล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศ.ดร.	วัฒนวงศ์	รัตนวราห	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	ผศ.ดร.	นิพนธ์	เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ศ.ดร.	อภิรัฐ	ศิริธราวัตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ผศ.ดร.	นิวัตร	พัฒนะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รศ.ดร.	กวิน	สนธิเพิ่มพูน	มหาวิทยาลัยนเรศวร	ผศ.ดร.	ศศิธร	คนทน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร.	ชิดชัย	อนันตเศรษฐ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร.	ศักดิ์พล	เทียนเสมอ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร.	ช่วงโชติ	พันธุ์เวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	ผศ.ดร.	สมชาย	มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร.	ดรณี	วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	ผศ.ดร.	สุธี	วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
รศ.ดร.	ถาวร	สารวิทย์	มหาวิทยาลัยนเรศวร	ผศ.ดร.	อภิชาติ	แจ้งบำรุง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.	ธีรศิลป์	ทมวิภาต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี	ผศ.ดร.	ภพงษ์	พงษ์เจริญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร

รศ.ดร.	นภดล	อุทัยภักขิ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร.	นพมณี	โทบุญญานนท์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รศ.ดร.	นัฐพร	ไชยญาติ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน
รศ.ดร.	ปฐศักดิ์	อัมพม	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
รศ.ดร.	พีระวุฒิ	สุวรรณจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
รศ.ดร.	พงศ์	หรรดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร.	มนตรี	ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน)

ศ.	จำเนียร	นันทิลก
รศ.ดร.	นันทะ	บุตรน้อย
รศ.ดร.	กิตติศักดิ์	สมุทรารักษ์
รศ.ดร.	อนิรุจน์	มะโนธรรม
ผศ.	พงษ์สวัสดิ์	อำนาคกิจกร
Mr.	Richard	Lawrence Mann

ฝ่ายสนับสนุนการดำเนินการจัดทำวารสาร

รศ.ดร.	วัฒนพงศ์	รักษ์วิเชียร	มหาวิทยาลัยพะเยา	ผศ.	ธิดิมา	คุณยศยิ่ง	ฝ่ายประสานงานทั่วไป
รศ.ดร.	วิชัย	แหวนเพชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	ผศ.ดร.	วศินวิโรตม์	เนติศักดิ์	ฝ่ายออกแบบงานศิลป์
รศ.ดร.	สร	อาภรณ์	มหาวิทยาลัยมหิดล	ผศ.	นราธิป	วงศ์ปัน	ฝ่ายวารสารออนไลน์
รศ.ดร.	เอกรัฐ	บุญเชียง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	นาง	วรัชญานันท์	เมธีวัชรโยธิน	ฝ่ายธุรการและการเงิน
รศ.	นิลวัฒน์	พัฒนพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพปาก	นางสาว	กมลชนก	ถาแก้ว	ฝ่ายจัดเตรียมต้นฉบับ
รศ.	ยีน	ภูววรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์				
รศ.	วิชัย	พลฤทธาราชกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น				
รศ.	วิชัย	ฤกษ์ภูริทัต	มหาวิทยาลัยนเรศวร				
รศ.	สมชาย	ชินวัฒนาประณิธิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี				

วัตถุประสงค์ : เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

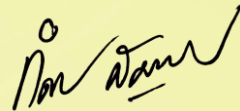
กำหนดออกวารสาร : ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม

เว็บไซต์วารสาร : <http://www.journal.itech.lpru.ac.th>

สารจาก อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ด้วยความมุ่งมั่นและความตั้งใจของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ในการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการ เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และได้รับการรับรองคุณภาพ จากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) (กลุ่มที่ 1) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีค่า Thai-Journal Impact Factors (T-JTF) ปี 2561 : 0.043 ซึ่งแสดงถึงมาตรฐานและคุณภาพของวารสารวิชาการ รวมทั้งมีการสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการในระดับมหาวิทยาลัย ในการพัฒนาวารสารวิชาการให้เข้มแข็งและเป็นการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิชาการ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่บูรณาการเข้ากับวิถีภูมิปัญญาท้องถิ่นและเป็นการสร้างสรรค์ผลงานใหม่ และเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศต่อไปอย่างยั่งยืน

ในโอกาสนี้ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการ ที่ร่วมกลั่นกรองและคัดสรรผลงานที่มีคุณภาพ รวมทั้งคณะทำงานทุกท่านที่มีส่วนร่วมการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการนี้ และขออวยพรให้วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ประสบความสำเร็จและก้าวเข้าสู่ปีที่ 13 อย่างเต็มภาคภูมิเพื่อผลิตผลงานคุณภาพเช่นนี้ต่อไป

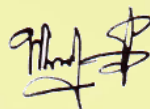


รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ สมุทธารักษ์
อธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารจาก บรรณาธิการ

การจัดทำวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม 2562 – ธันวาคม 2562 มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ และประชาสัมพันธ์ ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และผลการดำเนินงานของคณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ซึ่งได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง จนได้รับการรับรองคุณภาพ จากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) (กลุ่มที่ 1) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีค่า Thai-Journal Impact Factors (T-JIF) ปี 2561 : 0.043 อย่างไรก็ตามคณะทำงานมีความ มุ่งมั่น และตั้งใจ ที่จะพัฒนาคุณภาพวารสารให้ได้มาตรฐานของวารสารที่ได้รับการยอมรับในระดับ อาเซียนต่อไป

จากผลการดำเนินการของวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ราชภัฏลำปาง ตลอดระยะเวลา 12 ปี ที่เป็นสื่อกลางในการตีพิมพ์ เผยแพร่บทความวิจัย และบทความวิชาการ ของนักวิชาการ คณาจารย์ และนักวิจัย ในศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จนเป็นที่รู้จักและยอมรับ ในวงวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งมีการ สร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการในระดับมหาวิทยาลัย ในการพัฒนาวารสารวิชาการให้เข้มแข็ง ทำให้คณะทำงานมีกำลังใจ ในการพัฒนาคุณภาพวารสารวิชาการให้ดียิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิด ประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศไทยให้ดียิ่งขึ้นอย่างยั่งยืน



ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนางจิตติกร
บรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารบัญ

สารจากอธิการบดี

สารจากบรรณาธิการ

	หน้า
การออกแบบและสร้างรถเข็นส่งอาหารผู้ป่วยในโรงพยาบาลขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงใช้ในโรงพยาบาลเสริมงามจังหวัดลำปาง ชัยยันต์ ใจบุญมา	1
การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมีเยลลี่ ธวัชรัตน์ สัมฤทธิ์, เมธาวี ไพศาลพิสุทธิ, วิรงรอง สุพินะ, พัชรภรณ์ อินริราย และสุรินทร์พร ชังไชย	13
ผลของอุณหภูมิคาร์บอนซึ่ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของเชื้อเพลิงแท่ง จากกากปาล์มสาคุที่มีกลีเซอรินเป็นตัวเชื่อมประสาน พัชร อินธนู, สรินยา ไสเอ้อย และพิชญพร กลับกลาย	25
แบบความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ ยุทธพล พิชัยณรงค์, นัฐพงศ์ ส่งเนียม, ดุชนัน คุภวรรณะกุล และวรภัทร ไพรีเกรง	36
การออกแบบและสร้างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง กรณีศึกษากลุ่มอาชีพบ้านห้วยยาง ฤทธิ์รงค์ แจ่มอิม	49
ตัวคุณลดค่าของเสาเข็มกลุ่มที่รองรับป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ในพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร สถาพร ปกป้อง	62
การออกแบบส่วนผสมของชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้า กรณีศึกษา : โรงไฟฟ้าชีวมวล จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เสรี เลือกระสัง และชาญศักดิ์ ตรีภาพ	73
Effects of Foaming Agent Contents and Firing Temperatures on Porosity and Density of Granulated Foam Glass Prepared from Waste Glass Suthee Wattanasiriwech, Hilmee Yanya, Chuleeporn Thanomsilp, Panate Manomaivibool and Darunee Wattanasiriwech	84
Comparative Study of H350R and E8016 Electrode in Surface Hard-Facing Welding of 100 pound/yard Railway by Shielded Metal Arc Welding Arawan Chanpahol and Budsabakorn Kongruang	96
ภาคผนวก	106
ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการ	107

การออกแบบและสร้างรถเข็นส่งอาหารผู้ป่วยในโรงพยาบาลขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงใช้ในโรงพยาบาลเสริมงามจังหวัดลำปาง

A Design and Construction of Patient Food Trolley for using in the Hospital Driven by DC Motor in the Sermngam Lampang Hospital

ชัยยันต์ ไชบุญมา^{1*}

Chaiyun Jaiboonma^{1*}

^{1*}สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ หันตรา 60 หมู่ 3 ตำบล หันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000 โทรศัพท์ 0 3570 9101 โทรสาร 0 3570 9105 E-mail: Chaiyun_engineer@hotmail.co.th, E-mail: Chaiyun.J@RMUTSB.ac.th

^{1*}Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering and architecture Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi Huntra 60 Moo 3 Asian Highway, Phranakhon Si Ayutthaya 13000 Tel. +66 3570 9103 Fax. +66 3570 9105

วันที่รับบทความ 2 พฤษภาคม 2562
Received: May. 2, 2019

วันที่รับแก้ไขบทความ 26 สิงหาคม 2562
Revised: Aug. 26, 2019

วันที่ตอบรับบทความ 17 ธันวาคม 2562
Accepted: Dec. 17, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างรถเข็นส่งอาหารผู้ป่วยในโรงพยาบาลขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง การออกแบบสร้างรถเข็นมีขนาดความกว้าง 0.8 เมตร ยาวและสูง 1.2 เมตร สามารถใส่ถาดอาหารได้จำนวน 32 ถาด น้ำหนักรวมไม่เกิน 200 กิโลกรัม โครงสร้างและตัวรถเข็นทำด้วยวัสดุสแตนเลส ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดกำลังงาน 500 วัตต์ 24 โวลต์ การส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานไทม์มิ่ง ดำเนินการสร้างและทดสอบทางราบและทางชัน 15 องศา ตามมาตรฐานทางลาดชัน ผลการทดสอบรถเข็นส่งอาหารในโรงพยาบาลขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนทางราบและขึ้นทางชันไม่น้อยกว่า 15 องศา ตามเส้นทางการขนส่งอาหารผู้ป่วยในโรงพยาบาลที่อัตราเร็วสูงสุด 2.88 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้เป็นอย่างดี ระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่กรณีใช้งานต่อเนื่องเฉลี่ยเท่ากับ 2 ชั่วโมง และกรณีใช้งานขนส่งอาหารตามเส้นทางการขนส่งอาหารในโรงพยาบาลเสริมงาม อำเภอเสริมงาม จังหวัดลำปาง ระยะทาง 660 เมตรต่อวันสามารถใช้งานได้ 5 วันต่อการชาร์จ 1 ครั้ง กรณีแบตเตอรี่ใหม่ อายุการใช้งานโดยรวมของแบตเตอรี่โดยเฉลี่ยที่ยังคงมีประสิทธิภาพการใช้งานได้ดีอยู่ในช่วง 8 - 10 เดือน

คำสำคัญ: รถเข็น, รถเข็นส่งอาหารผู้ป่วย, โรงพยาบาล, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง, แบตเตอรี่

Abstract

The aim of this research was to design and construct a hospital patient food trolley driven by DC motor. The study was carried out at Sermngam Hospital, Lampang. The design dimensions of the trolley had a width of 0.8 meters, a length and height of 1.2 meters, and could accommodate 32 trays of food with a total

weight of not more than 200 kilograms. The structure and body of the trolley were made of stainless steel. Power was transmitted using a DC Motor via conveyor belts with a power rating of 500 watts, 24 volts. Having performed standard test drives on a horizontal level and a slope of 15 degrees, results showed that the trolley could drive on slopes not more than 15 degrees at a maximum speed of 2.88 kilometers per hour. The duration of battery usage in the case of continuous use was 2 hours. In the case of food transportation along the Sermngam Lampang hospital route, the trolley covered a distance of 660 meters per day. The battery can be used for 5 days per single charge and has an average lifetime of 8-10 months.

Keywords: trolley, patient food trolley, hospital, DC motor, battery

1. บทนำ

เนื่องด้วยโรงพยาบาลชุมชนขนาดเล็ก ส่วนใหญ่ยังขาดแคลนเครื่องมือและอุปกรณ์การให้บริการผู้ป่วยเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่โรงพยาบาลเสริมงาม อำเภอสว่างงาม จังหวัดลำปาง เป็นโรงพยาบาลประจำอำเภอขนาดเล็ก มีจำนวนเตียงผู้ป่วยในรวมทั้งหมด 30 เตียง และได้ทราบข้อมูลว่าโรงพยาบาลได้รับการจัดสรรและสนับสนุนงบประมาณอย่างจำกัด ไม่เพียงพอที่จะจัดซื้ออุปกรณ์ด้านการให้บริการได้ตามแผนงบประมาณประจำปี ทำให้โรงพยาบาลยังขาดแคลนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการให้บริการแก่ผู้ป่วยเป็นจำนวนมาก เช่น รถเข็นอาหารผู้ป่วย รถเข็นผ้าสะอาด รถเข็นผ้าสกกปรก เป็นต้น อุปกรณ์ที่มีอยู่ปัจจุบันส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานที่นานขึ้นส่วน เช่น ล้อ และโครงสร้างก็ผุพังตามการใช้งาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้งานของรถเข็นลดลงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งทำให้เกิดการขนส่งล่าช้า ประกอบกับการเข็นขึ้นทางชันต้องใช้พนักงานเข็นจำนวนไม่น้อยกว่า 2 คน จึงจะเข็นขึ้นทางชันได้ ทั้งนี้ทางโรงพยาบาลมีความต้องการรถเข็นอาหารผู้ป่วยที่สามารถช่วยผ่อนแรงในการเข็นให้แก่พนักงานเข็นได้ เพื่อนำมาทดแทนรถเข็นอาหารที่มีอยู่เดิมที่ขับเคลื่อนด้วยแรงเข็น เนื่องจากเส้นทางการขนส่งอาหารในโรงพยาบาล ประกอบไปด้วยเส้นทางราบและเส้นทางชัน ทำให้การเข็นรถเข็นอาหารที่มีน้ำหนักมากนั้นเป็นไปอย่างลำบาก รวมไปถึงในปัจจุบันรถเข็นอาหารผู้ป่วยในโรงพยาบาลที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีจำหน่ายในท้องตลาดก็มีราคาที่สูง

รูปแบบของรถเข็นอาหารผู้ป่วยในโรงพยาบาลจะประกอบไปด้วย 1) รถเข็นอาหารแบบเดินตามประเภชขับเคลื่อนด้วยแรงเข็น 2) รถเข็นอาหารแบบเดินตามประเภชขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 3) และรถเข็นอาหารแบบนั่งขับประเภชขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้จะศึกษา รถเข็นอาหารแบบเดินตามประเภชขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อให้สอดคล้องกับพื้นที่ ที่นำไปใช้งาน การวิจัยและพัฒนา รถเข็นอาหารผู้ป่วยสำหรับใช้ในโรงพยาบาล น้ำหนักบรรทุกรวมกับน้ำหนักตัวรถประมาณ 220 กิโลกรัม ทดสอบใช้งานจริง ณ โรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช สามารถขับเคลื่อนทางราบและทางชัน 15 องศาได้ดี (Pluemsong, S., et al., 2016) และการออกแบบรถเข็นอาหารที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพ สำหรับใช้ในโรงพยาบาล เพื่อตอบสนองอุตสาหกรรมการดูแลสุขภาพในประเทศไทย (Anuraj, N. P., Srinivasa and Ravichandran., 2013) หลักการ

ออกแบบรถเข็นที่ใช้ในโรงพยาบาล รวมไปถึงการเลือกใช้วัสดุชิ้นส่วนในการสร้างให้เหมาะสมกับการใช้งาน (Standard Steel Dressing trolley.,2014) และระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าของรถสก็ูตเตอร์เนกประสงค์สำหรับผู้ป่วย และผู้สูงอายุ น้ำหนักผู้ใช้ไม่เกิน 100 กิโลกรัม น้ำหนักรวมตัวรถแล้วประมาณ 200 กิโลกรัม ค่าอัตราเร็วสูงสุด 6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แบตเตอรี่ใช้งานต่อเนื่องได้ 1 ชั่วโมงต่อการชาร์จ 1 ครั้ง (Wongsuwarn, H., 2011) รวมถึงการสร้างรถเข็นของในห้างสรรพสินค้าระบบอัตโนมัติควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Nayak, N., et al., 2016) จากข้อมูลในการลงพื้นที่ ได้ทราบปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ผู้วิจัยมีความประสงค์ที่จะออกแบบและสร้างรถเข็นอาหารผู้ป่วยแบบเดินตามประเภชขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า ที่มีต้นทุนไม่สูงมาก และมีฟังก์ชันการทำงานเทียบเท่ากับที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน เพื่อทดแทนรถเข็นที่มีอยู่เดิมแบบใช้แรงในการเข็น และสามารถช่วยผ่อนแรงให้กับพนักงานเข็นได้ (Kart T. Ulrich., 2006) รวมไปถึงเพิ่มประสิทธิภาพงานด้านการ (H. J. Hartwell., et al., 2006) ให้บริการแก่โรงพยาบาลเสริมงาม จังหวัดลำปางต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

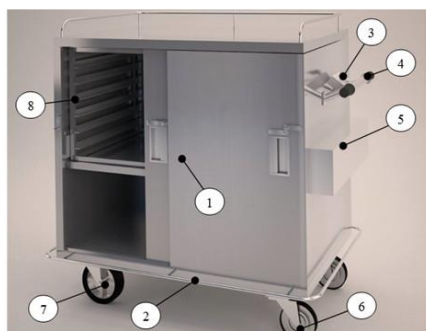
2.1 ออกแบบและสร้างรถเข็นส่งอาหารผู้ป่วยในโรงพยาบาลแบบเดินตามขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง กรณีนำไปใช้งานในโรงพยาบาลเสริมงาม อำเภอสริมงาม จังหวัดลำปาง

2.2 ทดสอบและประเมินอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าในการขับเคลื่อนตามเส้นทางการขนส่งอาหารผู้ป่วยในโรงพยาบาล

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เงื่อนไขและรูปแบบในการออกแบบและสร้าง

จากข้อมูลการลงพื้นที่สำรวจโรงพยาบาลเสริมงาม อำเภอสริมงาม จังหวัดลำปาง ได้ข้อมูลประกอบในการออกแบบรถเข็นอาหารผู้ป่วย ดังนี้ โรงพยาบาลเป็นโรงพยาบาลประจำอำเภอ โดยมีจำนวนเตียงผู้ป่วยในรวมทั้งหมด 30 เตียง ฉะนั้นการออกแบบรถเข็นอาหารต้องสามารถบรรจุถาดอาหารได้ 30 ถาด หรือมากกว่า และเส้นทางในการขนส่งอาหารผู้ป่วย ประกอบไปด้วยเส้นทางราบและเส้นทางชัน รวมระยะทาง ไป - กลับ 220 เมตร โดยประมาณต่อ 1 รอบการขนส่ง หรือทางชันมีความชันไม่เกิน 15 องศา ซึ่งเป็นทางชันที่มีความลาดชันสูงสุดของโรงพยาบาล และกำหนดรูปแบบการสร้างดังรูปภาพที่ 1(ก) และที่สร้างขึ้นดังภาพที่ 1(ข)



(ก) แบบรถเข็น



(ข) รถเข็นอาหารที่สร้างขึ้น

ภาพที่ 1 รถเข็นอาหารที่สร้างขึ้นในการทดสอบ

หมายเหตุ: (ก) 1) ประตูชนิดบานเลื่อน มีที่ล็อคบานประตู 2) ชุดกันชนรอบคันของรถเข็น 3) ชุดแผงควบคุมระบบไฟฟ้า 4) มือหมุนปรับอัตราเร่ง 5) ห้องแบตเตอรี่ 6) ชุดล้อด้านหลังหมุนรอบตัวเองได้สำหรับหมุนบังคับเลี้ยว 7) ชุดล้อด้านหน้าเป็นล้อตายยึดติดกับเพลาลังจะหมุนไปพร้อมกันกับชุดเพลาลังกำลัง 8) ชุดชั้นวางสำหรับใส่ถาดอาหาร

ขนาดความกว้าง 80 เซนติเมตร ความยาวและความสูง 120 เซนติเมตร วัสดุเลือกใช้เป็นสแตนเลส เกรด 304 ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยในการป้องกันการเกิดสนิมและทนต่อการกัดกร่อนจากสิ่งต่าง ๆ ได้ดี เนื่องจากรถเข็นเป็นอุปกรณ์บรรทุกขนส่งอาหาร (Designing Tolley., 2019) ภายในตัวรถแบ่งเป็น 2 ช่องแนวราบ ช่องด้านบนเป็นชั้นวางสำหรับใส่ถาดสแตนเลสบรรจุอาหารซึ่งสามารถบรรจุได้ 32 ถาด ช่องด้านล่างเป็นพื้นที่โล่งไว้สำหรับวางภาชนะหม้อบรรจุอาหาร รวมไปถึงสำหรับใช้วางเก็บถาดบรรจุอาหารที่ผู้ป่วยรับประทานอาหารแล้วเสร็จได้ ถาดสแตนเลสบรรจุอาหาร 32 ถาด มีน้ำหนัก 32 กิโลกรัมโดยประมาณ โดยทำการออกแบบเพื่อนำหนักภาชนะโภชนาการอื่น ๆ แล้ว ให้สามารถบรรทุกภาระรวมได้ทั้งหมดไม่เกิน 100 กิโลกรัม ทั้งนี้ น้ำหนักบรรทุกรวมตัวรถแล้วได้ไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัม

3.2 การคำนวณแรงต้านการขับเคลื่อน

การหาขนาดกำลังงานมอเตอร์โดยมีข้อมูลประกอบในการหาดังนี้ 1) น้ำหนักรถเข็นรวมภาระบรรทุกไม่เกิน 200 กิโลกรัม 2) ทางชันคิดมุมเอียงสูงสุดของโรงพยาบาลเสริมงามไม่น้อยกว่า 15 องศา 3) ความเร็วในการขับเคลื่อนไม่เกิน 0.8 เมตรต่อวินาที เป็นความเร็วเฉลี่ยในการเดินของพนักงานเข็นรถเข็นอาหารในโรงพยาบาล คำนวณหาแรงต้านรวมทั้งหมดของรถเข็น (R_t) (Suwanprateeb, T. 2016, p. 54) ได้จากสมการที่ (1) ในงานวิจัยนี้ไม่นำแรงต้านอากาศมาคิดเนื่องจากอัตราเร็วของรถเข็นอาหารน้อยกว่า 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กำหนดให้แรงต้านอากาศเท่ากับศูนย์ ($R_a = 0$) ดังนั้นจะได้แรงต้านรวมเท่ากับสมการที่ (2) โดยแรงต้านการหมุนของล้อ (R_r) และแรงต้านทางชัน (R_g) สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ จากนั้นนำแรงต้านรวม ($R_t = F$) ที่ได้ มาคำนวณหาแรงบิด (T) ในการขับเคลื่อนด้วยสมการที่ (5) เมื่อ r คือ รัศมีของล้อเท่ากับ 0.1 เมตร โดยใช้ล้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร ได้ผลการคำนวณแรงต้านและแรงบิดแสดงไว้ในตารางที่ 1

$$R_t = R_r + R_g + R_a \quad (1)$$

$$R_t = R_r + R_g \quad (2)$$

$$R_r = K_r \cdot W \quad (3)$$

$$R_g = W \cdot \sin \theta \quad (4)$$

$$T = F \cdot r \quad (5)$$

เมื่อ K_r คือสัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ กำหนดให้สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อชนิดและสภาพของถนนลาดยางและคอนกรีตสภาพพอใช้ค่าเฉลี่ย $K_r = 0.018$ (Suwanprateeb, T. 2016, p. 20), W คือน้ำหนักของรถมีหน่วยเป็นนิวตัน, มุม θ ทางชันใช้ค่ามุมเอียงสูงสุดของโรงพยาบาลเท่ากับ 15 องศา

3.3 การคำนวณต้นกำลังในการขับเคลื่อน

เมื่อคำนวณหาแรงต้านในการขับเคลื่อนได้แล้วเปลี่ยนแรงต้านเป็นแรงบิดด้วยสมการที่ (5) จากนั้นคำนวณหาต้นกำลังในการขับเคลื่อนของรถเช่นได้ด้วยสมการที่ (6) และ (7) (Suwanprateeb, T. 2016, p. 58) ได้ผลการคำนวณกำลังงานมอเตอร์โดยคิดแรงต้านทางชันสูงสุดของโรงพยาบาลเสริมงามไม่เกิน 15 องศา เท่ากับ 434.48 วัตต์ แสดงไว้ในตารางที่ 1 จากนั้นเลือกขนาดมาตรฐานกำลังงานมอเตอร์ เช่นขนาดที่มีจำหน่าย 250 วัตต์ 350 วัตต์ 500 วัตต์ และ 750 วัตต์ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาดกำลังงานเท่ากับ 500 วัตต์ โดยการเผื่อค่าการออกแบบภาระเกิน 1.15 เท่า ของค่าที่คำนวณได้เพื่อให้ได้ค่าพิกัดของมอเตอร์

$$P = F \cdot v \quad (6)$$

$$P = T \cdot v / r \quad (7)$$

เมื่อ P คือกำลังงานของมอเตอร์, $F = R_t$ คือแรงต้านรวม, v คือความเร็วที่ใช้ห้ามเกิน 0.8 เมตรต่อวินาที เป็นความเร็วเฉลี่ยของการเดินของพนักงานเซ็น

3.4 อุปกรณ์ไฟฟ้าและวงจรการควบคุม

1) อุปกรณ์ไฟฟ้า

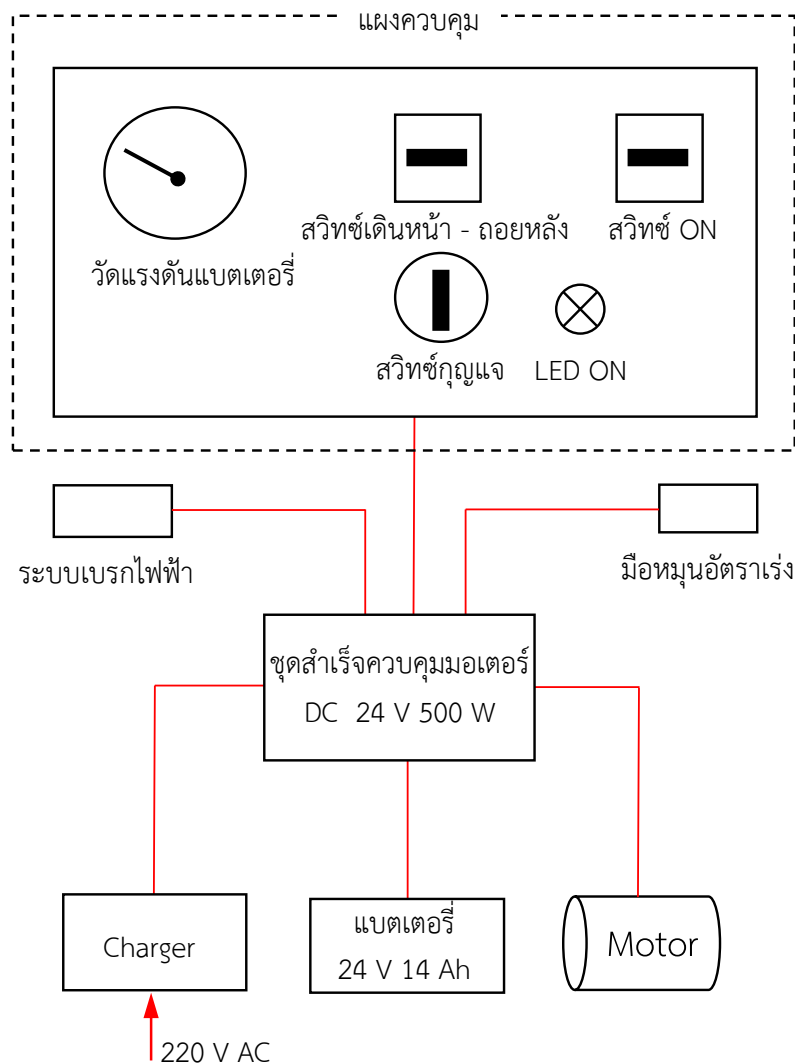
การเลือกใช้อุปกรณ์ส่งกำลังและอุปกรณ์ควบคุม อุปกรณ์ควบคุมหลักของรถเข็นอาหารผู้ป่วยแสดงดังรายการต่อไปนี้ 1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดกำลังงาน 500 วัตต์ 24 โวลต์ ความเร็วรอบสูงสุด 2500 ต่อนาที แรงบิดมอเตอร์ 1.9 นิวตันเมตร ติดชุดเกียร์ทดขนาด 1:6 ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที จำนวน 1 ชุด 2) ชุดส่งกำลังเลือกใช้ชุดส่งกำลังด้วยสายพานไทม์มิ่ง เนื่องจากการส่งถ่ายกำลังมีความยืดหยุ่นกว่าแบบเฟืองโซ่ อัตราทดพลูเลย์ 1:2 จำนวน 1 ชุด 3) ชุดสำเร็จควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 500 วัตต์ 24 โวลต์จำนวน 1 ชุด 4) การปรับเพิ่มอัตราเร่งเลือกใช้ชนิดแบบมือหมุนเร่งสำหรับการปรับเพิ่มอัตราเร่งจำนวน 1 ชุด 5) ระบบเบรกเลือกใช้เป็นระบบเบรกไฟฟ้าจำนวน 1 ชุด 6) มาตรฐานแสดงสถานะแรงดันของแบตเตอรี่จำนวน 1 ชุด 7) อุปกรณ์ในการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ 20 แอมแปร์จำนวน 1 ชุด 8) แบตเตอรี่เลือกใช้ แบตเตอรี่ชนิดแห้ง ขนาด 12 โวลต์ 14 แอมแปร์ จำนวน 2 ก้อน และใช้รูปแบบการต่อวงจรเป็นการต่อวงจรอนุกรมของแบตเตอรี่เพื่อให้ได้แรงดันเท่ากับ 24 โวลต์ รายการอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ส่งกำลังและอุปกรณ์ควบคุม

2) วงจรการควบคุม

การออกแบบวงจรไฟฟ้าควบคุมรถเข็นอาหารผู้ป่วยโดยมีหลักการทำงานของวงจร ดังนี้ จากภาพที่ 3 เริ่มจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ ไปยังชุดกล่องควบคุมมอเตอร์ ซึ่งชุดกล่องควบคุมนี้จะทำหน้าที่ปรับลดแรงดันไฟฟ้า 0 - 24 โวลต์ จากแบตเตอรี่ โดยมีสวิทช์ปรับควบคุมแบบมือหมุนแรง ก่อนที่จะจ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้สามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ เนื่องจากความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะแปรผันตามแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ จึงส่งผลให้การขับเคลื่อนของรถเข็นช้า หรือเร็วตามความต้องการของผู้ควบคุมหรือพนักงานเข็นได้ การหยุดรถจะเป็นการหยุดการทำงานของมอเตอร์ด้วยสวิทช์มือเบรก ชุดกล่องควบคุมมอเตอร์ ถูกออกแบบให้มีสวิทช์เดินหน้า - ถอยหลัง เพื่อให้ทำหน้าที่สลับขั้วไฟฟ้า บวก - ลบ ก่อนจ่ายไปยังมอเตอร์ไฟฟ้า และส่งผลทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเปลี่ยนทิศทางการหมุน ทำให้รถเข็นสามารถเดินหน้า และถอยหลังได้ แผงควบคุมมีสวิทช์ เปิด - ปิดหลัก (On - Off) มีสวิทช์กุญแจ เปิด - ปิด พร้อมหลอดไฟ LED แจ้งเตือน มีสวิทช์เดินหน้า - ถอยหลัง และมีมาตรวัดเป็นหลอดไฟ LED แจ้งเตือนสถานะแรงดันของแบตเตอรี่ ระบบการชาร์จแบตเตอรี่สามารถชาร์จโดยการนำปลั๊กจากตัวรถเข็น มาต่อเสียบกับเต้ารับไฟฟ้า AC 220 โวลต์ได้



ภาพที่ 3 แผนภาพวงจรควบคุมมอเตอร์

4. ผลการสร้างและการทดสอบ

4.1 รูปแบบการสร้างและการทดสอบ

การคำนวณหาขนาดมอเตอร์ในสมการที่ (1) ถึง (7) ได้แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 1 รวมถึงการออกแบบเพื่อสร้างรถเข็นสามารถสรุปการเลือกใช้อุปกรณ์ดังนี้ การเลือกใช้ขนาดมอเตอร์ อุปกรณ์ส่งกำลัง และอุปกรณ์ควบคุม สำหรับการสร้างรถเข็นส่งอาหารผู้ป่วยในโรงพยาบาลขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้แสดงไว้ดังตารางที่ 2 ได้รูปแบบของตัวรถ และเส้นทางขนส่งอาหารผู้ป่วยในการทดสอบ โดยเส้นทางในการทดสอบประกอบไปด้วยทางราบดังภาพที่ 4 (ก) และทางขึ้นดังภาพที่ 4 (ข) ซึ่งเป็นเส้นทางในการขนส่งอาหารผู้ป่วยในโรงพยาบาลเสริมงามเป็นระยะทางการขนส่ง ไป - กลับ 220 เมตรต่อรอบโดยประมาณ

ตารางที่ 1 ตารางรายการคำนวณหาค่าพลังงานของมอเตอร์

ตัวแปร	ขับเคลื่อนทางราบ	หน่วย	ขับเคลื่อนทางขึ้น 15 องศา	หน่วย
m	200	kg	200	kg
W	1962	N	1962	N
Rg	-	-	507.80	N
Rr	35.31	N	35.31	N
Rt	35.31	N	543.11	N
T	3.53	N.m	54.31	N.m
P	28.24	W	434.48	W

ตารางที่ 2 สรุปรูปแบบและขนาดของอุปกรณ์ในการสร้าง

รายการ	ข้อมูลเฉพาะด้านเทคนิค
1) ขนาดของรถเข็น	กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ $0.9 \times 1.2 \times 1.2$ เมตร
2) ความสามารถในการบรรทุกภาระ	ส่วนบนเป็นช่องใส่ถาดอาหารสแตนเลส สามารถใส่ถาดอาหารได้จำนวน 32 ถาด และส่วนล่างมีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ $0.9 \times 1.2 \times 0.6$ เมตร สามารถใส่บรรจุทุกสัณฐานอื่นได้ น้ำหนักบรรทุกได้ไม่เกิน 100 กิโลกรัม รวมน้ำหนักรถแล้วได้ไม่เกิน 200 กิโลกรัม
3) ขนาดมอเตอร์	มอเตอร์ DC 500 วัตต์ 2500 รอบต่อนาที แรงบิด 1.9 นิวตันเมตร 24 โวลต์ ชนิดติดมอเตอร์เกียร์อัตราทดเกียร์ 1:6
4) ระบบส่งถ่ายกำลัง	เป็นแบบสายพานไทม์มิ่ง พูเลย์อัตราทด 1:2
5) ระบบเบรก	เป็นระบบเบรกไฟฟ้าแบบตัดวงจรระบบไฟฟ้าก่อนเข้าสู่มอเตอร์
6) ขนาดแบตเตอรี่	ขนาด 12 โวลต์ 14 แอมแปร์ จำนวน 2 ก้อน
7) ระบบการเพิ่มอัตราเร่ง	การเพิ่มอัตราเร่งเป็นแบบชนิดมือหมุนปรับเร่ง
8) ระบบการชาร์จแบตเตอรี่	ติดตั้งระบบชาร์จแบตเตอรี่ในตัวรถเข็น สามารถเสียบชาร์จแบตเตอรี่เข้ากับเต้ารับไฟฟ้า AC 220 โวลต์ได้
9) ระบบล้อหน้า	ล้อหน้าล้อคตายติดกับเพลลา และหมุนไปพร้อมกันกับชุดเพลลาส่งกำลัง
10) ระบบล้อหลัง	ล้อหลังหมุนฟรีได้ 360 องศา ไว้สำหรับหมุนบังคับเลี้ยว
11) ระบบควบคุม	เป็นชุดสำเร็จควบคุมมอเตอร์ DC ขนาด 500 วัตต์
12) แผงควบคุม	มีสวิตช์กุญแจ เปิด-ปิด ควบคุมวงจรพร้อมหลอดไฟ LED แสดงสถานะ เปิด, มีสวิตช์เดินหน้า-ถอยหลัง และมาตรวัดแสดงพลังงานแบตเตอรี่



(ก) เส้นทางขับเคลื่อนทางราบ

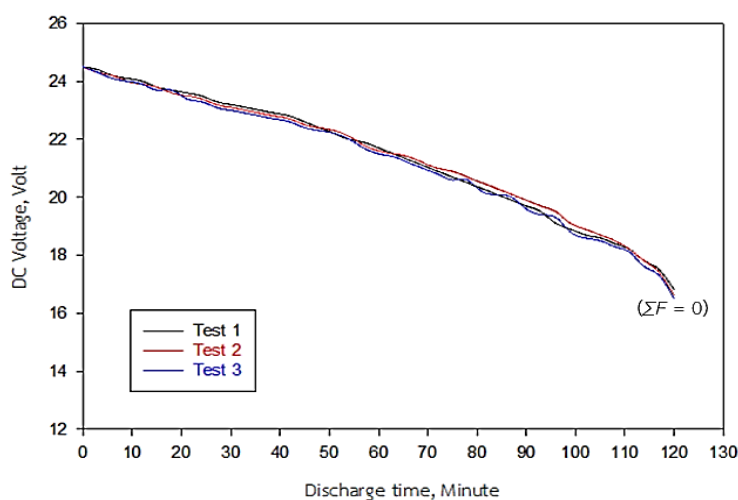


(ข) เส้นทางขับเคลื่อนขึ้นทางชัน

ภาพที่ 4 เส้นทางทดสอบรถเข็นอาหารผู้ป่วย

4.2 ผลการทดสอบรถเข็นอาหารและการใช้พลังงานของแบตเตอรี่กรณีใช้งานต่อเนื่อง

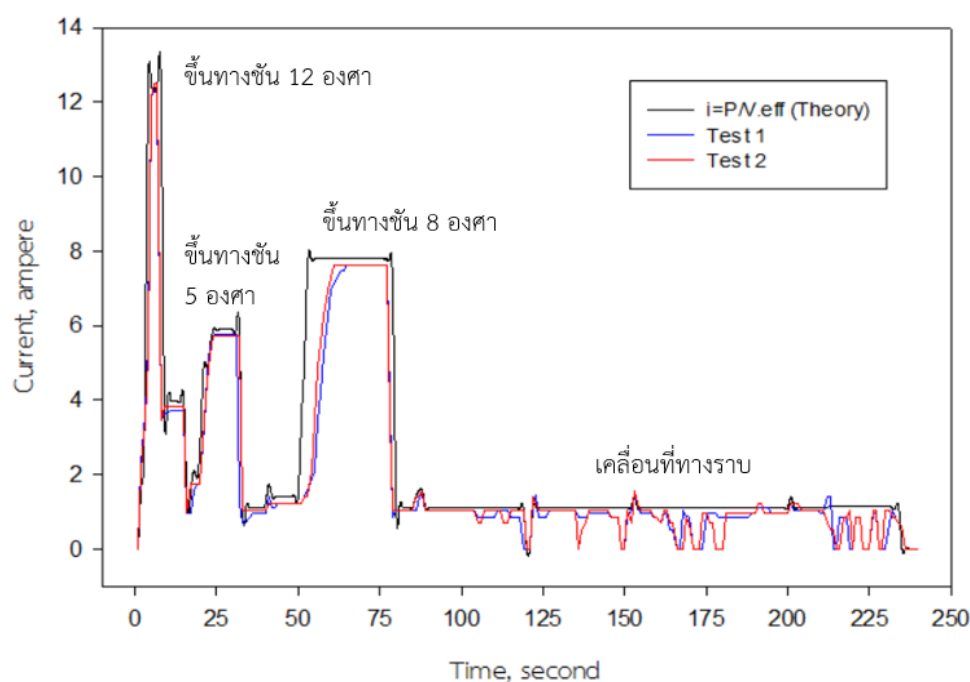
ผลการทดสอบรถเข็นอาหาร สามารถขับเคลื่อนทางราบได้เป็นอย่างดี และการใช้พลังงานแบตเตอรี่กรณีใช้งานต่อเนื่องความเร็วคงที่เฉลี่ยในการขับเคลื่อนไม่เกิน 0.8 เมตรต่อวินาที พบว่าแบตเตอรี่ใช้งานได้เป็นเวลา 120 นาที หรือ 2 ชั่วโมง ที่ยังขับเคลื่อนได้ดี หลังจากนั้นแรงดันของแบตเตอรี่ก็จะลดลงเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง แสดงดังภาพที่ 5 จนไม่สามารถเอาชนะแรงต้านของรถเข็นได้ ($\Sigma F = 0$) ส่งผลให้รถเข็นไม่มีกำลังขับเคลื่อนหรือขับเคลื่อนช้าลงและหยุดนิ่งในที่สุด และในกรณีทดสอบส่งอาหารในเส้นทางรถเข็นส่งอาหารในโรงพยาบาล 3 รอบต่อวัน การใช้พลังงานจากแบตเตอรี่จะใช้ได้นานกว่าการทดสอบต่อเนื่อง เนื่องจากจะมีการหยุดพักการใช้งานแบตเตอรี่ กรณีเกิดเหตุฉุกเฉินต้องการหยุดรถเข็น สามารถทำได้โดยการจับมือเบรก ระบบจะตัดวงจรการทำงานของมอเตอร์ เพื่อความปลอดภัยของพนักงานเข็นรวมไปถึงป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับรถเข็น



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์แรงดันไฟฟ้าและเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ต่อเนื่อง

4.3 ผลการทดสอบกรณีขับเคลื่อนในเส้นทางขนส่งอาหารในโรงพยาบาล

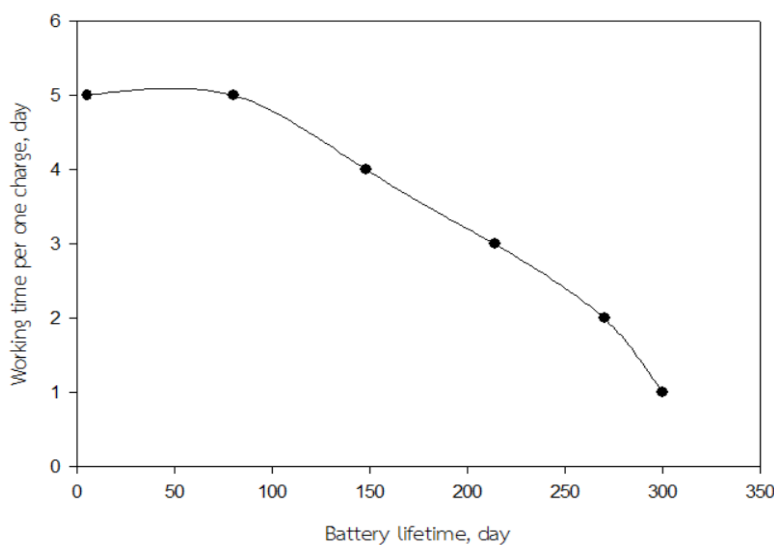
ผลการทดสอบรถเข็นอาหารกรณีขับเคลื่อนในเส้นทางขนส่งอาหารในโรงพยาบาล สามารถขับเคลื่อนทางราบและขึ้นทางชันไม่เกิน 15 องศา ได้เป็นอย่างดีความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและเวลาในการขับเคลื่อน ระยะทางในการขนส่งอาหารไป-กลับ 220 เมตรต่อรอบ ที่ความเร็วเฉลี่ยในการขับเคลื่อนไม่เกิน 0.8 เมตรต่อวินาที พบว่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด 12.5 แอมแปร์ ในการขับเคลื่อนขึ้นทางชัน 15 องศา เนื่องจากการขับเคลื่อนขึ้นทางชัน ก่อให้เกิดแรงต้านทางชัน ส่งผลให้รถเข็นมีการะเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าจึงแปรผันตามภาระที่เพิ่มขึ้น จากนั้นขับเคลื่อนทางราบและทางขรุขระเล็กน้อยตามเส้นทางขนส่งอาหารในโรงพยาบาลแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์กระแสไฟฟ้ากับเวลาในการขับเคลื่อนเส้นทางในการขนส่งอาหาร

4.4 ผลการทดสอบอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ผลการทดสอบการใช้งานแบตเตอรี่ใหม่ต่อการชาร์จ 1 ครั้ง ภายใต้เงื่อนไขการใช้งาน โดยการทดสอบขับเคลื่อนรถเข็นอาหาร บรรทุกขนส่งอาหารจริงในโรงพยาบาลตามเส้นทางในการขนส่งอาหาร 3 รอบต่อวัน รวมระยะทาง 660 เมตรต่อวัน ดังแสดงในภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่ารถเข็นสามารถใช้งานได้ 5 วันต่อการชาร์จแบตเตอรี่จำนวน 1 ครั้ง จากนั้นจะพบว่าการใช้งานของรถเข็นสามารถใช้งานได้ 4 3 2 และ 1 วันต่อการชาร์จแบตเตอรี่จำนวน 1 ครั้ง ตามลำดับ ซึ่งอายุการใช้งานโดยรวมของแบตเตอรี่โดยเฉลี่ยที่ยังคงมีประสิทธิภาพใช้งานได้ดีอยู่ในช่วง 8 - 10 เดือน หรือประมาณ 300 วันใช้งาน หลังจากนั้นควรเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดีและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับมอเตอร์



ภาพที่ 7 อายุการใช้งานของแบตเตอรี่

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

ผลการทดสอบการขับเคลื่อนรถเข็นอาหารผู้ป่วยในโรงพยาบาลขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ขนาดบรรจุอาหารจำนวนถาด 32 ถาด และภาชนะโภชนาการอื่น ๆ น้ำหนักรวมไม่เกิน 100 กิโลกรัม รวมน้ำหนักรถแล้วไม่เกิน 200 กิโลกรัม สามารถขับเคลื่อนทางราบและขับเคลื่อนขึ้นทางชันไม่เกิน 15 องศา ตามเส้นทางในการขนส่งอาหารในโรงพยาบาลได้เป็นอย่างดี ในระยะทาง ไป - กลับ 220 เมตรต่อรอบ โดยส่งอาหารวันละ 3 รอบ รวมเป็นระยะทาง ไป - กลับ 660 เมตรต่อวันโดยประมาณ การใช้กระแสไฟฟ้าขับเคลื่อนทางราบอยู่ในช่วง 1 - 1.8 แอมแปร์ และพบว่าแรงต้านทางชันมีผลต่อการกินกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์เพิ่มขึ้นประมาณ 0.71 แอมแปร์ต่อความชัน 1 องศา

ผลการทดสอบด้านอายุการใช้งานแบตเตอรี่รถเข็นอาหารผู้ป่วย กรณีขับเคลื่อนต่อเนื่องสามารถใช้งานได้ 2 ชั่วโมง โดยเฉลี่ยต่อการชาร์จ 1 ครั้ง และกรณีใช้งานในการขนส่งอาหารผู้ป่วยตามเส้นทางในการขนส่งอาหารในโรงพยาบาล วันละ 3 รอบ รวมระยะทางในการขับเคลื่อน 660 เมตรต่อวัน จะสามารถใช้งานได้ 5 วัน ต่อการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้ง และลดลงเมื่ออายุการใช้งานเพิ่มมากขึ้น โดยอายุการใช้งานที่เหมาะสมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8 - 10 เดือน หรือประมาณ 300 วันใช้งาน สำหรับแบตเตอรี่ใหม่

ด้านความพึงพอใจของแผนกโภชนาการ ในการทดสอบใช้งานรถเข็นอาหารผู้ป่วย โดยภาพรวมผลการทดสอบในครั้งนี้อยู่ในเกณฑ์ดีมาก และเป็นที่น่าพึงพอใจของบุคลากรในแผนกโภชนาการโรงพยาบาลเสริมงาม อำเภอเสริมงาม จังหวัดลำปาง เป็นอย่างมาก เนื่องจากช่วยผ่อนแรงให้กับพนักงานเข็นได้เป็นอย่างดี พร้อมทั้งช่วยลดเวลาในการขนส่งอาหารได้ดีเมื่อเทียบกับแบบเดิม รวมไปถึงเพิ่มประสิทธิภาพในงานด้านการให้บริการแก่โรงพยาบาลเสริมงามอีกด้วย

ด้านการพัฒนาปรับปรุงต่อยอดของงานวิจัยและหลากหลายในการใช้งาน ในอนาคตถ้ามีการปรับปรุงอาจติดระบบครีทซ์ในการส่งกำลังเพิ่มเติม เป็นทางเลือกในการขับเคลื่อนของรถเข็น เช่น กรณีขับเคลื่อนทางราบควรใช้การขับเคลื่อนด้วยแรงเข็นของพนักงานเข็น แต่ถ้ากรณีขับเคลื่อน

ชั้นทางชั้นอาจเปลี่ยนเป็นการใช้กำลังจากมอเตอร์ช่วยเสริมแรงในการขับเคลื่อนชั้นทางชั้น ทั้งนี้เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์และแบตเตอรี่ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง ที่ให้ทุนสนับสนุนภายใต้โครงการยกระดับปริญญาโทเป็นงานวิจัยตีพิมพ์ งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน ประเภท ทุน HRD

7. เอกสารอ้างอิง

- Anuraj, N. P., Srinivasa and Vignesh Ravichandran. (2013). Design of a Food Trolley for Hospitals in India, **SASTECH Journal**, Vol. 12, September 2013, pp. 90 - 98.
- Designing Trolley. (2019). **A guide to smart trolley design and castor**, [Online]. Retrieved HTTP: <http://www.fallshaw.com.au>, access on 11/05/2019.
- H. J. Hartwell., J. S. A. Edwards and C. Symonds. (2006) Foodservice in hospital development of a theoretical model for patient experience and satisfaction using one hospital in the UK National Health Service as a case study, **Blackwell Publishing Journal of Foodservice**, Vol. 7, 2006, pp. 226-238.
- Kart T. Ulrich. (2006). Estimating the Technology Frontier for Personal Electric Vehicles, **Transportation Research Part C**, Vol.13, January 2006, pp. 448-462.
- Nayak, Madhukara., Kamath, Karthik., Karunakara, Lobo, Rohill Joseph., Anchan, Shreedeeep S. and Saikrishna, Er. U. (2015). Fabrication of Automated Electronic Trolley, **IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering**, Vol.12, May – June. 2015, pp. 72-84.
- Standard Steel. (2014). **Standard Steel Manufacturing Unit**, [Online]. Retrieved HTTP: <http://www.standardsteel.co.in>, access on 15/05/2019.
- Suwanprateeb, T. (2016) **Automotive engineering**. Bangkok: Witthaya Phat Group.,Ltd. (in Thai)
- Pluemsong, S., Pahumanto, A., Kaew-vichit, A., Akkayabhundu, V., and Tri-penmaan, S. (2016). Research and Development of the Patient Food Trolley with Electric Motor Drive for Using in the Hospital, **Wichcha Journal**, Vol. 35, 2 July-December 2016, pp 16-32. (in Thai)
- Wongsuwan, H. (2011). Universal Electric Scooter, Mechatronics and Robot Research Center, Mechanical Engineering Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, **The 25th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand**, 19 -21 October 2011, Krabi. (in Thai)

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่

Design and Fabrication of a Gummy Jelly Drop Prototype Machine

ธวัชรรัตน์ สัมฤทธิ์^{1*}, เมธาวี ไพศาลพิสุทธิ์², วิรงรอง สุพินะ³, พัทธราภรณ์ อินริราย⁴ และสุรินทรพร ชั่งไชย⁵

Thawanrat Sumrit^{1*}, Mathawee Phaisanphisut², Wirongrong Supeena³,

Patcharaporn Inrirai⁴ and Surintraporn Changchai⁵

^{1*,2,3,4,5}สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 156 หมู่ 5 ตำบลพลายชุมพล อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 โทรศัพท์: 0 5526 7080

E-mail: thawanrat1212@hotmail.com

^{1*,2,3,4,5}Agricultural and Food Engineering Faculty of Food and Agricultural Technology Pibulsongkram Rajabhat University

156 Moo 5, Phlai Chumphon Sub-District, Muang District, Phitsanulok, 65000 Tel. +66 5526 7080

E-mail: thawanrat1212@hotmail.com

วันที่รับบทความ 16 มกราคม 2562

Received: Jan. 16, 2019

วันที่รับแก้ไขบทความ 17 มิถุนายน 2562

Revised: Jun. 17, 2019

วันที่ตอบรับบทความ 18 กรกฎาคม 2562

Accepted: Jul. 18, 2019

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่ เพื่อหาประสิทธิภาพและประเมินคุณภาพของเครื่องต้นแบบสำหรับการหยอดกัมมี่เยลลี่เปรียบเทียบกับวิธีการหยอดด้วยมือ โดยมีสมมติฐานคือเครื่องต้นแบบต้องลดเวลาการทำงานในขั้นตอนการหยอด และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ เครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่เป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ อาศัยการทำงานโดยผู้ใช้งาน ซึ่งเครื่องที่ออกแบบประกอบด้วยชุดโครงสร้างเครื่อง และโครงใส่ส่วนผสม การหยอดกัมมี่เยลลี่โดยใช้เครื่องต้นแบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ดีกว่าวิธีการทำงานแบบเดิมคิดเป็นร้อยละ 83.33 หรือลดเวลามาตรฐานการทำงานเฉลี่ยจาก 16.08 นาที เหลือ 2.69 นาที มีกำลังการผลิตในการหยอดเพิ่มขึ้นจากเดิมเฉลี่ย 1 ชิ้นต่อครั้งเพิ่มเป็น 8 ชิ้นต่อการหยอดหนึ่งครั้ง เมื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพพบว่ากัมมี่เยลลี่ที่ได้จากเครื่องต้นแบบและการหยอดด้วยมือ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การประเมินคุณภาพของเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่ (IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญ จากการประเมินโดยภาพรวมคุณภาพของเครื่องมีค่าเท่ากับ 0.82 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้จึงกล่าวได้ว่าเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานและสามารถลดเวลาการทำงานได้

คำสำคัญ: กัมมี่เยลลี่, การหยอด, ประสิทธิภาพ, การประเมินคุณภาพ, เครื่องต้นแบบสำหรับหยอด

Abstract

The objective of this research was to design and construct a gummy jelly drop prototype machine and examine its efficiency and quality compared with the manual process. The assumption was that the prototype machine could reduce the working time of gummy jelly drop fabrication and increase production capacity. The gummy jelly drop prototype machine is semi-automatic involving work by a user. The machine consists of two parts: the machine structure and the ingredients frame.

The results showed that the use of the prototype machine could increase working efficiency by 83.33 percent compared with the manual process. The standard working time was reduced from 16.08 min to 2.69 min. The physical properties of the gummy jelly drops from the drop prototype machine and the manual process had a diameter and thickness with a significant difference ($p \leq 0.05$). A specialist carried out an estimation of the prototype machine's IOC. The overall quality of the machine was estimated at 0.82, the level that the research was set to achieve. Therefore, it is considered that the gummy jelly drop prototype machine can be used practically with a reduced working time.

keywords: gummy jelly, drops, efficiency, quality assessment, drop prototype machine

1. บทนำ

กัมมี่เยลลี่ (Gummy Jelly) เป็นผลิตภัณฑ์ลูกกวาดประเภทหนึ่ง ลักษณะของกัมมี่เยลลี่จะเป็นเจล มีความใส เนื้อสัมผัสเนียน และไม่หยาบสาก โดยส่วนมากทำมาจากน้ำตาลผลไม้ ผสมกับสารที่ทำให้ความหวาน และสารที่ทำให้เกิดเจล เช่น เจลาติน คาร์ราจีแนน กลูโคแมนแนน เป็นต้น อาจมีการผสมสี (Coloring agent) และการแต่งกลิ่นรสเข้าไป (Subhimart, S., 2000) ในขั้นตอนการทำกัมมี่เยลลี่ในระดับครัวเรือนทั่วไป เริ่มจากนำแป้งข้าวโพดมาเกลี่ยในถาดอะลูมิเนียมให้ผิวหน้าเรียบเสมอกัน แล้วกดพิมพ์เป็นรูปที่ต้องการ อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำส่วนผสมที่จะทำกัมมี่เยลลี่ ได้แก่ ส่วนผสมให้ความหวาน สารก่อเจล น้ำผลไม้ สี และกลิ่นรสต่าง ๆ มาผสมให้เข้ากัน ผ่านการให้ความร้อน จนมีความข้นเหนียวพอเหมาะที่อุณหภูมิเหมาะสม และนำมาหยอดใส่พิมพ์แป้งข้าวโพดที่เตรียมไว้จากนั้นพักไว้ให้เย็นประมาณ 12 - 24 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่ (Ratchamanee, P., et al., 2017) (Food Network Solution, 2017) (Garrido, J.I., et al., 2015) จากกระบวนการดังกล่าว ในขั้นตอนการหยอดส่วนผสมกัมมี่เยลลี่ลงในแม่พิมพ์แป้งต้องหยอดด้วยมืออย่างรวดเร็ว โดยผู้ใช้งานเพราะกัมมี่เยลลี่มีความหนืดสูง หากปล่อยให้เย็นนานเกินไปจะยากต่อการหยอดลงในแม่พิมพ์แป้ง ส่งผลให้ขั้นตอนต่อไปเกิดการรอกอยงาน เนื่องจากใช้เวลาในการหยอดนาน อีกทั้งสามารถหยอดส่วนผสมได้ต่อหลุมต่อ 1 ครั้ง จึงทำให้กำลังการผลิตกัมมี่เยลลี่ได้น้อย เพราะส่วนผสมของกัมมี่เยลลี่เมื่อปล่อยให้เย็นตัวจะทำให้ไม่สามารถหยอดลงในแม่พิมพ์แป้งได้อีก ซึ่งการหยอดด้วยมือเป็นวิธีดั้งเดิมที่มีมาช้านาน และยังคงพบใช้ในการทำกัมมี่เยลลี่ในปัจจุบัน อีกทั้งยังไม่พบการหยอดกัมมี่เยลลี่ด้วยเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ช่วยลดเวลาทำงานในท้องตลาดหรือเชิงพาณิชย์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่ และหาประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่ รวมถึงการประเมินดัชนีค่าความสอดคล้อง (IOC) โดยจะต้องลดเวลาและลดขั้นตอนการทำงานได้ ซึ่งผลที่คาดว่าจะได้รับสามารถนำเครื่องต้นแบบไปเผยแพร่แก่อุตสาหกรรมครัวเรือนหรือชุมชนเพื่อสร้างรายได้ต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่
- 2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่
- 2.3 เพื่อการประเมินดัชนีค่าความสอดคล้องของเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่

3. ขอบเขตของการวิจัย

- 3.1 ขั้นตอนการทำกัมมี่เยลลี่ดัดแปลงจากสูตรพื้นฐานของ Lee and Jackson
- 3.2 ผู้ใช้งานการหยอดส่วนผสมกัมมี่เยลลี่มีประสบการณ์การทำกัมมี่เยลลี่ไม่น้อยกว่า 1 ปี
- 3.3 ถาดแม่พิมพ์แบ่งข้าวโพดมาตรฐานมีขนาดกว้าง 345 มิลลิเมตร ยาว 475 มิลลิเมตร และสูง 50 มิลลิเมตร กัดหลุมสำหรับหยอดส่วนผสมด้วยหัวกดพิมพ์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร แถวละ 8 หลุม จำนวน 12 แถว รวมทั้งหมด 96 หลุม

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 4.1 ได้เครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่
- 4.2 สามารถนำไปเผยแพร่แก่อุตสาหกรรมครัวเรือน วิสาหกิจชุมชน หรือบุคคลที่สนใจทำกัมมี่เยลลี่เพื่อสร้างรายได้

5. วิธีดำเนินการวิจัย

5.1 ศึกษาขั้นตอนการทำกัมมี่เยลลี่

กัมมี่เยลลี่ตามสูตรที่ดัดแปลงจากสูตรพื้นฐานของ Lee and Jackson มีส่วนประกอบ คือ เจลาติน 250 Bloom น้ำอุ่น น้ำตาลซูโครส กลูโคสไซรัป น้ำเย็น และสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 50 ร้อยละ 8 18 33 31.5 6.5 และ 3 ตามลำดับ ขั้นตอนการทำกัมมี่เยลลี่แสดงดังภาพที่ 1 (Ratchamanee, P., et al., 2017) (Food Network Solution, 2017) (Garrido, J.I., et al., 2015)

5.2 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

ผู้วิจัยได้ศึกษาการทำงานของเครื่องหยอดส่วนผสมกัมมี่เยลลี่ด้วยวิธีการแบบเดิม (Sitticharoen, W., 2004) ด้วยผู้ใช้งานที่ชำนาญในการหยอด ขั้นตอนการผสมส่วนผสมแสดงดังภาพที่ 1 และวิธีการหยอดด้วยมือแสดงดังภาพที่ 2 จากนั้นผู้วิจัยสังเกตการไหลของส่วนผสมกัมมี่เยลลี่เก็บข้อมูลวิเคราะห์หาแนวทางแก้ไขปัญหาการหยอดส่วนผสมด้วยวิธีหยอดมือ แล้วนำมาออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำกัมมีเยลลี่

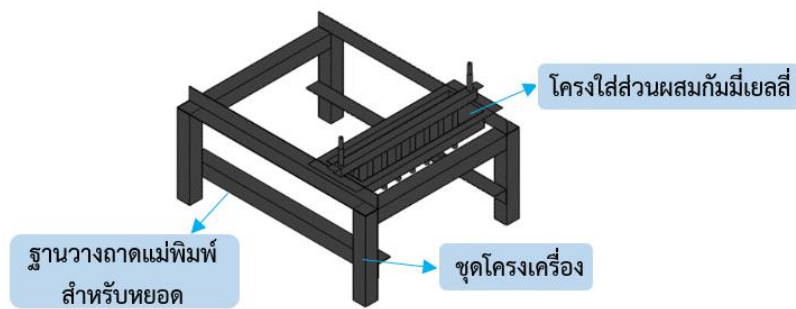


ภาพที่ 2 การหยอดส่วนผสมกัมมีเยลลี่ด้วยวิธีการแบบเดิม

5.3 การออกแบบเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมีเยลลี่

ผู้วิจัยได้ศึกษาการหยอดส่วนผสมกัมมีเยลลี่ โดยตั้งสมมติฐานจะต้องลดเวลาในการหยอดแบบเดิม และต้องเพิ่มกำลังการผลิตในการหยอดได้ ผู้วิจัยให้เครื่องต้นแบบทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติโดยผู้ใช้งาน แบบร่างของเครื่องต้นแบบแสดงดังภาพที่ 3 จากนั้นดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบ และทำการทดลองหยอดส่วนผสมด้วยวิธีหยอดมือและจากเครื่องต้นแบบ จับเวลาการทำงานเพื่อศึกษาเวลาดำเนินการจับเวลา ทดลองการหยอดทั้ง 2 วิธี แต่ละวิธีทำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง นำค่าเวลาที่ได้นำมาคำนวณเวลามาตรฐานการทำงาน ดังสมการที่ 1 ซึ่งคิดค่าเวลาเผื่อร้อยละ 20 (Sitticharoen, W., 2004) และเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ที่ได้จากการหยอดทั้ง 2 วิธี เพื่ออัดขนาดวัดขนาดทางกายภาพ และเปรียบเทียบความแตกต่างกันต่อไป

$$\text{เวลามาตรฐานการทำงาน} = \text{เวลาที่จับได้} + \left(\frac{\% \text{เวลาเผื่อ}}{100} \times \text{เวลาที่จับได้} \right) \quad (1)$$



ภาพที่ 3 แบบงานเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมีเยลลี่

5.4 การวัดลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่

ผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ที่ได้จากการหยอดทั้ง 2 วิธี ผู้วิจัยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างวิธีละ 100 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างกัมมีเยลลี่ที่เลือกจะต้องมีลักษณะชิ้นงานรูปทรงกลมสมบูรณ์ ไม่บิดเบี้ยว และมีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียนตามแบบที่ผู้วิจัยต้องการ นำตัวอย่างมาวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ขนาดของกัมมีเยลลี่ที่ต้องการ คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร และความหนา 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานของท้องตลาดที่ผู้บริโภคประทับใจได้พอดีค่า โดยให้แต่ละวิธีทำการวัดซ้ำทั้งหมด 5 ซ้ำ

5.5 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานและการประเมินดัชนีค่าความสอดคล้อง (IOC)

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของการหยอดกัมมีเยลลี่ ด้วยวิธีการทำงานแบบเดิม และจากการใช้เครื่องต้นแบบสำหรับการหยอดกัมมีเยลลี่ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นใหม่ ทำได้โดยศึกษาการจับเวลาการทำงาน และการประเมินดัชนีค่าความสอดคล้อง (IOC) หรือ Index of Item Objective Congruence หมายถึง ความสอดคล้องการทำงานของเครื่องต้นแบบกับวัตถุประสงค์ในการออกแบบซึ่งทำการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง -1 เป็นวิธีการหาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา หาได้จากสูตร ดังนี้

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \quad (2)$$

เมื่อ IOC = ค่าดัชนีความสอดคล้องตามสมมติฐานของการวิจัย
 $\sum R$ = ค่าผลรวมของคะแนนจากผู้เชี่ยวชาญ
 N = จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

กำหนดคะแนนความคิดเห็นไว้ดังนี้

+1 หมายถึง มีความเห็นสอดคล้องกับเครื่องที่สร้างขึ้น
 0 หมายถึง ไม่แน่ใจ
 -1 หมายถึง มีความเห็นไม่สอดคล้องกับเครื่องที่สร้างขึ้น

ซึ่งการประเมินคุณภาพของเครื่องโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยได้กำหนดผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน คือ อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร และสาขาวิชาพัฒนา

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่มีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่า 2 ปี โดยมีขั้นตอนการประเมินเครื่อง คือ ออกแบบใบประเมิน นัดหมายผู้เชี่ยวชาญ สาธิตการทำงานของเครื่องต้นแบบ และประเมินผลและเก็บรวบรวมข้อมูล

6. ผลการวิจัย

6.1 ผลการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่

เครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่ที่สร้างขึ้นเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติอาศัยการทำงานโดยผู้ใช้งาน และพิจารณาด้านที่ใช้สัมผัสกับอาหารเป็นพิเศษ โดยเลือกใช้เหล็กสแตนเลสไร้สนิม เพราะเป็นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร และต้องทำความสะอาดได้ง่ายและทั่วถึง ให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณลักษณะของอาหารปลอดภัย (Lelieveld, H., et al., 2003) ประกอบด้วยลักษณะโครงสร้างแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ โครงใส่ส่วนผสม และชุดโครงเครื่อง โครงใส่ส่วนผสมกัมมี่เยลลี่ ทำจากแผ่นสแตนเลสเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร จำนวน 8 รู ระยะห่างระหว่างรู ขนาด 45 มิลลิเมตร นำสแตนเลสทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร สูง 30 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้น มาเชื่อมแบบทิก (Tungsten Inert Gas welding, TIG) กับโครงเจาะรูตั้งที่ได้กล่าวข้างต้น ในทำนองเดียวกันที่ก้นส่วนผสมกัมมี่เยลลี่ นำสแตนเลสทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร สูง 55 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้น มาเชื่อมติดกับสแตนเลสแบบกล่อ่ง จากนั้นนำซูเปอร์ลีน (Superlene) ชนิดสัมผัสกับอาหารได้รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร มาประกอบใส่สแตนเลสทรงกระบอก ดังภาพที่ 4 และชุดโครงเครื่องต้นแบบได้มาจากการตัดเหล็กฉากเพื่อทำฐานเลื่อนโครงใส่ส่วนผสม และฐานรองรับถาดแม่พิมพ์แบ่งข้าวโพดได้จากการตัดเหล็กกล่องขนาดกว้าง 1.5 นิ้ว ยาว 490 มิลลิเมตร จำนวน 2 ท่อน เชื่อมประกอบเป็นโครงเครื่องต้นแบบ ซึ่งเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมี่เยลลี่ แสดงดังภาพที่ 5 หลักการทำงานของเครื่องต้นแบบเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยผู้ใช้งานจะต้องเลื่อนโครงใส่ส่วนผสมไปตามรางที่ยึดทั้งสองด้านกับโครงเครื่อง ซึ่งด้านล่างมีฐานรองรับการวางถาดแม่พิมพ์แบ่งข้าวโพดมาตรฐาน ด้านในโครงใส่ส่วนผสมมีที่กั้นการไหลของส่วนผสมคอยปรับระดับการปล่อยให้ไหล และคุมการปิดโดยพลาสติกซูเปอร์ลีนปิดกั้นช่องการไหล การหยอดส่วนผสมด้วยเครื่องต้นแบบสามารถหยอดได้ครั้งละแถวจำนวน 8 หลุมต่อการหยอด 1 ครั้ง จำนวน 12 แถว ซึ่งในการทดลองโดยผู้ใช้งานที่มีความชำนาญในการหยอดการหยอดส่วนผสมต่อถาดมาตรฐานสามารถหยอดได้เต็มทั้งหมด 96 หลุม



ภาพที่ 4 โครงใส่ส่วนผสมและที่ก้นส่วนผสมกัมมี่เยลลี่



ภาพที่ 5 เครื่องต้นแบบสำหรับการหยอดกัมมีเยลลี่

6.2 ผลการวัดลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่

กัมมีเยลลี่ที่ได้จากวิธีการแบบเดิมโดยผู้ใช้งานหยอดส่วนผสมแม่พิมพ์แบ่ง และหยอด โดยใช้เครื่องต้นแบบ มีผลการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาของกัมมีเยลลี่ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบลักษณะของกัมมีเยลลี่จากการใช้เครื่องต้นแบบและการหยอดมือ (n=100)

รายละเอียด	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)		ความหนา (มิลลิเมตร)	
	การใช้เครื่องต้นแบบ	การหยอดมือ	การใช้เครื่องต้นแบบ	การหยอดมือ
ค่าเฉลี่ย	14.78 ± 0.62	14.63 ± 0.86	9.68 ± 1.15	12.87 ± 2.07
t	-1.35		13.49	
p-value	0.001		0.001	

จากตารางที่ 1 กัมมีเยลลี่ที่ได้จากการหยอดส่วนผสมด้วยวิธีการแบบเดิมด้วยการหยอดทีละหลุมโดยผู้ใช้งานและจากเครื่องต้นแบบที่สามารถหยอดได้แฉะละ 8 หลุมต่อถาดมาตรฐานจำนวน 100 ตัวอย่าง ต่อวิธีนำข้อมูลมาเปรียบเทียบด้วยวิธีการทางสถิติ Independent T Test การเปรียบเทียบลักษณะของกัมมีเยลลี่ที่ได้จากการหยอดมือและการใช้เครื่องต้นแบบมีค่า $p \leq 0.05$ กล่าวคือเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาของกัมมีเยลลี่ที่ได้จากการทดลองหยอดทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาของกัมมีเยลลี่ที่ได้จากการหยอดด้วยเครื่องต้นแบบมีขนาดเฉลี่ย 14.78 มิลลิเมตร และ 9.68 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับขนาดของกัมมีเยลลี่ที่ต้องการ คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร และความหนา 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนกัมมีเยลลี่ที่ได้จากการทดลองหยอดด้วยมือมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาเฉลี่ย 14.63 มิลลิเมตร และ 12.87 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีขนาดและความหนาใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน แต่กัมมีเยลลี่ที่ได้จากการหยอดด้วยเครื่องต้นแบบมีขนาดและความหนาใกล้เคียงค่ามาตรฐานมากกว่า ซึ่งต่างจากวิธีการหยอดด้วยมือซึ่งผู้ทดลองตักและควบคุมปริมาณส่วนผสมในการหยอดกัมมีเยลลี่ทีละหลุม ส่งผลให้การควบคุมของผู้หยอดนั้นทำได้ค่อนข้างยาก โอกาสในการหยอดทำให้ขนาดหรือความหนาไม่เท่ากันได้

6.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน

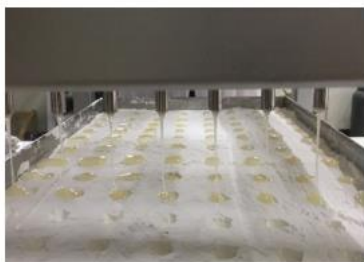
การหอยอดส่วนผสมกัมมีเยลลี่ทั้ง 2 วิธี ผู้วิจัยได้จับเวลาการทำงานทั้งหมด 5 ครั้งต่อหนึ่งวิธี แล้วนำค่าเวลาการทำงานของแต่ละวิธีมาคำนวณดังสมการที่ 1 ซึ่งเครื่องต้นแบบมีกำลังการผลิตในการหอยอดกัมมีเยลลี่เพิ่มขึ้น จากเดิมสามารถหอยอดเฉลี่ยได้ 1 ชิ้นต่อครั้ง เพิ่มเป็น 8 ชิ้นต่อการหอยอดหนึ่งครั้ง โดยสามารถหอยอดส่วนผสมได้ทั้งหมด 96 หลุมเต็มต่อ 1 ถาดมาตรฐาน กัมมีเยลลี่ที่ได้จากเครื่องต้นแบบมีลักษณะรูปทรงดี ไม่เปลี่ยนรูป ได้ชิ้นงานเฉลี่ย 88 ชิ้น ส่วนจากการหอยอดมือต่อ 1 ถาดมาตรฐาน ได้ชิ้นงานเฉลี่ย 79 ชิ้น แต่การหอยอดด้วยมือใช้เวลาในการหอยอดนานกว่า และส่วนผสมเย็นตัวทำให้ความหนืดสูง ไม่สามารถหอยอดได้เต็มถาด ผลของเวลามาตรฐานการทำงานเฉลี่ยของการหอยอดส่วนผสมทั้ง 2 วิธี แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า เวลามาตรฐานการทำงานเฉลี่ยในการหอยอดส่วนผสมกัมมีเยลลี่ทั้ง 2 วิธี มีค่า $t\text{-test} = 15.212$ และ $\text{Sig} = 0.002$ คือเวลามาตรฐานการทำงานเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 วิธี แตกต่างกัน ซึ่งการทดลองด้วยเครื่องต้นแบบและวิธีการหอยอดด้วยมือมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 เวลามาตรฐานการทำงานเฉลี่ยของการหอยอดส่วนผสมกัมมีเยลลี่จากการใช้เครื่องต้นแบบ และการหอยอดมือ ($n=5$)

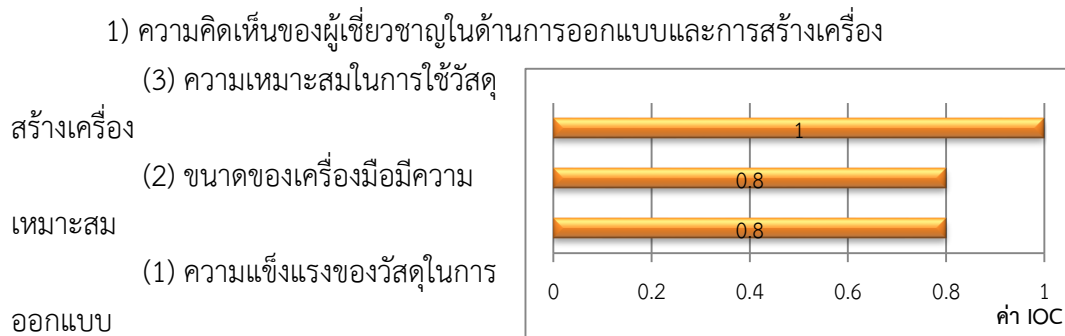
ครั้งที่	การทดลองด้วยเครื่องต้นแบบ	การทดลองด้วยวิธีหอยอดมือ
	เวลามาตรฐานการทำงาน (นาที)	เวลามาตรฐานการทำงาน (นาที)
เฉลี่ย	2.68 ± 0.34	16.08 ± 1.94
t	15.212	
p-value	0.002	

6.4 ผลการประเมินดัชนีค่าความสอดคล้อง (IOC) ด้วยผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินคุณภาพของเครื่องโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยได้กำหนดผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยการศึกษาค่าดัชนีและความสอดคล้อง ตามหัวข้อทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบ และการสร้างเครื่อง ด้านการใช้งานเครื่อง ด้านการบำรุงรักษา และด้านความคุ้มค่า ดังภาพที่ 6 (Phrommabun, P., 2013) (Mayacheerw, P., 2014) มีผลการวิเคราะห์การประเมินแสดงดังภาพที่ 7 - 10 ดังนี้



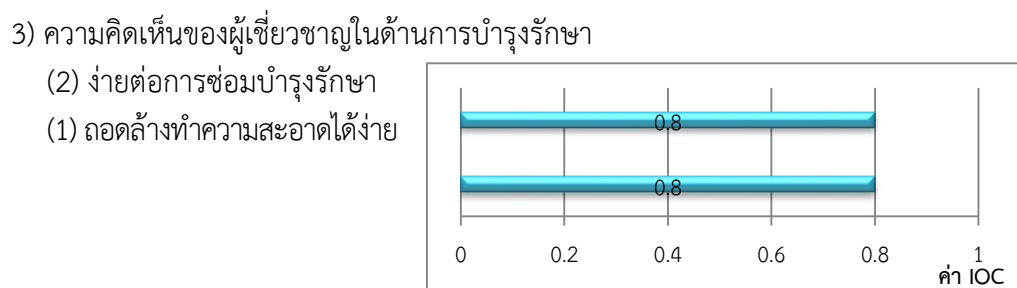
ภาพที่ 6 สาธิตการทำงานและผู้เชี่ยวชาญประเมินดัชนีค่าความสอดคล้อง (IOC)



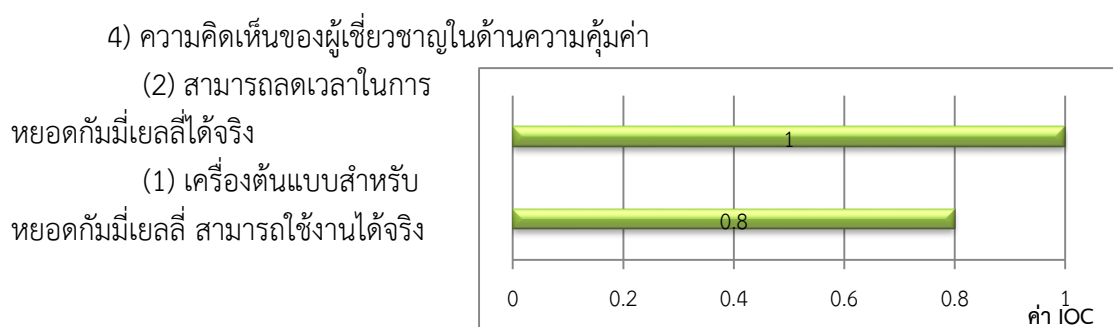
ภาพที่ 7 ค่า IOC ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านการออกแบบและการสร้างเครื่อง



ภาพที่ 8 ค่า IOC ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านการใช้งานเครื่อง



ภาพที่ 9 ค่า IOC ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านการบำรุงรักษา



ภาพที่ 10 ค่า IOC ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในด้านความคุ้มค่า

จากภาพที่ 7 – ภาพที่ 10 ผลการวิเคราะห์ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยวิธีการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้องหรือ IOC ซึ่งผู้วิจัยใช้แบบประเมินคุณภาพของเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมีเยลลี่ มีผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 5 ท่าน เป็นผู้แสดงความคิดเห็นในด้านการออกแบบและสร้างเครื่องว่าอยู่ในเกณฑ์ดี เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมินด้วยค่าเฉลี่ยดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ ของรายการประเมินทั้ง 3 จุดเท่ากับ 0.87 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มากกว่า 0.5 ในด้านการทำงานของเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมีเยลลี่ ประเมินด้วยค่าเฉลี่ยดัชนีความสอดคล้อง IOC ของรายการประเมินทั้ง 4 จุด เท่ากับ 0.75 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มากกว่า 0.5 ในด้านการบำรุงรักษาของเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมีเยลลี่ ประเมินด้วยค่าเฉลี่ยดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ ของรายการประเมินทั้ง 2 จุด เท่ากับ 0.80 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มากกว่า 0.5 เช่นเดียวกัน และในด้านความคุ้มค่าของเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมีเยลลี่ ประเมินด้วยค่าเฉลี่ยดัชนีความสอดคล้อง IOC ของรายการประเมินทั้ง 2 จุดเท่ากับ 0.90 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มากกว่า 0.5 จึงสรุปได้ว่าเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมีเยลลี่ที่สร้างขึ้นใหม่มีคุณภาพ สามารถนำมาใช้งานเพื่อลดเวลาการทำงานแบบเดิม และทำให้ได้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิมได้จริง

นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์การพิจารณาระยะเวลาต้นทุนการใช้งานจริงของเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมีเยลลี่ จะคำนวณจากค่าใช้จ่ายในการทำงาน ได้แก่ จำนวนคนทำงาน ระยะเวลาการทำงาน ค่าบำรุงรักษา ของวิธีการทำงานแบบเดิมและจากการใช้งานเครื่องต้นแบบ โดยวิธีการทำงานแบบเดิมมีจำนวนคนทำงาน 3 คน ทำงานวันละ 3 ชั่วโมง (หยอดกัมมีเยลลี่ได้ทั้งหมด 7 ถาด) ซึ่งการทำงานจำนวนเดือนละ 20 วัน อัตราค่าจ้างคนทำงาน 120 บาทต่อคนต่อวัน จากหลักการข้างต้นสามารถคิดต้นทุนค่าใช้จ่ายของวิธีการทำงานแบบเดิมได้เท่ากับ 7,200 บาทต่อเดือน สำหรับต้นทุนของการใช้งานด้วยเครื่องต้นแบบ มีราคาเครื่อง 15,000 บาท สามารถลดคนทำงานเหลือ 1 คน เวลาการทำงานและอัตราค่าจ้างคนทำงานเท่าเดิมคิดเป็น 2,400 บาทต่อเดือน ค่าบำรุงรักษาเครื่องเฉลี่ยวันละ 10 บาท เท่ากับ 200 บาทต่อเดือน สามารถหาค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องต้นแบบได้เท่ากับ 17,600 บาท ดังนั้นการใช้งานเครื่องต้นแบบพบระยะเวลาต้นทุน 2.44 เดือน

7. สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

หลังจากที่ได้ทำการทดลองหยอดส่วนผสมกัมมีเยลลี่ด้วยวิธีหยอดมือและจากเครื่องต้นแบบ ผู้วิจัยสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

7.1 การทดลองหยอดกัมมีเยลลี่ด้วยมือโดยผู้ใช้งาน พบว่า สามารถหยอดได้ครั้งละหลุม ซึ่งใช้เวลาในการหยอดนาน จึงเป็นที่มาของการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับหยอดกัมมีเยลลี่ ซึ่งเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถลดเวลาการหยอดและเพิ่มกำลังการผลิตในการหยอดต่อครั้งได้

7.2 เครื่องต้นแบบสามารถลดเวลามาตรฐานการทำงานในขั้นตอนการหยอดได้จริง จากวิธีการแบบเดิมหยอดด้วยมือซึ่งมีเวลา 16.08 นาที เหลือ 2.68 นาที ซึ่งพบว่าเวลาทำงานลดลงร้อยละ 83.33 ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น เครื่องต้นแบบทำให้กำลังการผลิตในการหยอด

เพิ่มขึ้นจากเดิมเฉลี่ยสามารถหยอดได้ 1 ขึ้นต่อครั้ง เพิ่มเป็น 8 ขึ้นต่อการหยอดหนึ่งครั้ง โดยสามารถหยอดส่วนผสมได้ทั้งหมด 96 หลุมเต็มต่อ 1 ถาดมาตรฐาน ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์กัมมี่เยลลี่จากเครื่องต้นแบบที่มีลักษณะรูปทรงกลมสมบูรณ์ เนื้อสัมผัสเรียบเนียน เฉลี่ย 88 ขึ้น คิดเป็นร้อยละ 91.67 ต่อถาดมาตรฐาน ส่วนจากการหยอดมือได้ชิ้นงานเฉลี่ย 79 ขึ้น คิดเป็นร้อยละ 82.29 ต่อถาดมาตรฐาน และขนาดกัมมี่เยลลี่จากเครื่องต้นแบบและจากการหยอดแบบเดิมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนา ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาของกัมมี่เยลลี่ที่ได้จากเครื่องต้นแบบมีความใกล้เคียงกับขนาดและความหนาที่ผู้ทดลองต้องการมากกว่าวิธีการหยอดแบบเดิม เนื่องจากเครื่องต้นแบบ สามารถควบคุมการหยอดส่วนผสมในแต่ละครั้งได้ดีกว่าการควบคุมโดยการหยอดทีละหลุมซึ่งโอกาสในการควบคุมน้ำหนักการหยอดอาจไม่เท่ากัน

7.3 การประเมินคุณภาพของเครื่องด้วยวิธีดัชนีค่าความสอดคล้อง (IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ในการประเมินคุณภาพเครื่องต้นแบบ ผลการประเมินด้านการออกแบบและการสร้างได้ค่าเฉลี่ย IOC เท่ากับ 0.87 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ด้านการใช้งานเครื่อง ได้ค่าเฉลี่ย IOC เท่ากับ 0.75 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ด้านการบำรุงรักษา ได้ค่าเฉลี่ย IOC เท่ากับ 0.8 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และด้านความคุ้มค่า ได้ค่าเฉลี่ย IOC เท่ากับ 0.9 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และโดยภาพรวมคุณภาพของเครื่องต้นแบบมีค่า IOC เท่ากับ 0.82 ซึ่งแสดงว่า คุณภาพของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมีคุณภาพที่ยอมรับได้ สามารถใช้งานและลดเวลาการทำงานได้จริง ผลการวิจัยสอดคล้องกับผลการวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องแยกเส้นใบตาล (Phrommabun, P., 2013) ที่ผู้เชี่ยวชาญได้ให้ค่า IOC เท่ากับ 0.94 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถลดระยะเวลาและเพิ่มปริมาณการแยกเส้นใบตาลได้ ในทำนองเดียวกันได้สอดคล้องกับการสร้างเครื่องย่อยต้นสาคุที่ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องด้านคุณภาพการทำงานของเครื่องที่สร้างขึ้นอยู่ในเกณฑ์ (Mayachearw, P., 2014) นอกจากนี้การเปรียบเทียบวิธีการทำงานแบบเดิมกับการใช้งานเครื่องต้นแบบ พบว่าหากมีการใช้งานเครื่องต้นแบบจะมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 2.44 เดือน

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะนักวิจัยขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ และเอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงผ่านไปได้ด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

- Food Network Solution. (2017). **Jelly**. [Online]. Available <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0882/jelly>. access on 19/09/2018. (in Thai)
- Garrido, J.I., Lozano, J.E. and Genovese, D.B. (2015). Effect of formulation variables on rheology, texture, colour and acceptability of apple jelly: Modelling and optimization, **LWT - Food Science and Technology**, vol. 62, June 2015,

pp. 325-332.

Lee, R. and Jackson E.B. (1973). **Sugar Confectionery and Chocolate Manufacture.**

New York: Leonard Hill Books.

Lelieveld, H., Mostert, M.A., Holah, J. and White, B. (2003). **Hygiene in Food**

Processing. United Kingdom: Woodhead Publishing.

Mayacheaw, P. (2014). The Construction of Sago Milling Machine, **Princess of**

Naradhiwas University Journal, Vol 6, No 1 (2014), pp. 94-102. (in Thai)

Phrommabun, P. (2013). Design and Construction of Palm Leaf Separation Machine,

Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal, Vol.2, July

2013, pp. 24-35. (in Thai)

Raposo, A., et al. (2015). Vending machines: Food safety and quality assessment

focused on food handlers and the variables involved in the industry. **Food**

Control, vol 56, October 2015, pp. 177-185.

Ratchamanee, P., et al. (2017). Development of Ginger Gummy Jelly Product, **paper**

presented in the RMU GRC 2017, Maha Sarakham, Rajabhat Maha Sarakham

University, Thailand.

Sitticharoen, W. (2004). **Work study.** Bangkok: O.S. Printing House. (in Thai)

Subhimart, S. (2000). **Confectionery and Chocolate Production Technology.**

Bangkok: Chulalongkorn University Printing House. (in Thai)

ผลของอุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางความร้อน
ของเชื้อเพลิงแท่งจากกากปาล์มสาครที่มีกลีเซอรินเป็นตัวเชื่อมประสาน
The effect of carbonized temperature and glycerin content
on physical and thermal properties of briquette fuel
from sago palm residue

พัชรี อินธนู^{1*}, สิริญา ไสเอ้ย² และพิชญพร กลับลาย³

Patcharee Intanoo^{1*}, Sirinya Saieay² and Pitchayapon Klabbklay³

^{1,2,3}สาขาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 50290 โทร 08 9555 2731

E-mail: tle_turn@hotmail.com

^{1,2,3}Department of Industrial Chemistry and Textile Technology, Faculty of Science, Maejo University,
Chiang Mai 50290, Thailand. Tel. +66(8) 9555 2731 E-mail: tle_turn@hotmail.com

วันที่รับบทความ 9 กรกฎาคม 2562
Received: Jul. 9, 2019

วันที่รับแก้ไขบทความ 9 กันยายน 2562
Revised: Sep. 9, 2019

วันที่ตอบรับบทความ 17 ธันวาคม 2562
Accepted: Dec. 17, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของอุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ในช่วง 300 - 500 องศาเซลเซียส (°C) และปริมาณกลีเซอรินในอัตราส่วนระหว่างร้อยละ 0 20 40 และ 60 โดยน้ำหนัก ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงแท่งจากกากปาล์มสาคร จากการศึกษาพบว่า คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงแท่งในรูปของดัชนีการแตกร่วน และความทนทานดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์และปริมาณกลีเซอรินสูงขึ้น อีกทั้งอุณหภูมิคาร์บอนไนซ์และปริมาณกลีเซอรินยังมีการแปรผันแบบโดยตรงต่อปริมาณคาร์บอนของเชื้อเพลิงแท่งอีกด้วย และปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อคุณสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงแท่งในรูปของค่าความร้อน โดยปริมาณคาร์บอนมากขึ้นทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแท่งสูงขึ้น เนื่องจากคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สามารถเผาไหม้และให้พลังงานออกมาได้ ดังนั้นอุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนกากปาล์มสาครเป็นเชื้อเพลิงแท่ง คือ อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ที่ 400 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปริมาณกลีเซอรินที่เหมาะสมต่อการผลิตเชื้อเพลิงแท่งให้มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนสูงสุด คือ ร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ: คุณสมบัติทางกายภาพ, คุณสมบัติทางความร้อน, อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์, เชื้อเพลิงแท่ง, กากปาล์มสาคร, กลีเซอริน

Abstract

The aim of this research was to investigate the effect of carbonized temperature, ranging from 300 to 500°C, and glycerin content, in ratios of 0, 20, 40, and 60% of weight, on the physical and thermal properties of briquette fuel made from sago palm residue. It was found that the physical properties, in terms of shatter index and durability, were enhanced when both the carbonized temperature

and glycerin content increased. Moreover, the carbonized temperature and glycerin content directly affected the carbon content of the briquette fuel. Improvement of the thermal property, in relation to the heating value, resulted from increased carbon content. The heating value increased as the carbon content increased due to its combustible component giving energy during the combustion process. It was found that the optimum carbonized temperature for converting sago palm residue to briquette fuel was at 400°C, whilst the optimum glycerin content for briquette fuel producing the best physical and thermal properties was at 60% weight.

Keywords: physical property, thermal property, briquette fuel, carbonized temperature, sago palm residue, glycerin

1. บทนำ

ในปัจจุบันมนุษย์มีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปีซึ่งตรงข้ามกับแหล่งพลังงานที่มีไม่เพียงพอต่ออัตราการใช้ จากอัตราการใช้ที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้มีการแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยแหล่งพลังงานทดแทนจากสารชีวมวลถือเป็นแหล่งพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นแหล่งพลังงานที่ตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ได้ยาวนาน เนื่องจากพลังงานจากสารชีวมวลเป็นพลังงานที่เกิดมาจากเศษวัสดุเหลือทิ้งต่าง ๆ ที่ได้หลังฤดูกาลเก็บเกี่ยวโดยจะถูกกำจัดด้วยการเผาไหม้หรือการฝังกลบ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงทำให้มีการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าหรือเทียบเท่าพลังงานฟอสซิล

การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Asavatesanupap, C., et al., 2010) รวมไปถึงวัสดุเหลือทิ้งในครัวเรือน เช่น เศษอาหาร (Yunbo, Z., et al., 2018) มาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานด้วยการเปลี่ยนให้เป็นเชื้อเพลิงแท่งจะเห็นว่าการผลิตเชื้อเพลิงแท่งจากเศษอาหารโดยมีกากน้ำตาลเป็นตัวเชื่อมประสานจะให้เชื้อเพลิงแท่งที่มีคุณสมบัติเชิงกลด้านการต้านทานแรงอัด (Compressive resistance) และความต้านทานการกระแทก (Impact resistance) เพิ่มขึ้น รวมไปถึงความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแท่งที่ได้ยังสูงขึ้นอีกด้วย มากไปกว่านั้นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนและชานอ้อยโดยมีกลีเซอรินเป็นตัวเชื่อมประสาน จะให้คุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ไม่มีกลีเซอรินคิดเป็นร้อยละมากกว่า 75 (Asavatesanupap, C., et al., 2010) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงให้ความสนใจในการนำกลีเซอรินจากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้เป็นตัวเชื่อมประสานสำหรับผลิตเชื้อเพลิงแท่งจากกากปาล์มสาคุ เนื่องจากกลีเซอรินนี้มีค่าความร้อนสูงกว่างานวิจัยก่อนหน้าคิดเป็นร้อยละ 17.39 (Asavatesanupap, C., et al., 2010)

ปาล์มสาคุจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในภูมิภาคทางตอนใต้ของประเทศไทยที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ลำต้นเนื่องจากในลำต้นของปาล์มสาคุมีองค์ประกอบของแป้งสูงเมื่อทำการแยกแป้งออกจากลำต้นแล้ว จะเหลือกากและเปลือกนอกอยู่เป็นจำนวนมาก กากและเปลือกนอกของปาล์มสาคุถือเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านการส่งกลิ่นเหม็นและเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค เนื่องจากกากปาล์มสาคุมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

จึงทำให้นักวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสนใจในการนำกากปาล์มสาकुมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านอาหารสัตว์ และด้านพลังงาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามการนำกากปาล์มสาकुมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงานมักนำไปเผาไหม้โดยตรงซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม คือ มีการปล่อยแก๊สพิษ เช่น แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ส่งผลกระทบต่อเกิดการเกิดปรากฏการณ์การเกิดฝนกรด และปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อนในบรรยากาศ ตามลำดับ รวมไปถึงเป็นสาเหตุของปัญหาหมอกควัน จึงทำให้นักวิจัยนี้ศึกษาการใช้ประโยชน์กากปาล์มสาकुเหลือทิ้งด้านพลังงานในรูปของเชื้อเพลิงแท่งโดยการนำกากปาล์มสาकुมาผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์ก่อน จากนั้นอัดขึ้นรูปให้อยู่ในลักษณะแท่งทรงกระบอก

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 กากปาล์มสาकुที่ใช้ในงานวิจัยนี้อยู่ในสายพันธุ์ Metroxy lonsagus Rottb (ยอดสีแดง) จากสวนยายอุย ตำบลควนขนุน อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง
- 2.2 ตัวเชื่อมประสานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ กลีเซอริน จากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- 2.3 อัตราส่วนของกลีเซอรินที่ศึกษา คือ ร้อยละ 0 20 40 และ 60 โดยน้ำหนัก

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมกากปาล์มสาकु

กากปาล์มสาकुที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากสวนยายอุย ตำบลควนขนุน อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง นำกากปาล์มสาकुที่ได้ตากภายใต้แสงแดดเพื่อกำจัดความชื้นและน้ำเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำกากปาล์มสาकुแห้งมาลดขนาดด้วยเครื่องบด จากนั้นนำไปคัดขนาดด้วยตะแกรงคัดขนาด 60 เมช จะได้ผงกากปาล์มสาकु และนำไปเก็บในโถสุญญากาศความชื้นก่อนนำไปใช้งาน

3.2 การเปลี่ยนกากปาล์มสาकुเป็นเชื้อเพลิง

การเปลี่ยนกากปาล์มสาकुเป็นเชื้อเพลิงนั้นเป็นการนำผงกากปาล์มสาकुที่ผ่านการคัดขนาดด้วยตะแกรงคัดขนาด 60 เมช เมาภายใต้สภาวะจำกัดอากาศ ณ อุณหภูมิ 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เรียกว่า กระบวนการคาร์บอนไนซ์ จะได้ผงเชื้อเพลิงของกากปาล์มสาकुที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลแดงจนถึงสีดำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ จากนั้นนำผงเชื้อเพลิงของกากปาล์มสาकुที่ได้ไปทดสอบหาองค์ประกอบแบบปริมาณ (Proximate analysis) ตามมาตรฐานของประเทศจีนในการวิเคราะห์แบบปริมาณของเชื้อเพลิงแข็ง (GB/T28731-2012) ตามขั้นตอนที่ระบุในงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Yunbo, A., et al., 2018)

3.3 การผลิตเชื้อเพลิงแท่ง

การผลิตเชื้อเพลิงแท่งเป็นการนำผงเชื้อเพลิงของกากปาล์มสาकुที่อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส ผสมกับกลีเซอรินในอัตราส่วนระหว่างร้อยละ 0 - 60 โดยน้ำหนัก เมื่อเตรียมส่วนผสมระหว่างผงเชื้อเพลิงกับกลีเซอรินครบทุกอัตราส่วนแล้วจะนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ณ แรงดัน 20 เมกะปาสคาล ให้อยู่ในลักษณะแท่งทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร (mm) และมีความหนา 9 มิลลิเมตร (ภาพที่ 1)

3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของเชื้อเพลิงแท่ง

คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) ของเชื้อเพลิงแท่งเป็นการนำเชื้อเพลิงแท่งที่เตรียมได้มาทดสอบการแตกร่วน (Shatter capability) ความทนทาน (Durability, D_r) ความแน่นของเชื้อเพลิงแท่ง (Densification) และอัตราส่วนผลได้น้ำหนักของเชื้อเพลิงแท่ง (Mass yield ratio, η_m) ตามวิธีมาตรฐานการทดสอบเชื้อเพลิงแข็งที่ได้ระบุไว้ในงานวิจัยก่อนหน้า (Gendek, A., et al., 2018; Qian, W., et al., 2017; Yunbo, Z., et al., 2018) ส่วนคุณสมบัติทางความร้อน (Thermal properties) ของเชื้อเพลิงแท่งนั้นจะทดสอบค่าความร้อน (Heating value) ด้วยเครื่องทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (IKA[®] Calorimeter System C5000 control, Germany) อัตราส่วนผลได้พลังงานของเชื้อเพลิงแท่ง (Energy yield ratio, η_e) และความหนาแน่นพลังงาน (Energy density) ตามวิธีมาตรฐานการทดสอบเชื้อเพลิงแข็งที่ได้ระบุไว้ในงานวิจัยก่อนหน้านี้นี้ (Qian, W., et al., 2017; Yunbo, Z., et al., 2018) ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของเชื้อเพลิงแท่งนั้นจะใช้เชื้อเพลิงแท่งทั้งหมด 5 แท่งต่อ 1 การทดสอบ ต่อ 1 อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ และต่อ 1 อัตราส่วนของกลีเซอริน โดยสภาวะที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของเชื้อเพลิงแท่งเป็นสภาวะมาตรฐาน คือ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 - 65 ในงานวิจัยนี้หาความคลาดเคลื่อนของข้อมูลด้วยวิธีความคลาดเคลื่อนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 1 (ก) แท่งกากปาล์สาคูก่อนกระบวนการคาร์บอนไนซ์ และเชื้อเพลิงแท่งที่เตรียมได้จากกระบวนการคาร์บอนไนซ์ ณ อุณหภูมิ (ข) 300 องศาเซลเซียส (ค) 400 องศาเซลเซียส และ (ง) 500 องศาเซลเซียส

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงแท่ง

1) การแตกร่วนและความทนทาน

สมบัติเชิงกลของเชื้อเพลิงแท่งจะแสดงในรูปดัชนีการแตกร่วน (Shatter index) และความทนทาน โดยดัชนีการแตกร่วนและความทนทานจะเป็นตัวแปรที่บอกถึงความคงตัวของเชื้อเพลิงแท่งขณะทำการขนส่งรวมถึงความทนต่อแรงกระแทกที่เกิดจากการขนย้ายเพื่อการจัดเก็บ (Yunbo, Z., Et al., 2018) ดัชนีการแตกร่วนและความทนทานของเชื้อเพลิงแท่งที่เตรียมในงานวิจัยนี้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์เพิ่มขึ้น

สำหรับดัชนีการแตกร่วนและความทนทานของเชื้อเพลิงแท่งที่มีการเติมกลีเซอรินนั้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกับอุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ คือดัชนีการแตกร่วนและความทนทานของเชื้อเพลิง

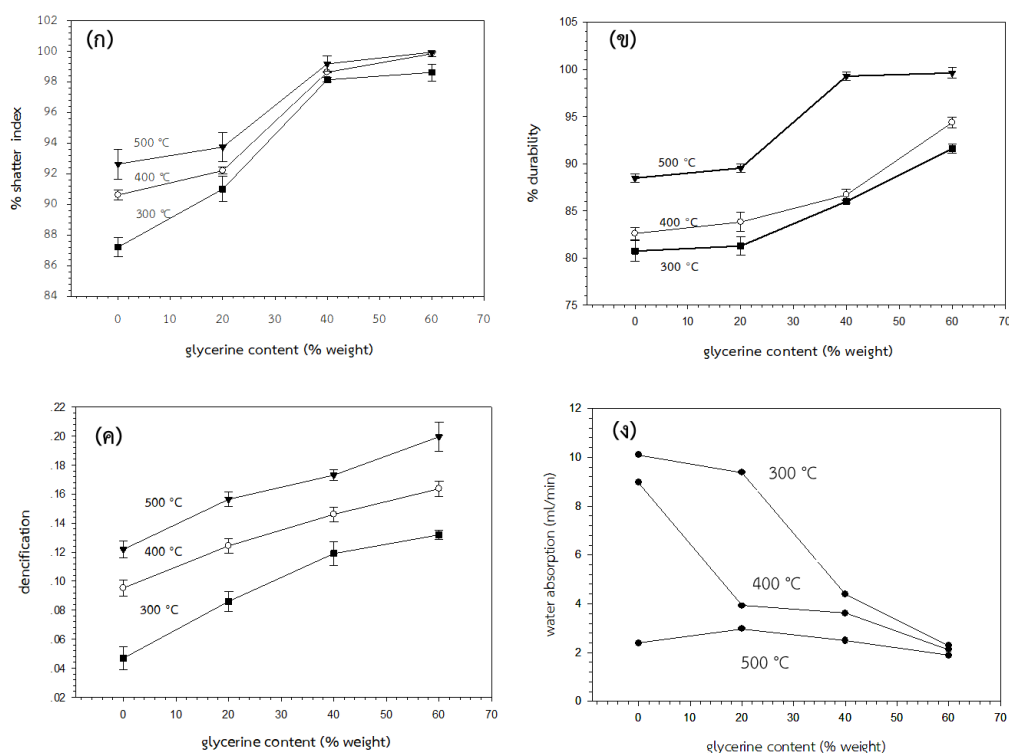
เชื้อเพลิงแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรินเพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วนกลีเซอรินที่มากกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก จะได้เชื้อเพลิงแห้งที่มีดัชนีการแตกร่วนและความทนทานมากกว่าร้อยละ 98 (ภาพที่ 2 (ก) และ (ข)) ซึ่งเป็นร้อยละที่ยอมรับได้เนื่องจากมีค่ามากกว่าดัชนีการแตกร่วน และความทนทานของถ่านอัดแท่งที่ขายตามท้องตลาด (ดัชนีการแตกร่วน และความทนทานของถ่านอัดแท่งที่ขายตามท้องตลาด คือ ร้อยละ 90 และ 80 ตามลำดับ (Antwi-Boasiako, C., & Acheampong, B.B., 2016)) ส่วนเชื้อเพลิงแห้งกลุ่มที่มีการเติม และไม่เติมกลีเซอรินพบว่าเชื้อเพลิงแห้งที่ไม่มีการเติมกลีเซอรินจะมีดัชนีการแตกร่วนต่ำแสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงแห้งมีความแข็งแรงต่ำ คือมีลักษณะร่วนและแตกกระจายเมื่อถูกปล่อยในแนวดิ่งที่ระยะทาง 1 เมตร บนพื้นคอนกรีต และ 1.5 เมตร บนพื้นโลหะ แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงแห้งมีความแข็งแรงต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเติมกลีเซอรินในอัตราส่วนต่าง ๆ จะเห็นว่าเชื้อเพลิงแห้งมีความแข็งแรงและมีความคงรูปมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของดัชนีการแตกร่วนและความทนทาน (ภาพที่ 2 (ก) และ (ข)) การนำกลีเซอรินมาเป็นตัวเชื่อมประสานในเชื้อเพลิงแห้งทำให้การจัดเก็บ และการเคลื่อนย้ายเชื้อเพลิงแห้งในสภาวะที่ต้องสัมผัสกับแสงแดดเป็นไปด้วยความสะดวกโดยไม่เกิดความเสียหาย เนื่องจากกลีเซอรินเป็นสสารที่มีจุดเดือดและความหนืดมากกว่าน้ำ (Satpathy, P., et al., 2014) จึงไม่เกิดการระเหยระหว่างการจัดเก็บและการขนส่ง อีกทั้งยังคงคุณสมบัติของการเป็นตัวเชื่อมประสานที่ดี ด้วยการทำให้อนุภาคคาร์บอนของเชื้อเพลิงแห้งยึดติดกันได้ดีและมีความแน่นขึ้น

2) ความแน่น

ความแน่นของเชื้อเพลิงแห้งเป็นคุณสมบัติที่มีความสอดคล้องโดยตรงกับดัชนีการแตกร่วนและความทนทาน คือเชื้อเพลิงแห้งที่มีดัชนีการแตกร่วนและความทนทานสูงจะให้ค่าความแน่นสูง (ภาพที่ 2 (ค)) อีกทั้งความแน่นของเชื้อเพลิงแห้งส่งผลต่อความสม่ำเสมอของการเผาไหม้เมื่อนำไปใช้งาน โดยเชื้อเพลิงแห้งที่มีความแน่นต่ำหรือมีความหนาแน่นต่ำจะมีอัตราการให้ความร้อนคงที่และให้พลังงานความร้อนสูงเนื่องจากเชื้อเพลิงแห้งที่มีความแน่นต่ำจะมีขนาดช่องว่างระหว่างอนุภาคคาร์บอนใหญ่ส่งผลให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างทั่วถึงเนื่องจากปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้สามารถแทรกเข้าไปภายในช่องว่างระหว่างอนุภาคคาร์บอนได้มาก จึงทำให้เชื้อเพลิงแห้งเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ คือหลังการให้ความร้อนกับแท่งเชื้อเพลิงเพื่อต้มน้ำให้เดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แล้วจะไม่มีผงคาร์บอนเหลืออยู่ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณเถ้าสูงสังเกตจากสีของเถ้าหลังจากการเผาไหม้แท่งเชื้อเพลิงขณะที่นำไปทดสอบประสิทธิภาพการให้ความร้อนที่อ่อนลงจากสีดำเป็นสีเทา (ภาพที่ 3 (ข)) (Qian, W., et al., 2017) แต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการให้ความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นต่ำจะสั้นกว่าสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำ (ตารางที่ 1) มากไปกว่านั้นเชื้อเพลิงแห้งที่ผลิตได้ยังมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 600 - 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเป็นค่าที่มากกว่าเชื้อเพลิงแห้งที่ผลิตจากไม้ยางพาราโดยมีกากไขมันและกากน้ำตาลเป็นตัวเชื่อมประสานคิดเป็นร้อยละประมาณ 8.11 - 33.33 ซึ่งความหนาแน่นจะส่งผลต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแห้งในการต้มน้ำให้เดือดมากกว่าซึ่งจะอธิบายในต่อไป

การทดสอบการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงแห้งจากการพิจารณาสีของเชื้อเพลิงแห้ง (ภาพที่ 3 (ก)) กับสีของเถ้าหลังจากการทดสอบประสิทธิภาพการให้ความร้อน (ภาพที่ 3 (ข)) และสีของเถ้าหลังกระบวนการวิเคราะห์แบบปริมาณ (ภาพที่ 3 (ค)) พบว่าสีเถ้าของเชื้อเพลิงแห้ง

ที่มีความแน่นต่ำมีสีใกล้เคียงกัน คือ สีเทาอ่อนอาจแสดงถึงการเผาไหม้ของแท่งเชื้อเพลิงที่เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ในทางตรงกันข้ามสีของผงถ่านจากเชื้อเพลิงแท่งที่มีความแน่นสูงจะมีสีเทาเข้มกว่าผงถ่านหลังการวิเคราะห์แบบปริมาณ ซึ่งหมายถึงหลังการให้ความร้อนแท่งเชื้อเพลิงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการให้ความร้อนแล้วยังมีอนุภาคคาร์บอนบางส่วนไม่ถูกเผาไหม้ จึงทำให้ผงถ่านมีสีเข้มนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงแท่งที่มีความแน่นต่ำจะมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าแท่งเชื้อเพลิงที่มีความแน่นสูง

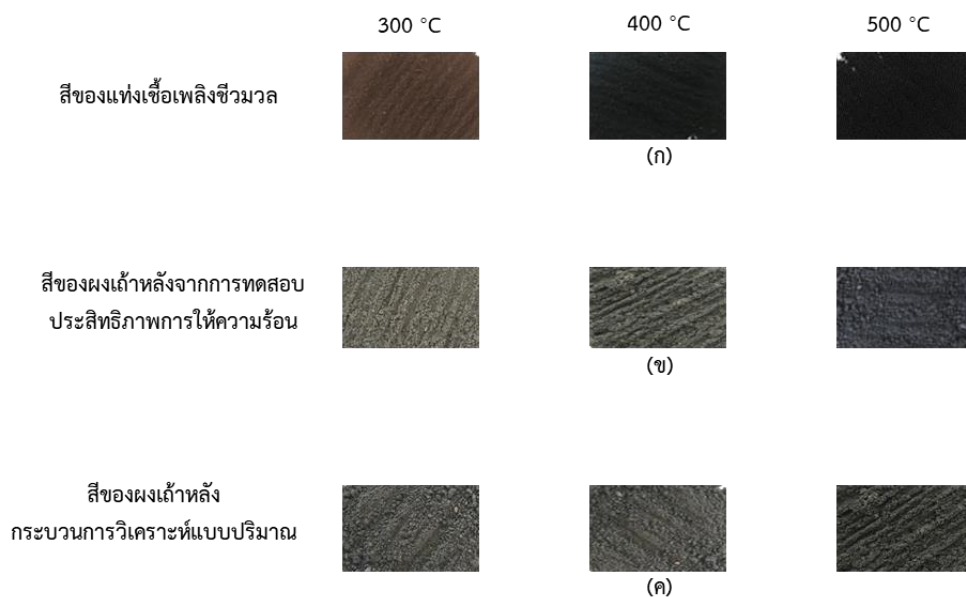


ภาพที่ 2 (ก) ค่าดัชนีการแตกร่วน (ข) ความทนทาน (ค) ความแน่น และ (ง) อัตราการซึมผ่านน้ำของเชื้อเพลิงแท่งจากกากปาล์มสาคุที่อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ 300 - 500 องศาเซลเซียส โดยมีกลีเซอรินเป็นตัวเชื่อมประสาน

3) อัตราส่วนผลได้น้ำหนัก

อัตราส่วนผลได้น้ำหนักของผงเชื้อเพลิงมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 3) เนื่องจากกากปาล์มสาคุเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบพื้นฐาน คือเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน เมื่ออุณหภูมิในการคาร์บอนไนซ์เพื่อเปลี่ยนกากปาล์มสาคุเป็นผงเชื้อเพลิงแตกต่างกันส่งผลให้อัตราการสลายตัวด้วยความร้อนของแต่ละองค์ประกอบในกากปาล์มสาคุเพื่อเปลี่ยนเป็นธาตุคาร์บอนมีความแตกต่างกันด้วย (Qian, W., et al., 2017) เนื่องจากช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวของแต่ละองค์ประกอบมีความแตกต่างกัน (Liu, Z., et al., 2018) ดังนั้น ณ อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ต่ำ คือ 300 องศาเซลเซียส อัตราการสลายตัวทางความร้อนของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินในกากปาล์มสาคุต่ำส่งผลให้เชื้อเพลิงแท่งที่ได้มีสีน้ำตาลแดง (ภาพที่ 1) แสดงให้เห็นว่า ณ อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ต่ำยังมีองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินบางส่วนที่เกิด

การสลายตัวไม่สมบูรณ์และหลงเหลืออยู่ จึงเป็นสาเหตุทำให้มีปริมาณคาร์บอนคงตัวและร้อยละของธาตุคาร์บอนต่ำ (ตารางที่ 1) ซึ่งแตกต่างจากเชื้อเพลิงแท่งที่ผลิต ณ อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์สูง คือ เชื้อเพลิงแท่งที่ได้มีสีที่เข้มขึ้นจากสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำเนื่องจากอัตราการสลายตัวทางความร้อนของแต่ละองค์ประกอบในกากปาล์มสาคุสูง จึงทำให้เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินในกากปาล์มสาคุสลายตัวได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และทำให้ทุกองค์ประกอบถูกเปลี่ยนเป็นธาตุคาร์บอนได้อย่างสมบูรณ์ สัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนคงตัวที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 1)

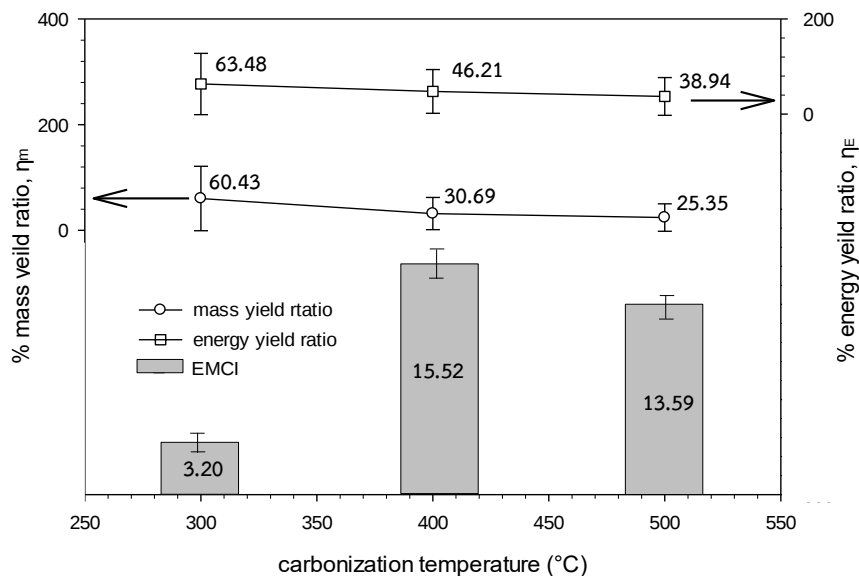


ภาพที่ 3 สีของ (ก) เชื้อเพลิงแท่ง (ข) ผงเถ้าหลังจากการทดสอบประสิทธิภาพการให้ความร้อน และ (ค) ผงเถ้าหลังกระบวนการวิเคราะห์แบบปริมาณ ที่อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ 300 - 500 องศาเซลเซียส

5) อัตราส่วนผลได้ของพลังงาน

อัตราส่วนผลได้พลังงานเป็นความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิงหลังกระบวนการคาร์บอนไนซ์กับค่าความร้อนของแท่งกากปาล์มสาคุก่อนกระบวนการคาร์บอนไนซ์ อัตราส่วนผลได้พลังงานของเชื้อเพลิงแท่งมีแนวโน้มเหมือนกับอัตราส่วนผลได้น้ำหนัก คือ มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4) ส่วนผลต่างระหว่างอัตราส่วนผลได้พลังงานกับอัตราส่วนผลได้น้ำหนักนั้นเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงสถานะที่เหมาะสมในการพัฒนากากปาล์มสาคุเป็นเชื้อเพลิงแท่ง ด้วยกระบวนการคาร์บอนไนซ์ซึ่งนิยามด้วยค่า EMCI (energy-mass co-benefit index) (Ke-Miao, L., et al., 2012) ค่า EMCI มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิคาร์บอนไนซ์เพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 400 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์มากกว่า 400 องศาเซลเซียส ค่า EMCI มีค่าลดลง ค่า EMCI ที่มากที่สุดพบที่อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ 400 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4) แสดงให้เห็นว่าสถานะที่เหมาะสมต่อการพัฒนากากปาล์มสาคุให้เป็นเชื้อเพลิงแท่ง คือ สถานะ ณ อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ 400

องศาเซลเซียส และ ณ สภาวะที่เหมาะสมนี้จะได้เชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติทางกายภาพดีที่สุด สำหรับคุณสมบัติทางความร้อนนั้นจะทำการศึกษาต่อไป



ภาพที่ 4 อัตราส่วนผลได้ของน้ำหนั อัตราส่วนผลได้ของพลังงาน และ ค่า EMCI ของเชื้อเพลิงแข็งจากกากปาล์มสาकुที่อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ 300 - 500 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 องค์ประกอบแบบปริมาณ และองค์ประกอบแบบละเอียดของกลีเซอรินเชื้อเพลิงแข็งจากกากปาล์มสาकुกลุ่มที่มีการเติมกลีเซอรินและไม่มีการเติมกลีเซอริน

carbonized temperature (°C)	glycerine content (%weight)	proximate analysis				ultimate analysis					Heating value (MJ/kg)
		% MC	% VM	% ASH	% FC	% C	% O	% H	% N	% S	
300	—*	3.24	87.07	3.85	5.84	37.49	55.77	6.49	0.190	0.061	13.15
	—**	11.47	85.17	3.36	N/A	46.39	38.48	9.60	< 0.01	< 0.01	21.87
	0	4.66	76.24	5.86	13.24	47.79	32.85	4.14	0.566	0.104	16.06
400	0	2.17	37.14	10.37	50.32	58.48	40.77	3.89	0.704	0.156	18.63
500	0	2.27	29.80	12.97	54.96	54.52	23.35	2.71	0.621	0.129	18.94
300	60	11.46	83.82	3.48	1.24	41.92	40.92	6.65	0.210	< 0.01	17.13
400	60	3.18	62.14	8.44	26.24	56.39	23.93	5.05	0.390	< 0.01	22.15
500	60	3.98	79.91	11.04	5.07	53.89	23.39	4.72	0.390	0.07	21.00

หมายเหตุ

* กากปาล์มสาकुก่อนผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์

** กลีเซอริน

%MC คือ ร้อยละความชื้น

%C คือ ร้อยละธาตุคาร์บอน

%VM คือ ร้อยละสารอินทรีย์ระเหยง่าย

%H คือ ร้อยละธาตุไฮโดรเจน

%ASH คือ ร้อยละเถ้า

%O คือ ร้อยละธาตุออกซิเจน

%FC คือ ร้อยละคาร์บอนคงตัว

%N คือ ร้อยละธาตุไนโตรเจน

%S คือ ร้อยละธาตุซัลเฟอร์

4.2 คุณสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงแท่ง

ในการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงแท่งนั้นจะนำเชื้อเพลิงแท่งที่มีปริมาณกลีเซอรินในอัตราส่วนสูงสุด คือ ร้อยละ 60 โดยน้ำหนักเป็นกลุ่มตัวอย่างหลักเนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงแท่งที่ให้คุณสมบัติทางกายภาพดีที่สุด ดังนั้นในการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนจึงเป็นการทดสอบระหว่างเชื้อเพลิงแท่งที่มีการเติมกลีเซอรินในปริมาณร้อยละ 60 โดยน้ำหนักและไม่เติมกลีเซอรินเท่านั้น โดยให้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแท่งที่เติมและไม่เติมกลีเซอริน ณ สภาวะอุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ 300 400 และ 500 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์เดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่มีการเติมกลีเซอรินจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงแท่งที่ไม่มีการเติมกลีเซอริน เนื่องจากแท่งเชื้อเพลิงที่มีการเติมกลีเซอรินจะมีองค์ประกอบของเถ้าลดลงซึ่งเถ้าเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ให้พลังงานเมื่อใช้งานด้วยการนำแท่งเชื้อเพลิงไปเผาไหม้ (ตารางที่ 1) ในขณะที่กลีเซอรินมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ระเหยได้สูงจึงถือได้ว่ากลีเซอรินเป็นองค์ประกอบที่ให้พลังงาน (Asavatesanupap, C. and Malee, S., 2010) ดังนั้นเชื้อเพลิงแท่งที่มีองค์ประกอบของกลีเซอริน จะให้ค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงแท่งที่ไม่มีการเติมกลีเซอรินมากไปกว่านั้น เชื้อเพลิงแท่งที่มีการเติมกลีเซอรินจะมีความสามารถในการจุดติดไฟสูงหรือมีความสามารถในการจุดติดไฟได้ง่ายสัมพันธ์กับปริมาณขององค์ประกอบแบบปริมาณชนิดสารอินทรีย์ระเหยได้สูง (ตารางที่ 1) ซึ่งสารอินทรีย์ระเหยได้ คือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเบาที่อยู่ในเชื้อเพลิงแท่งและทำหน้าที่เป็นตัวกลางทำให้เชื้อเพลิงแท่งติดไฟก่อนเกิดการเผาไหม้คาร์บอนที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิง โดยสารอินทรีย์ระเหยได้นั้นประกอบด้วย มีเทน อีเทน โพรเพน บิวเทน เป็นต้น มีคุณสมบัติเป็นแก๊สเชื้อเพลิง

สำหรับเชื้อเพลิงแท่งที่มีการเติมกลีเซอรินในปริมาณที่เท่ากัน จะเห็นว่า ณ อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ที่เพิ่มสูงขึ้นจาก 300 เป็น 400 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแท่งมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นนี้เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุคาร์บอนและคาร์บอนคงตัว ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุคาร์บอนส่งผลให้แท่งเชื้อเพลิงมีระยะเวลาในการจุดติดไฟยาวนาน หลังจากกระบวนการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์เสร็จสิ้นแสดงให้เห็นว่าแท่งเชื้อเพลิงสามารถเก็บสะสมความร้อนไว้ในตัวเองได้นานขึ้นสอดคล้องกับความหนาแน่นพลังงานสูงขึ้นคิดเป็นร้อยละ 23.28 (ความหนาแน่นพลังงานของเชื้อเพลิงแท่ง ณ อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์ 300 องศาเซลเซียส คือ 10,421 MJ/m³) (Bo-Jhih, Lin., et al., 2017) อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิคาร์บอนไนซ์สูงกว่า 400 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแท่งมีค่าลดลงเนื่องจากมีองค์ประกอบของส่วนที่ไม่ให้พลังงานเพิ่มมากขึ้น

จากการทดสอบการใช้งานเชื้อเพลิงแท่งด้วยการต้มน้ำปริมาตร 10 มิลลิลิตร ให้เดือด ณ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิห้องขณะทำการศึกษาคือ 30 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณเชื้อเพลิงแท่งที่ใช้ในการทำให้น้ำเดือดแตกต่างกัน กล่าวคือ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแท่งที่ผลิต ณ อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ 400 องศาเซลเซียส น้อยที่สุด คือ 8.48 กรัม ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณเชื้อเพลิงแท่งที่ผลิต ณ อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ 500 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแท่งที่ผลิต ณ อุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ 300 องศาเซลเซียส มีมากกว่า คือ 12.83 กรัม แสดงให้เห็นว่าการใช้เชื้อเพลิงแท่งในปริมาณน้อยสำหรับการทำให้น้ำปริมาตร 10 มิลลิลิตร เดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส บ่งบอกถึงความสามารถในการเก็บสะสมความร้อนไว้ในตัวเองภายหลัง

กระบวนการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์เสร็จสิ้น ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นของพลังงานและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแห้งที่เพิ่มสูงขึ้น (Tantisattayakul, T., et al., 2015) จากความสามารถในการจุดติดไฟของเชื้อเพลิงแห้งที่มีการเติมกลีเซอริน จะเห็นว่าเชื้อเพลิงแห้งมีความสามารถในการติดไฟได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารอินทรีย์ระเหยได้สูง ในขณะที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนต่ำ ซึ่งระยะเวลาในการให้ความร้อนทดสอบได้จากการให้ความร้อนกับเชื้อเพลิงแห้ง จนเกิดการเผาไหม้สังเกตสีและการลามของสะเก็ดไฟบนแท่งเชื้อเพลิงจากนั้น จับเวลาจนกระทั่งอนุภาคคาร์บอนเผาไหม้หมดจะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงแห้ง ที่มีสารอินทรีย์ระเหยได้ในปริมาณสูงหรือมีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำ คือ 11.13 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาในการให้ความร้อนสั้นกว่าเชื้อเพลิงแห้งที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงประมาณ 2.65 เท่า

5. สรุปผลการวิจัย

การผลิตเชื้อเพลิงแห้งจากกากปาล์มสาคุโดยใช้กลีเซอรินเป็นตัวเชื่อมประสานและอัดให้เป็นแท่งด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ณ แรงดัน 20 เมกะปาสกาล จากปัจจัยของอุณหภูมิคาร์บอนระหว่าง 300 ถึง 500 องศาเซลเซียส ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางความร้อนสามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงแห้งที่ผลิต ณ อุณหภูมิคาร์บอนที่ 400 องศาเซลเซียส และมีปริมาณกลีเซอรินร้อยละ 60 โดยน้ำหนักจะมีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางความร้อนดีที่สุดแสดงในรูปของดัชนีการแตกร่วนและความทนทานสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแน่นมากที่สุด อีกทั้งยังได้เชื้อเพลิงแห้งที่มีค่าความร้อนสูง มากไปกว่านั้นสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการคาร์บอนในการเปลี่ยนกากปาล์มสาคุเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล คือสภาวะที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และการใช้กลีเซอรินเป็นตัวเชื่อมประสานยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางความร้อนของเชื้อเพลิงแห้งอีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ในการสนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ และเครื่องมือในการตรวจวัดรวมทั้งสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณสวนยายฉุย ตำบลควนขนุน อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง ที่เอื้อเฟื้อกากปาล์มสาคุสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Antwi-Boasiako, C., & Acheampong, B.B. (2016). Strength properties and calorific values of sawdust-briquettes as wood-residue energy generation source from tropical hardwoods of different densities. **Biomass and Bioenergy**, 85, 144-152.
- Asavatesanupap, C., & Malee, S. (2010). A Feasibility Study on Production of Solid Fuel from Glycerol and Agricultural Wastes. **International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies**, 1(1), 43-51.

- Bo-Jhih, Lin., Edgar, A.S., Baptiste, C., Wei-Hsin, C., Anélie, P., Patrick, R., & Mathieu, P. (2017). Prediction of higher heating values (HHVs) and energy yield during torrefaction via kinetics. **Energy Procedia**, **158**, 111-116.
- Gendek, A., Aniszewske, M., Malatak., J., & Velebil, J. (2018). Evaluation of selected physical and mechanical properties of briquettes produced from cones of three coniferous tree species. **Biomass and Bioenergy**, **117**, 173-179.
- Ke-Miao, L., Wen-Jhy, L., Wei-Hsin, C., Shih-Hsien, L., & Ta-Chang, L. (2012). Torrefaction and low temperature carbonization of oil palm fiber and eucalyptus in nitrogen and air atmospheres. **Bioresource Technology**, **123**, 98-105.
- Liu, Z., Zhan F., Yan, S., Tian, L., Wang, H., Liu, H., Wang, H., & Hu, J. (2018). Effects of temperature and low-concentration oxygen on pine wood sawdust briquettes pyrolysis: Gas yields and biochar briquettes physical properties. **Fuel Processing Technology**, **177**, 228-236.
- Qian, W., Kuihua, H., Jie, G., Hui, L., & Chunmei, L. (2017). The pyrolysis of biomass briquettes: Effect of pyrolysis temperature and phosphorus additives on the quality and combustion of bio-char briquettes. **Fuel**, vol. **199**, 488-496.
- Satpathy, P., Thosar A., & Rajan, A.P. (2014). Green technology for Glycerol waste from Biodiesel plant. **International journal of current microbiology and applied sciences**, **3(1)**, 730-739.
- Tantisattayakul, T., Phongkasem, S., Phooya, P., & Taibangury, P. (2015). Community-Based Renewable Energy from Biomass Briquettes Fuel from Coconut Leaf. **Journal of Science and Technology**, **23(3)**, 418-431. (in Thai)
- Yunbo, Z., Tengfei, W., Yun, Z., Chuan, P., Bei, W., Xue, L., Caiting, L., & Guangming, Z. (2018). Production of fuel pellets via hydrothermal carbonization of food waste using molasses as a binder. **Waste Management**, **77**, 5-194.

แบบความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์ สำหรับองค์การภาครัฐ Security Assessment Model of Cloud Computing for Government Organizations

ยุทธพล พิชัยณรงค์^{1*}, นัฐพงศ์ ส่งเนียม², ดุชนิ ศุภวรรณกุล³ และวรภัทร ไพรีเกรง⁴

Yuthtapon Pichainarong^{1*} Nattapong Songneam² Dusanee Supawantanakul³ and Worapat Paireekreng⁴

^{1,3}สาขาการจัดการเทคโนโลยี หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220

9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220 โทร 08 7919 2959 E-mail: yuthtapon@hotmail.com

²สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220

⁴สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต กรุงเทพฯ 10210

^{1,3}Technology Management, Doctor of Philosophy (Ph.D.), Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

9 Changwattana Road, Bangkhem Bangkok 10220 Tel: +66(8) 7919 2959 E-mail: yuthtapon@hotmail.com

²Computer Science, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

⁴Information Technology, Doctor of Philosophy (Ph.D.), Dhurakij Pundit University, Bangkok 10210

วันที่รับบทความ 26 กรกฎาคม 2562

Received: Jul. 26, 2019

วันที่รับแก้ไขบทความ 9 ตุลาคม 2562

Revised: Oct. 9, 2019

วันที่ตอบรับบทความ 17 ธันวาคม 2562

Accepted: Dec. 17, 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสำรวจ วิเคราะห์ และประเมินปัจจัยความเสี่ยงในการใช้ระบบการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ 2) เพื่อออกแบบและพัฒนาตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ และ 3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ ผลการวิจัยพบว่า การสำรวจ วิเคราะห์ และประเมินปัจจัยความเสี่ยงในระบบการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐมีลักษณะงานที่แตกต่างกัน การใช้งานการประมวลผลคลาวด์ไม่พบข้อแตกต่างกัน การประเมินความเสี่ยงมีค่าความรุนแรง และโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ต่ำมาก เนื่องจากมีหน่วยงานสำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล เป็นหน่วยงานกลางของภาครัฐที่ให้บริการและช่วยกำกับดูแลในเรื่องของความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลคลาวด์ ส่วนผลการออกแบบนโยบายที่สร้างมาจากมาตรฐานสากลจำนวน 3 มาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐาน ISO, COBIT และ ITIL จากตารางการตัดสินใจ และรับรองมาตรฐานโดยผู้เชี่ยวชาญ (Focus Group) เพื่อให้ได้แนวนโยบายความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ (ICI) ประกอบไปด้วย 4 โดเมน 26 วัตถุประสงค์ 109 ข้อย่อย ผลการประเมินประสิทธิภาพของนโยบายความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐเดิม จากผู้เชี่ยวชาญด้วยการประเมินแบบรูปรีคัส เป็นการประเมินแบบเชิงคุณภาพ มีค่าโดยรวมเท่ากับ 3 คะแนน แปรผลเท่ากับค่าประสิทธิภาพปานกลาง และได้ทำการจัดแนวนโยบายใหม่ทำให้มีค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเท่ากับ 5 คะแนน แปรผลเท่ากับค่าประสิทธิภาพมากที่สุด โดยเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 66.67 และตัวแบบดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับองค์การภาครัฐอื่น ๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์ได้อีกด้วย

คำสำคัญ: การประเมินความเสี่ยง, ความมั่นคงปลอดภัย, การประมวลผลแบบคลาวด์, องค์การภาครัฐ

Abstract

The objectives of this study were to 1) survey, analyze and evaluate risk factors of Cloud computing systems of government organizations in Thailand, 2) design and develop a Cloud computing security model for government organizations, and 3) evaluate the efficiency of the model. The findings were as follows. The survey, analysis, and evaluation of risk of using Cloud computing systems revealed that usage patterns differed from organization to organization; meanwhile, no differences in Cloud computing among these organizations were found. Moreover, the level of risk was found to be very low, in spite of the high stakes, because Cloud computing systems were served and supervised by the Digital Government Development Agency (DGA). As for a security model of Cloud computing for government organizations, the researcher designed and constructed a security model according to three international standards (ISO, COBIT, ITIL) and criteria for selected items. This model was evaluated by experts whose opinions were solicited via a focus group. This model, featuring a security policy, consisted of 4 domains, 26 objectives and 109 sub-terms. The evaluation conducted by three experts according to qualitative rubrics showed that the overall security of the existing practice was at a moderate level, of which the mean was 3. After the security policy was introduced, its efficiency increased to a very high level of which the mean was 5, an increase of 66.67 percent. Our model can be applied in any government organization in Thailand in order to assess the risk of Cloud computing.

Keywords: risk assessment, security, cloud computing, government organization

1. บทนำ

ปัจจุบันการประมวลผลแบบคลาวด์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำเนินงานของหน่วยงานทั้งในส่วนของการจัดเก็บข้อมูล การประมวลผลระบบงานโดยเฉพาะระบบงานที่เกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศ ระบบงานเครือข่าย ให้มีความสะดวก รวดเร็ว มีประสิทธิภาพการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ก็อาจมีความเสี่ยงหลายประการ จึงนำการประมวลผลแบบคลาวด์ (Cloud Computing) เข้ามาช่วยแก้ปัญหา โดยข้อมูลส่วนใหญ่ของหน่วยงานราชการเป็นข้อมูลทางด้านความลับ จึงต้องมีการบริหารความเสี่ยง สามารถระบุความเสี่ยงของข้อมูล อุปกรณ์ บุคลากร ที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สิน ความรุนแรง และโอกาสที่จะเกิด มาพิจารณาความเสี่ยง ซึ่งเดิมจะใช้มาตรฐาน ISO 27001 มาประเมินความเสี่ยง ซึ่งในปัจจุบันหากใช้มาตรฐาน ISO 27001 เพียงมาตรฐานเดียวยังไม่เพียงพอต่อความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น จึงต้องหามาตรฐานอื่น ๆ มาช่วยเสริมเพื่อปิดช่องโหว่ เช่น มาตรฐาน COBIT, ITIL มาช่วยออกแบบมาตรฐานเพื่อให้มีความมั่นคงปลอดภัยมากขึ้น

ดังนั้น เพื่อให้การทำงานมีความมั่นคงปลอดภัยที่เหมาะสม จึงต้องทำวิจัยเกี่ยวกับตัวแบบการประเมินความเสี่ยงและการออกแบบความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ เพื่อเป็นต้นแบบสนับสนุนงานตามภารกิจหลักขององค์การ ก่อให้เกิด

ผลประโยชน์สูงสุดในการลดโอกาสเสี่ยงต่อความเสียหายของข้อมูล ความซ้ำซ้อนของข้อมูล ลดภาระการบริหารจัดการ เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายแนวคิดประเทศไทย 4.0 ให้มีความมั่นคงปลอดภัย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อสำรวจ วิเคราะห์และประเมินปัจจัยความเสี่ยงในระบบการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐของประเทศไทย

2.2 เพื่อออกแบบและพัฒนาตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐของประเทศไทย

2.3 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐของประเทศไทย

3. นิยามศัพท์เฉพาะ

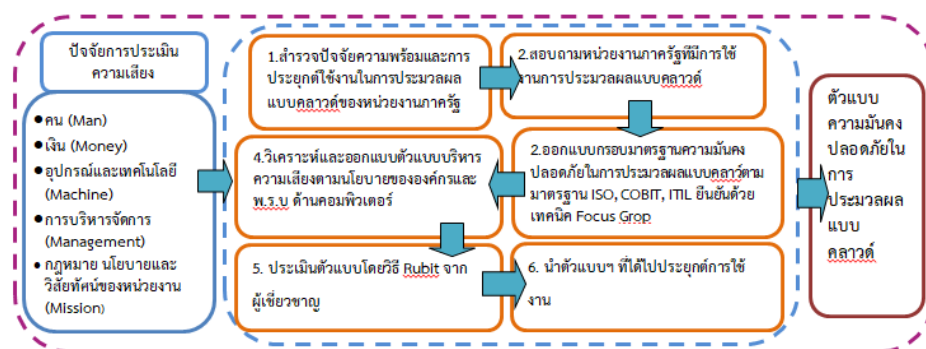
ตัวแบบ (Model) หมายถึง การวิจัยถึงกระบวนการ วิธีการและพฤติกรรมกระทำการดำเนินการให้ได้ตามวัตถุประสงค์หลักของการวิจัย

ตัวแบบความมั่นคงปลอดภัย (Security Assess Model) หมายถึง การวิจัยถึงกระบวนการ วิธีการและพฤติกรรมกระทำการด้านความมั่นคงปลอดภัยทางเทคโนโลยีสารสนเทศ ให้อยู่ในสถานะที่มีความปลอดภัย ที่เกิดขึ้นจากการจัดตั้ง การดำรงไว้ซึ่งมาตรการการปกป้อง ทำให้เกิดความมั่นใจว่าการกระทำหรืออิทธิพลที่ไม่เป็นมิตร ไม่สามารถจะมีผลกระทบได้และได้รับการป้องกันจากภัยอันตรายทั้งที่เกิดขึ้นโดยตั้งใจหรือบังเอิญ

การประมวลผลแบบคลาวด์ (Cloud computing) หมายถึง ลักษณะการทำงานของระบบโดยใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ที่มีอยู่บนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น พื้นที่การจัดเก็บข้อมูล แพลตฟอร์มการทำงาน แอปพลิเคชัน ที่ผู้ใช้งานเรียกใช้งานโปรแกรมต่าง ๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และรับข้อมูลแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์

องค์การภาครัฐ (Government organization) หมายถึง หน่วยงานตามกฎหมายว่าด้วยการบริหารราชการ อันได้แก่ กระทรวง ทบวง กรม รัฐวิสาหกิจ และหน่วยงานอิสระ ที่อยู่ภายใต้การจัดตั้ง กำกับดูแล และสนับสนุนงบประมาณของรัฐ เพื่อประโยชน์ต่อประชาชนโดยแบ่งส่วนการบริหารราชการออกเป็น 20 กระทรวง

4. วิธีดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการทำวิจัย

กรอบแนวคิดในการวิจัยมีวิธีการดำเนินการในการวิจัยที่มีปัจจัยความเสี่ยงเข้ามามีผลกระทบต่อระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ 5 ปัจจัย ประกอบด้วย คน เงิน อุปกรณ์ และเทคโนโลยีการบริหารจัดการ และนโยบายและวิสัยทัศน์ โดยจะมีขั้นตอนการจัดการความเสี่ยงดังต่อไปนี้

(1) สำรวจปัจจัยและสภาพความพร้อมที่มีผลต่อการนำเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารในการประมวลผลแบบคลาวด์ มาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ สำหรับองค์การภาครัฐ

(2) ศึกษาสภาพความพร้อมใช้งานเทคโนโลยีสารสนเทศในการประมวลผลแบบคลาวด์ โดยสร้างแบบสอบถามและเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 20 กระทรวง

(3) ออกแบบกรอบมาตรฐานความมั่นคงปลอดภัยทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยใช้มาตรฐาน ISO 27001:2013, ITIL3, COBIT5 มาเป็นกรอบในการออกแบบความมั่นคงปลอดภัยให้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ โดยใช้เทคนิคตารางการตัดสินใจ (Decision table) และใช้เทคนิคแบบการประชุมกลุ่ม (Focus group) โดยมีผู้เชี่ยวชาญจำนวนไม่น้อยกว่า 8 - 12 ท่าน เพื่อประเมินแบบสอบถามให้ได้กรอบมาตรฐานใหม่เรียกว่า ICI (ISO COBIT ITIL)

(4) ทำการวิเคราะห์ประเมินความเสี่ยงเพื่อนำเสนอแนวทางการป้องกันความมั่นคงปลอดภัยตามนโยบายขององค์กร รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามด้วย

(5) ประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์จากผู้เชี่ยวชาญโดยใช้เทคนิคแบบ Rubit

(6) นำเสนอตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ มาประยุกต์ใช้งานจริงและประเมินการใช้งานโดยการทำข้อตกลงการให้บริการ (Service Level Agreement (SLA))

(7) สรุปการประมวลผลเพื่อให้ได้ตัวแบบการประเมินความเสี่ยงและความมั่นคงปลอดภัยทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ เพื่อนำไปปรับปรุงการทำงานแบบเดิมรวมถึงการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับหน่วยงานที่อยู่ภายใต้กระทรวง

4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1) ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ในหน่วยงานภาครัฐของประเทศไทย จำนวน 20 กระทรวง เฉพาะในส่วนของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารของแต่ละกระทรวง

2) กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ใช้การเปรียบเทียบตารางของกลุ่มตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนร้อยละ 5 (Krejcie, R. V. & Morgan, D. W., 1970) แบ่งเป็น 3 กลุ่มตัวอย่างดังนี้

(1) กลุ่มผู้บริหารของหน่วยงานภาครัฐ (CIO) ทำหน้าที่รับผิดชอบในการบริหารเกี่ยวกับงานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศขององค์การของแต่ละกระทรวง 20 กระทรวง กระทรวงละ 1 ท่าน ใช้หลักการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จะได้กลุ่มตัวอย่าง 20 คน

(2) กลุ่มผู้ดูแลระบบ (Administrator) ที่ทำหน้าที่ในการกำกับ ควบคุมและดูแลระบบงานเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ระบบการประมวลผลแบบคลาวด์ ของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารของแต่ละกระทรวง 20 กระทรวง โดยใช้หลักการเปรียบเทียบอัตราส่วน กลุ่มตัวอย่างของ ทาโร ยามาเน่ (Taro Yamane) (Yamane, Taro., 1973 อ้างอิงใน ศิริพงษ์ พงษ์พิพันธุ์, 2553 / Prithiphan, S., 2010) จากประชากร 290 ท่าน จะได้กลุ่มตัวอย่าง 165 คน

(3) กลุ่มผู้ใช้งาน (User) ที่เป็นผู้ใช้งานระบบการประมวลผลแบบคลาวด์ของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร จำนวน 20 กระทรวง ที่มีโดยใช้หลักการเปรียบเทียบอัตราส่วนของกลุ่มตัวอย่างของ ทาโร ยามาเน่ จากประชากร 10,766 คน จะได้กลุ่มตัวอย่าง 370 คน

3) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านไอซีที ด้วยวิธีการสนทนากลุ่ม (Focus Group) จากผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ทรงคุณวุฒิจำนวนไม่น้อยกว่า 8 - 12 คน ที่เป็นยอมรับในแวดวงวิชาชีพด้านไอทีหรือหน่วยงานราชการ ด้วยเกณฑ์การพิจารณาจากผู้ที่มีความรู้ ความสามารถและประสบการณ์ทางด้านไอซีที ด้านความมั่นคงปลอดภัย ด้านมาตรฐานไอที การประมวลผลคลาวด์ และด้านงานวิจัยเป็นอย่างดี ดังนี้

(1) ผู้เชี่ยวชาญในการคัดเลือกข้อมูลมาตรฐาน ให้ได้กรอบมาตรฐานใหม่ จะต้องมีความรู้ทางการศึกษาไม่ต่ำกว่าระดับปริญญาเอก หรือมีตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขึ้นไป

(2) ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัย เพื่อใช้ในการประเมินแบบสอบถามที่ผู้วิจัยที่กำหนดขึ้น เพื่อรับฟังความคิดเห็น การคาดการณ์ สถานการณ์ใดสถานการณ์หนึ่ง

(3) ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประเมินตัวแบบการประเมินความเสี่ยง และความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์ สำหรับองค์การภาครัฐ เพื่อเป็นผู้พิจารณาตรวจสอบประเมินตัวแบบให้ครบถ้วนสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ ตรงตามเนื้อหาของตัวแบบความมั่นคงปลอดภัย

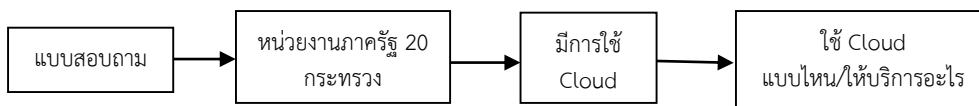
4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบ่งวิธีการเก็บข้อมูลมี 2 ส่วน ดังนี้

1) แบบสัมภาษณ์เชิงลึก (Indepth Interview) เป็นวิธีการสัมภาษณ์เกี่ยวกับการจัดการความมั่นคงปลอดภัย การควบคุมปัจจัยเสี่ยง ทิศทางการทำงาน และนโยบายที่ใช้ในการตั้งคำถาม

2) แบบสอบถาม (Questionnaire) ที่เกี่ยวข้องกับระดับโอกาส และระดับความรุนแรงที่จะเกิดความเสี่ยง พร้อมทั้งระบุผลเสียหายต่อปัจจัยความเสี่ยง

4.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย เพื่อให้ได้ตัวแบบแนวนโยบายความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ แบ่งระยะการดำเนินการ 4 ระยะ ดังนี้

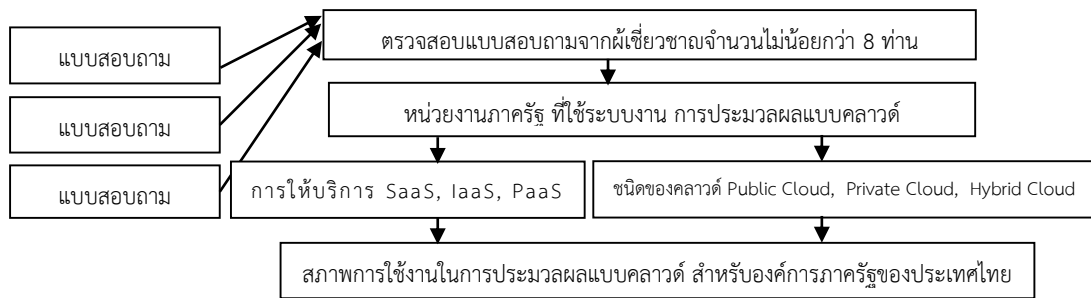
ระยะที่ 1 เพื่อสำรวจ วิเคราะห์ และประเมินผลจากปัจจัยความเสี่ยงในการประมวลผลแบบคลาวด์ สร้างแบบสอบถามและเก็บรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่างในหน่วยงานภาครัฐ จำนวน 20 กระทรวง กระบวนการของการดำเนินงานในระยะที่ 1 ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 2 กระบวนการของการดำเนินงานในระยะที่ 1

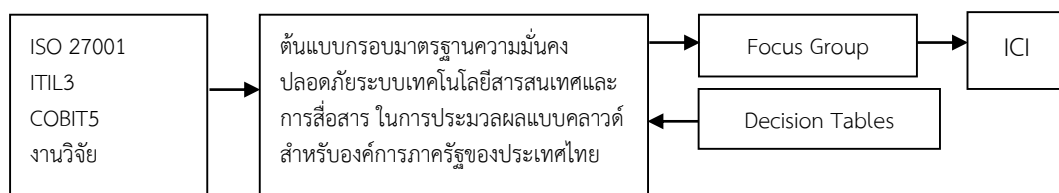
ระยะที่ 2 เพื่อออกแบบและพัฒนาตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาสภาพการพร้อมใช้งานในการประมวลผลแบบคลาวด์ และเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างนำมาพัฒนากรอบนโยบายความมั่นคงปลอดภัย โดยรับรองแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัย จำนวน 8 - 12 ท่าน กระบวนการของการดำเนินงานในระยะที่ 2 ดังภาพที่ 2



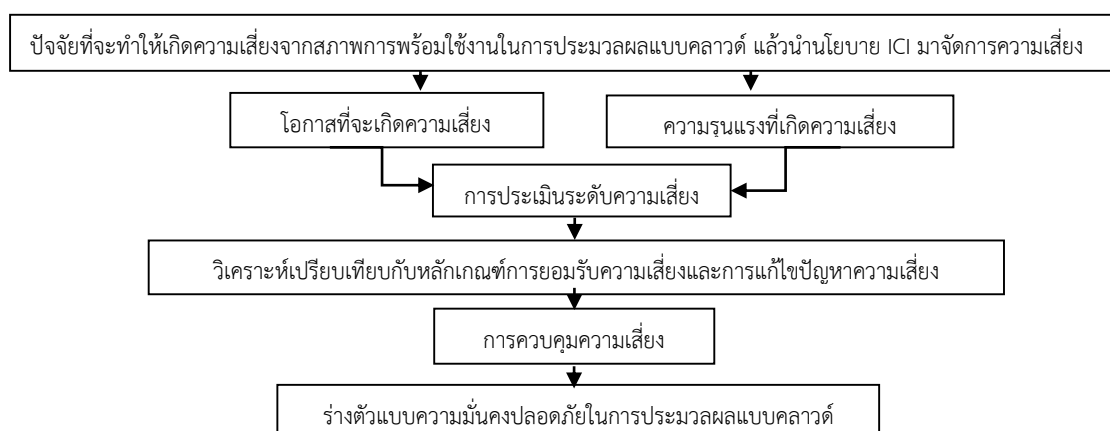
ภาพที่ 3 กระบวนการของการดำเนินงานในระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบกรอบมาตรฐานความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์เพื่อประเมินความเสี่ยง โดยใช้มาตรฐาน ISO 27001:2013, COBIT5 และ ITIL3 มาเป็นกรอบในการออกแบบและคัดเลือกข้อมาตรฐานจากรายการตัดสินใจ รับรองโดยผู้เชี่ยวชาญในการคัดเลือกข้อมาตรฐานจำนวน 8 ท่าน โดยวิธีการประชุมกลุ่มได้กรอบนโยบายใหม่ เรียกว่า ICI (ISO COBIT ITIL) กระบวนการของการดำเนินงานในระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 2 ดังภาพที่ 4



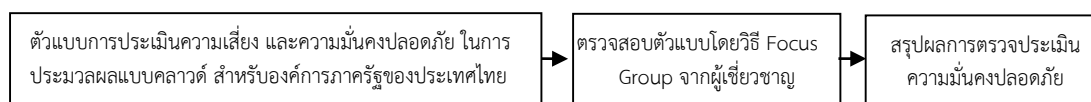
ภาพที่ 4 กระบวนการของการดำเนินงานในระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงเพื่อหาแนวทางการป้องกันความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์ จากมาตรฐาน ICI มาวิเคราะห์ประเมินความเสี่ยงจำนวน 20 กระบวน โดยใช้ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากมาตรฐาน OCTAVESM มีขั้นตอนดังภาพที่ 5



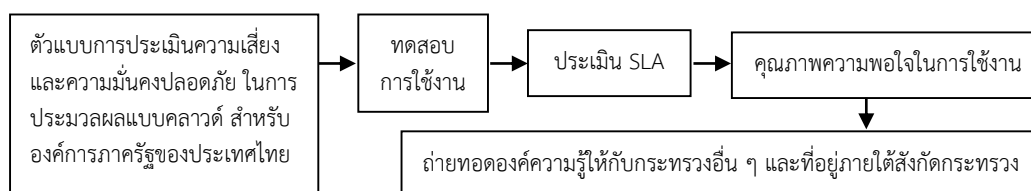
ภาพที่ 5 กระบวนการของการดำเนินงานในระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 4 เพื่อประเมินความพึงพอใจของตัวแบบจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานทั่วไป โดยวิธีการประชุมกลุ่ม จำนวน 8 - 12 ท่าน ประเมินตัวแบบและพิจารณาความถูกต้องของตัวแบบ ความมั่นคงปลอดภัย เพื่อรับรองสภาพความเป็นจริงของตัวแบบสามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบ ใช้กับหน่วยงานภาครัฐอื่น ๆ ได้ กระบวนการของการดำเนินงานในระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 4 ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กระบวนการของการดำเนินงานในระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 4

ระยะที่ 3 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์ มาประยุกต์ใช้กับงานจริง และประเมินการใช้งานของระบบ (SLA: Service Level Agreement) และนำไปเผยแพร่ ถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับหน่วยงานอื่น ๆ มากกว่า 1 องค์กร ทั้ง 3 ตัวแบบ กระบวนการของการดำเนินงานในระยะที่ 3 ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กระบวนการของการดำเนินงานในระยะที่ 3

ระยะที่ 4 การนำเสนอ ตัวแบบการประเมินความเสี่ยงและความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ โดยนำหลักการมาตรฐาน OCTAVESM มาเป็นต้นแบบ การประเมินความเสี่ยงในการประมวลผลแบบคลาวด์ โดยใช้นโยบาย ICI มาใช้ในการประเมินความเสี่ยง

5. ผลการวิจัย

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัย ระยะที่ 1 พบว่าในลักษณะส่วนบุคคล ได้แก่ ผู้ใช้งาน ผู้ดูแลระบบ ผู้บริหาร ตำแหน่งการทำงาน วุฒิการศึกษา ประสบการณ์ การใช้งานมีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามหน้าที่การทำงานแต่ละลักษณะ ระยะเวลาของการใช้คอมพิวเตอร์ของแต่ละหน่วยงานไม่พบข้อแตกต่างกันและส่วนใหญ่จะมีการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน การประมวลผลคลาวด์ทั้งสิ้น ซึ่งการบริหารจัดการความเสี่ยง มีปัจจัยที่สำคัญ 5 ด้าน ได้แก่ คน การเงิน อุปกรณ์ การบริหารจัดการและทางด้านนโยบาย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความรุนแรงและโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงโดยรวมอยู่ในระดับที่ต่ำมาก เนื่องด้วยมีหน่วยงานสำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัลช่วยดูแลในเรื่องความมั่นคงปลอดภัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัย ระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 1 พบว่าการศึกษาสภาพการพร้อมใช้งานในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ จากแบบสอบถามและเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง เพื่อนำมาพัฒนากรอบมาตรฐานความมั่นคงปลอดภัยทางด้านเทคโนโลยี

จากหน่วยงานที่มีการใช้งานระบบการประมวลผลแบบคลาวด์ และรับรองแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 8 ท่าน โดยมีเกณฑ์แนวการคิดระดับความเสี่ยงของ เบสต์ (Best, John W., 1981) สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 1 สภาพความพร้อมใช้งานในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ

โอกาสและความรุนแรงที่จะเกิดความเสี่ยง	ค่าสถิติความเสี่ยง		
ค่าสภาพความพร้อมใช้งานในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
1. ค่าโอกาสที่เกิความเสี่ยงด้านใช้บริการซอฟต์แวร์ในการประมวลผลแบบคลาวด์	1.65	0.75	ต่ำมาก
2. ค่าความรุนแรงที่เกิความเสี่ยงการบริการซอฟต์แวร์การประมวลผลแบบคลาวด์	1.65	0.75	ต่ำมาก
3. ค่าโอกาสที่เกิความเสี่ยงการบริการแพลตฟอร์มในการประมวลผลแบบคลาวด์	1.80	0.90	ต่ำมาก
4. ค่าความรุนแรงเกิความเสี่ยงการใช้บริการแพลตฟอร์มประมวลผลแบบคลาวด์	1.78	0.89	ต่ำมาก
5. ค่าโอกาสที่จะเกิความเสี่ยงการบริการโครงสร้างพื้นฐาน	1.63	0.76	ต่ำมาก
6. ค่าความรุนแรงที่จะเกิความเสี่ยงการใช้โครงสร้างพื้นฐาน	1.63	0.76	ต่ำมาก
ผลรวม	1.69	0.80	ต่ำมาก

ผลการวิเคราะห์การสัมภาษณ์ผู้บริหารด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ สรุปได้ดังนี้

มีการติดตั้งการประมวลผลประเภทคลาวด์แบบส่วนตัว (Private Cloud) มีการให้บริการการประมวลผลแบบคลาวด์ประเภทโครงสร้างพื้นฐานเป็นส่วนใหญ่ มีแนวทางในการดูแลบำรุงรักษาระบบการประมวลผลแบบคลาวด์ 3 แบบ ดังนี้ 1) การเฝ้าสังเกตการณ์ 2) งานบำรุงรักษากรณีปกติ และ 3) งานซ่อมบำรุงกรณีชำรุด ทุกหน่วยงานใช้บริการระบบการประมวลผลแบบคลาวด์จากสำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล ความถี่โดยเฉลี่ยการใช้งานมากกว่า 4 ครั้งต่อเดือน โดยปฏิบัติตามมาตรฐานสากล ISO 27001 การวิเคราะห์ความเสี่ยงตรวจสอบตามรายงานความปลอดภัยทุกเดือน ปัญหาที่ต้องเร่งแก้ไขด้านความมั่นคงปลอดภัยต้องมีการตรวจสอบความปลอดภัยของข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ มีนโยบายแผนปฏิบัติการและความพร้อมการใช้งานพร้อมรับมือความเสี่ยง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัย ระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 2 พบว่าการออกแบบนโยบายความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ สร้างจากมาตรฐานสากลจำนวน 3 มาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐาน ISO 27001:2013, COBIT5, และ ITIL3 โดยการคัดเลือกแบบตารางการตัดสินใจเป็นตารางแบบ 2 มิติ จัดกลุ่มรวมเป็นนโยบายเดียวกันและส่วนที่คล้ายคลึงกันได้ทั้งสิ้น 18 ประเด็นและนำเสนอผู้เชี่ยวชาญ (Focus Group) เพื่อยืนยันข้อมาตรฐานต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อนโยบายความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐของประเทศไทย (ICI)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัย ระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 3 พบว่าการวิเคราะห์ประเมินความเสี่ยงเพื่อนำเสนอแนวทางการป้องกันความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐ โดยจะเน้นที่กลุ่มตัวอย่างของสำนักงานปลัดกระทรวง อย่างน้อย 2 กระทรวง โดยนำผลที่ได้จากแบบสอบถาม มาวิเคราะห์ประเมินความเสี่ยง โดยใช้มาตรฐาน OCTAVESM มาเป็นต้นแบบการวิเคราะห์ความเสี่ยงอยู่ระดับที่ 4 มีทั้งหมด 67 ข้อ โดยมีระดับความเสี่ยงน้อย (Low) หมายถึงควรได้รับการตรวจสอบ และแผนการควบคุมที่มีอยู่สามารถแก้ไขปัญหาและรับมือกับความเสี่ยงได้

ตารางที่ 2 ค่าเมตริกซ์ระดับความเสี่ยงของหน่วยงานภาครัฐของประเทศไทย

Risk Assessment Matrix			ผลกระทบระดับความรุนแรงของความเสี่ยง Consequences (C)				
			น้อยมาก	น้อย	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
			1	2	3	4	5
โอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง Likelihood (L)	สูงมาก (Almost Certain)	5					
	สูง (Likely)	4					
	ปานกลาง (Moderate)	3					
	น้อย (Unlikely)	2		4 (67 ข้อ)			
	น้อยมาก (Rare)	1					
			มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำมาก

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัย ระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 4 พบว่าประเมินตัวแบบจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานทั่วไป ตรวจสอบตัวแบบการนำไปใช้โดยใช้วิธีวิจัยแบบการประชุมกลุ่มเพื่อรวบรวมความคิดเห็นของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญในการตรวจประเมินตัวแบบการประเมินความเสี่ยง จำนวน 8 ท่าน มาประเมินตัวแบบและพิจารณายืนยันความถูกต้องของตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยของเทคโนโลยีสารสนเทศในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับหน่วยงานภาครัฐที่สมบูรณ์ตามมาตรฐานและยืนยันสภาพความเป็นจริงของตัวแบบและสามารถนำไปเป็นต้นแบบความมั่นคงปลอดภัยและยังสามารถตรวจสอบการประเมินได้ รวมทั้งสามารถสรุปผลการตรวจประเมินความมั่นคงปลอดภัยได้และยังสามารถใช้กับหน่วยงานภาครัฐอื่น ๆ ได้อีกด้วย

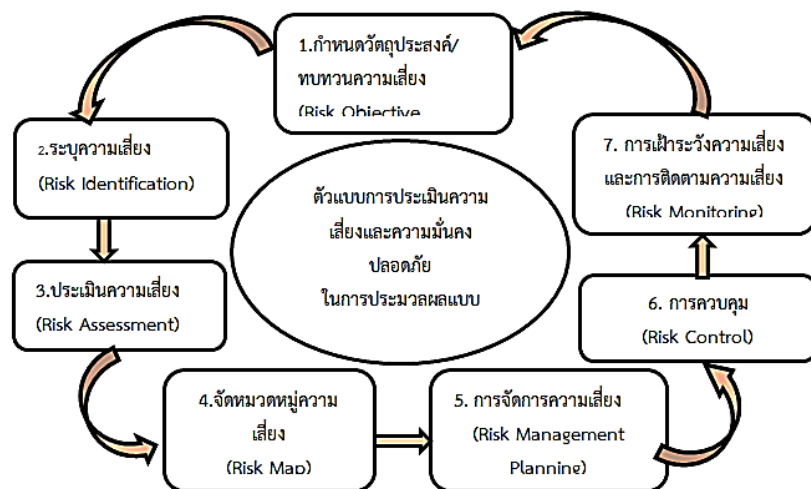
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัย ระยะที่ 3 การเปรียบเทียบประเมินค่าประสิทธิภาพความมั่นคงปลอดภัยจากผู้เชี่ยวชาญด้านความมั่นคงปลอดภัยจำนวน 10 ท่าน มีค่าการประเมินประสิทธิภาพจากมาตรฐาน ISO 27001 (เดิม) เท่ากับ 3 คะแนน สามารถแปลค่าประสิทธิภาพได้อยู่ในระดับปานกลาง เมื่อได้จัดแนวนโยบายใหม่ (ICI) จะมีค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเท่ากับ 5 สามารถแปลค่าประสิทธิภาพอยู่ในระดับที่สูงมาก ทำให้ค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเท่ากับ ร้อยละ 66.67 นำผลที่ได้ไปถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับกระทรวง 20 กระทรวง และหน่วยงานที่อยู่ภายใต้กระทรวง เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันความมั่นคงปลอดภัยกับอุปกรณ์ ข้อมูลข่าวสาร โดยการนำมาตรฐาน 3 มาตรฐาน ได้แก่ ISO, COBIT และ ITIL มาใช้เป็นต้นแบบในการกำหนดแนวนโยบายใหม่ที่ชื่อว่า ICI มาดำเนินการประเมินความเสี่ยงขององค์การภาครัฐ ตามหลักมาตรฐาน OCTAVE Framework เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับองค์การภาครัฐ และสามารถนำไปใช้งานและเผยแพร่ต่อไปได้

ตารางที่ 3 สรุปภาพรวมการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพความมั่นคงปลอดภัย

ข้อมาตรฐาน	คะแนนค่าประสิทธิภาพ				ค่า Coverage (%)
	ISO 27001		ICI		
	คะแนน	แปลผล	คะแนน	แปลผล	
1. ด้านบุคลากร	4	มาก	5	มากที่สุด	25.00
2. ด้านการเงิน	2	น้อย	5	มากที่สุด	150.00
3. ด้านอุปกรณ์	4	มาก	5	มากที่สุด	25.00
4. ด้านบริหารจัดการ	3	ปานกลาง	5	มากที่สุด	66.67
5. ด้านนโยบายของรัฐ	3	ปานกลาง	5	มากที่สุด	66.67
5. ด้านการบริการ	2	น้อย	5	มากที่สุด	150.00
ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพโดยรวม	3	ปานกลาง	5	มากที่สุด	66.67

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัย ระยะที่ 4 พบว่าการนำเสนอตัวแบบการประเมินความเสี่ยงและความมั่นคงปลอดภัย จากการรวมมาตรฐาน 3 มาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐาน ISO 27001:2013, COBIT5 และ ITIL3 มาเป็นตัวแบบนโยบายความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐของประเทศไทย (ICI) โดยมีการรับรองจากผู้เชี่ยวชาญด้วยเทคนิคโปกส์กรุป และนำหลักการมาตรฐาน OCTAVESM มาใช้เป็นต้นแบบในการประเมินความเสี่ยง ตามหลักขบวนการประเมินความเสี่ยง ประกอบไปด้วย 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์ (Risk Objective Setting) หรือทบทวนวัตถุประสงค์ จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและแนวทางของภัยคุกคามที่จะเกิดความเสี่ยง
2. ระบุความเสี่ยง (Risk Identification) ที่มีค่าต่อวัตถุประสงค์ ภารกิจ สถานะ ระบุจุดอ่อนหรือช่องโหว่ที่อาจเกิดขึ้น โดยการวิเคราะห์ความสำคัญของทรัพย์สิน
3. ประเมินความเสี่ยงที่มีต่อสิ่งมีค่า (Risk Assessment) จากภัยคุกคามที่มีต่อสิ่งมีค่า โดยการนำแนวนโยบายความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์การภาครัฐของประเทศไทย (ICI) มาเป็นข้อกำหนดในการประเมินความเสี่ยง
4. การจัดหมวดหมู่ความเสี่ยง (Risk Map) โดยนำปัจจัยความเสี่ยงที่ได้มาจัดระดับความรุนแรงเพื่อเลือกวิธีการที่จะสามารถรองรับความเสี่ยงได้อย่างเพียงพอและเหมาะสมต่อไป
5. การจัดการความเสี่ยง (Risk Management Planning) โดยดำเนินการแก้ไขความเสี่ยงจากระดับความเสี่ยงที่มีมากที่สุดก่อนเพื่อลดความรุนแรงและผลกระทบให้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ จากนั้นก็ดำเนินการแก้ไขความเสี่ยงอื่น ๆ รองลงไปจนหมด
6. การควบคุมความเสี่ยง (Risk Controllers) หาวิธีการจัดการความเสี่ยงไม่ให้เกิดขึ้นอีก
7. เฝ้าระวังและการติดตามความเสี่ยง (Risk Monitoring) ที่อาจกลับมาเกิดเหตุขึ้นใหม่ และจัดทำวิธีการเพื่อป้องกันความเสี่ยงที่อาจจะกลับมาเกิดขึ้นอีก ให้อยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ และสรุปได้ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ตัวแบบการประเมินความเสี่ยงและความมั่นคงปลอดภัย ในการประมวลผลแบบคลาวด์ สำหรับองค์กรภาครัฐ

6. สรุปผลและอภิปรายผล

6.1 สรุปผลจากการวิจัยการประเมินความเสี่ยงและความมั่นคงปลอดภัยตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1) ผลการสำรวจ วิเคราะห์ และประเมินผลจากปัจจัยความเสี่ยงในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์กรภาครัฐ พบว่าในลักษณะส่วนบุคคล อันได้แก่ ผู้ใช้งาน ผู้ดูแลระบบ ผู้บริหาร ตำแหน่งการทำงาน วุฒิการศึกษา ประสบการณ์ มีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามหน้าที่การทำงาน แต่ระยะเวลาของการใช้คอมพิวเตอร์ของแต่ละหน่วยงานไม่พบข้อแตกต่างกัน ส่วนใหญ่จะมีการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานคลาวด์คอมพิวเตอร์ตั้งทั้งสิ้น โดยมีปัจจัยที่สำคัญ 5 ด้าน ได้แก่ คน การเงิน อุปกรณ์ การบริหารจัดการ และทางด้านนโยบาย มีค่าเฉลี่ยความรุนแรงและโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงมีค่าในระดับที่ต่ำมาก เนื่องจากมีสำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัลมาช่วยดูแลการใช้งานคลาวด์คอมพิวเตอร์ตั้งด้วย

2) ผลการออกแบบและพัฒนาตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์กรภาครัฐ พบว่าการออกแบบนโยบายความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์กรภาครัฐ สร้างจากมาตรฐานสากล 3 มาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐาน ISO 27001 : 2013 COBIT5 และ ITIL3 มาออกแบบนโยบายความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์กรภาครัฐ โดยการคัดเลือกแบบตารางการตัดสินใจ นำเสนอผู้เชี่ยวชาญ (Focus Group) เพื่อยืนยันข้อมาตรฐานต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อนโยบายความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์กรภาครัฐ (ICI) มีจำนวนทั้งสิ้น 4 โดเมน 26 วัตถุประสงค์ 109 ข้อย่อย เพื่อนำมาเป็นตัวแบบมาประเมินความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์กรภาครัฐ

3) ผลการประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยในการประมวลผลแบบคลาวด์สำหรับองค์กรภาครัฐ พบว่าค่าประสิทธิภาพของตัวแบบเดิมมีค่าเท่ากับ 3 และเมื่อได้จัดทำแผนนโยบายใหม่มีค่าประสิทธิภาพการใช้งานเพิ่มขึ้นเท่ากับ 5 ทำให้ค่าประสิทธิภาพของตัวแบบ

มีค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิมถึงร้อยละ 66.67 และตัวแบบ ICI สามารถนำถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยให้กับหน่วยงานภาครัฐทั้งหมด 20 กระทรวง

6.2 การอภิปรายผลการวิจัย

1) ต้องมีการสร้างสมรรถนะในการใช้ไอทีให้มีประสิทธิภาพ ให้มีทักษะความรู้ความสามารถในการใช้งาน และลดช่องว่างระหว่างบุคลากร สร้างเสริมความรู้ความเข้าใจในเรื่องเทคโนโลยีมากยิ่งขึ้น เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจในการแก้ไขปัญหาและเพิ่มขีดความสามารถให้แก่ตนเองได้

2) ต้องใช้ไอทีให้มีประสิทธิภาพ ทักษะความรู้ความสามารถในการใช้งาน มีความเข้าใจเพื่อมาตัดสินใจแก้ไขปัญหาที่สิ่งเกิดขึ้น และเพิ่มขีดความสามารถให้แก่ตนเองได้

3) ลักษณะบุคคลที่มีความแตกต่างกัน ใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน มีการใช้เทคโนโลยีที่มีความสอดคล้องกันกับวิทยานิพนธ์ของศิริวรรณ คร้ามกลาง (Khadkhang, S., 2014) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อทัศนคติและความตั้งใจใช้บริการระบบการจัดเก็บข้อมูลบนก้อนเมฆของกลุ่มคนวัยทำงานในเขตกรุงเทพมหานคร จำแนกตามสถานที่ อายุ ตำแหน่ง อายุราชการ คุณวุฒิการศึกษา ลักษณะงานที่รับผิดชอบ ในการใช้ประโยชน์ทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ มีความสัมพันธ์กับการยอมรับเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งลักษณะส่วนบุคคลต่าง ๆ จะมีความสอดคล้องกันและเกิดการยอมรับในการใช้งานเทคโนโลยี

7. เอกสารอ้างอิง

- Best, John W. (1981). Research in Education. 3rd.ed. Englewood cliffs, New Jersey: Prentice. Hall Inc.
- Boonsom, A. (2005). **Opinions of Provincial Electricity Authority employees, Information Division and communicate with the implementation of information technology systems in the operation.** Master of Arts Thesis in Political Science Department of Political Science and Public Administration, Kasetsart University.
- Biswas, Sourya. (2011). **How Can Cloud Computing Help in Education?.** [Online] Available <http://www.cloudweeks.com/2011/20/how-can-cloud-computing-help-in-education>. Access on 18/08/2017.
- Khadkhang, S. (2014). **Factors influencing attitude and the intention to use the storage system Information on clouds of working people in Bangkok.** Research Report, Bangkok University, Bangkok.
- Khummanee, S. (2013). **Security of Cloud Computing Technology.** Master of Science Thesis in Computer Science Faculty of Information Science, Mahasarakham University.
- Krejcie, R. V. & Morgan, D. W. (1970). Determining Sample Size for Research Activities. **Educational and Psychological Measurement**, 30(3), pp. 607-610.

- Mell, P. and Grace, T. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. **NIST Special Publication**. (800-145), 800-145.
- Ministry of Information and Communication Technology. (2015). **Strategic Plan, ICT2020 Policy Framework**. Office of the Permanent Secretary for Information and Communication Technology.
- Prithiphan, S. (2010). Research Methods for Business. 3rd.ed. Bangkok: **Hasun Printing**.
- Yamane, Taro. (1973). **Statistics: An Introductory Analysis**. Third editio. Newyork: Harper and Row Publication.

การออกแบบและสร้างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง

กรณีศึกษากลุ่มอาชีพบ้านห้วยยาง

Designing and Creating Khao Pong's Plate Press Machine :

A Case Study of Ban Huay Yang Career Group

ฤทธิรงค์ แจ่มอิม^{1*}

Rittirong Jangim^{1*}

^{1*}สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

340 ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 08 9242 5106 E-mail: Rittirong.ie@hotmail.com

^{1*}Industrial Management Engineering Faculty of Industrial Technology NakhonRatchasima Rajabhat University.

340 Nai Mueang Mueang District Suranarai Rd. Nakhon Ratchasima 30000

Tel +66(8) 9242 5106 E-mail: Rittirong.ie@hotmail.com

วันที่รับบทความ 19 ตุลาคม 2561

Received: Oct. 19, 2018

วันที่รับแก้ไขบทความ 27 มิถุนายน 2562

Revised: Jun. 27, 2019

วันที่ตอบรับบทความ 18 กรกฎาคม 2562

Accepted: Jul. 18, 2019

บทคัดย่อ

การออกแบบและสร้างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง และหาประสิทธิภาพของเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตให้เพียงพอกับความต้องการ จากกรณีศึกษากลุ่มอาชีพบ้านห้วยยาง ตำบลหินดาด อำเภอห้วยแถลง จังหวัดนครราชสีมา โดยนำระบบนิวแมติกส์เข้ามาช่วยในการกดแผ่นข้าวโป่ง และใช้ระบบ พีแอลซี ในการควบคุมการทำงาน โดยใช้ถาดอลูมิเนียมเป็นตัวหมุน เพื่อทำหน้าที่ในการป้อนแป้งเข้าหาชุดแม่พิมพ์ ให้ได้รับแรงกดจากกระบอกลิวแมติกส์ หลังกดก้อนแป้งจนได้แผ่นข้าวโป่งถาดอลูมิเนียมจะหมุนมารับแป้งก้อนต่อไปโดยใช้ Cylinder Rotary เป็นตัวหมุนถาดอลูมิเนียม ขณะเดียวกันก็นำแผ่นข้าวโป่งออกจากถาดพร้อมกับใส่ก้อนแป้งต่อไป

ผลการเก็บข้อมูลจากกรณีศึกษากลุ่มอาชีพบ้านห้วยยางพบว่า ปัจจุบันใช้แรงงานคน ในการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งจำนวน 3 คน โดยใช้เวลาในการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่ง 46.30 วินาทีต่อแผ่นต่อคน เท่ากับ 77.70 แผ่นต่อชั่วโมงต่อคน ดังนั้นกำลังการผลิตรวมของคนงานทั้งหมดเท่ากับ 233.10 แผ่นต่อชั่วโมง จากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกดแผ่นข้าวโป่งพบว่าเครื่องกดแผ่นข้าวโป่งใช้เวลา ในการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งเพียง 8.61 วินาทีต่อแผ่น ดังนั้นกำลังการผลิตรวมเท่ากับ 417.68 แผ่นต่อชั่วโมง โดยใช้แรงงานเท่าเดิมจึงสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตได้ 184.58 แผ่นต่อชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 79.18 และลดต้นทุนการผลิตลงได้ 2.74 บาทต่อถุง คิดเป็นร้อยละ 19.18

คำสำคัญ: ข้าวโป่ง, เครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง, ออกแบบและสร้างเครื่อง

Abstract

This research was a case study of the Ban Huay Yang Occupational Class, Huai Thalaeng Nakhonratchasima. It focused on the design and construction of a press machine that could increase the production capacity of rice crackers (khao pong).

It used a pneumatic and PLC system that could control the aluminum rotation tray when inputting and pressing the flour mix into the mold, and included rotation of the tray using a rotary cylinder for inputting new dough. Data collection was based on the pressing of rice crackers using 3 workers. Results showed that it took 46.30 seconds/cracker/person = 77.70 crackers/hour/person. Therefore, the total production capacity of the workers was 233.10 crackers/hour. Performance testing of the rice cracker press machine resulted in 8.61 seconds/cracker, with a total production capacity of 417.68 crackers/hour. This represented an increase of 184.58 crackers/hour (+79.18%), and a reduced production cost 2.74 baht/bag (-19.18%).

Keywords: rice crackers, khao pong pressing machine, design and construction

1. บทนำ

ปัจจุบันการแปรรูปอาหารมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทย โดยมูลค่าการผลิตอาหารของไทย มีสัดส่วนสูงสุดในภาคการผลิต คิดเป็นร้อยละ 22 ของมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมในภาคการผลิต (National Statistical Office., 2017) ซึ่งอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปจึงมีความสำคัญต่อการเพิ่มมูลค่าผลผลิตประเภทข้าว ซึ่งเป็นจุดแข็งของการค้าข้าวประเทศไทย เนื่องจากผู้ผลิตสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัตถุดิบจากผลผลิตการเกษตรผ่านกระบวนการแปรรูป แปลงสภาพให้เป็นอาหารที่ผู้บริโภคต้องการ โดยอาศัยภูมิปัญญาท้องถิ่นมาประยุกต์ ดัดแปลง ข้าวโป่งเป็นขนมโบราณพื้นบ้านอีสาน ซึ่งชาวอีสานยังคงทำอยู่แต่กระบวนการผลิตนั้นไม่ได้พัฒนาไปจากอดีตมากนัก อุปกรณ์ในการทำข้าวโป่งก็ยังไม่ได้ถูกพัฒนาเพื่อให้ผลิตได้ทันต่อความต้องการ

กระบวนการผลิตแผ่นข้าวโป่ง กรณีศึกษากลุ่มแปรรูปข้าวโป่ง ตำบลหินดาด อำเภอยางตลาด จังหวัดนครราชสีมา พบว่าปัจจุบันในการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งของกลุ่มได้ใช้ท่อ PVC ในการรีดก้อนแป้ง ต้องใช้แรงในการกดแผ่นแป้งให้สม่ำเสมอพร้อมกับบิดแผ่นข้าวโป่ง เพื่อให้แผ่นข้าวโป่งมีความหนาเท่ากันทั้งแผ่น จากวิธีการทำงานดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ประสบการณ์ในการทำงาน ซึ่งจากการเก็บข้อมูลพบว่าในการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งใช้เวลา 46.30 วินาทีต่อแผ่น หรือ 621.60 แผ่นต่อวันต่อคน (8 ชั่วโมง) ซึ่งในการผลิตแผ่นข้าวโป่งในปัจจุบันใช้แรงงานจำนวน 3 คน สามารถผลิตแผ่นข้าวโป่งดิบได้ประมาณ 1,800 แผ่นต่อวัน (ขนาด 18 ซม.) โดยใช้แรงงานคนทั้งหมดในกระบวนการผลิตประมาณ 6 - 10 คนต่อการผลิตหนึ่งวัน ซึ่งปัจจุบันมีความต้องการแผ่นข้าวโป่งดิบประมาณ 3,000 แผ่นต่อวัน (ขนาด 18 ซม.) และมีแนวโน้มมากขึ้นในช่วงเทศกาลต่าง ๆ แต่ทางกลุ่มไม่สามารถผลิตได้ทันตามความต้องการ ซึ่งบางครั้งมีการสั่งสูงสุดถึง 6,000 แผ่น ทำให้กลุ่มขาดโอกาสในการสร้างผลกำไร จากปัญหาดังกล่าวจึงต้องการออกแบบและสร้างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง เพื่อเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนเป็นรูปธรรม นอกจากนี้โครงการวิจัยยังสามารถเสริมสร้างความเข้มแข็งภาคเกษตรให้เกิดความมั่นคงทางอาหารบนฐานความคิดริเริ่มสร้างสรรค์มาใช้ในการสร้างมูลค่าเพิ่มสินค้าผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทข้าวสุตลาดอาเซียนด้วย องค์ความรู้และภูมิปัญญาท้องถิ่น สามารถเสริมสร้างและพัฒนาเศรษฐกิจชุมชน เกิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์อย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง
- 2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง ผู้วิจัยได้ใช้กระบวนการวิจัยและพัฒนา โดยผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) จากการลงพื้นที่ของผู้วิจัยเพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้นโดยการสัมภาษณ์เชิงลึก (Indepth Interview) กลุ่มอาชีพบ้านห้วยยาง ตำบลหินดาด อำเภอห้วยแถลง จังหวัดนครราชสีมา พบว่าในการผลิตในปัจจุบันใช้แรงงานคนเป็นหลักในการผลิตข้าวโป่ง ดังนั้นการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งจะใช้ท่อ PVC ริดแบ่งจากก้อนกลมจนเป็นแผ่นตามขนาดและความหนาที่ต้องการ (18 ซม.) ทำให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพของความหนาของแผ่นข้าวโป่งเนื่องจากอาศัยความชำนาญ และสูญเสียจากการทำงานด้านเวลาที่ล่าช้าในขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่ง ดังภาพที่ 1



1. ท่อ PVC
2. การริดก้อนแบ่งให้เป็นแผ่น
3. แผ่นข้าวโป่ง



ภาพที่ 1 แสดงการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งแบบเดิม

2) การศึกษาความสามารถการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งจากแรงงานโดยการจับเวลาจำนวน 30 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ยของการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งดังได้นำเสนอไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงเวลาการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งแบบเดิม จำนวน 30 ครั้ง (ขนาดแผ่น 18 ซม.)

จำนวนครั้ง	เวลาที่ใช้ (วินาทีต่อแผ่น)	จำนวนครั้ง	เวลาที่ใช้ (วินาทีต่อแผ่น)	จำนวนครั้ง	เวลาที่ใช้ (วินาทีต่อแผ่น)
1	47	11	40	21	44
2	52	12	42	22	47
3	45	13	45	23	53
4	46	14	51	24	47
5	45	15	45	25	44

ตารางที่ 1 แสดงเวลาการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งแบบเดิม จำนวน 30 ครั้ง (ขนาดแผ่น 18 ซม.) (ต่อ)

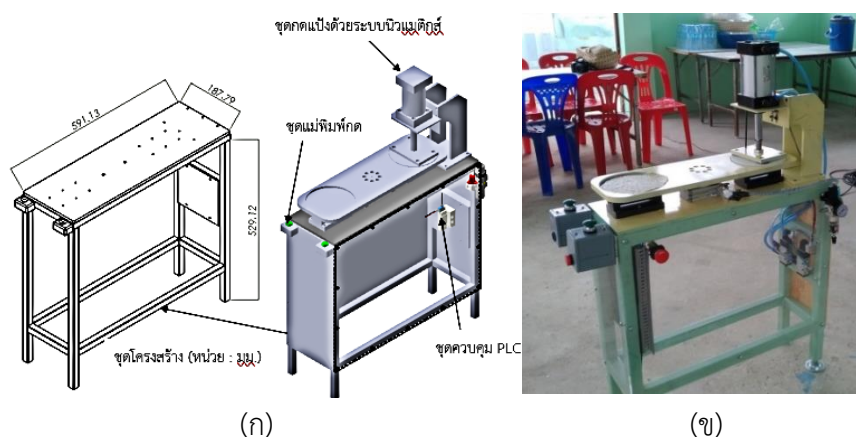
จำนวนครั้ง	เวลาที่ใช้ (วินาทีต่อแผ่น)	จำนวนครั้ง	เวลาที่ใช้ (วินาทีต่อแผ่น)	จำนวนครั้ง	เวลาที่ใช้ (วินาทีต่อแผ่น)
6	55	16	45	26	46
7	46	17	39	27	51
8	42	18	40	28	50
9	44	19	48	29	48
10	46	20	46	30	50
เฉลี่ย	46.3				

3.2 การออกแบบและคำนวณชิ้นส่วนต่าง ๆ

การออกแบบและสร้างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง ศึกษาข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งจากแรงงานคนมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการออกแบบ สรุปข้อกำหนดของเครื่องกดแผ่นข้าวโป่งได้ดังนี้

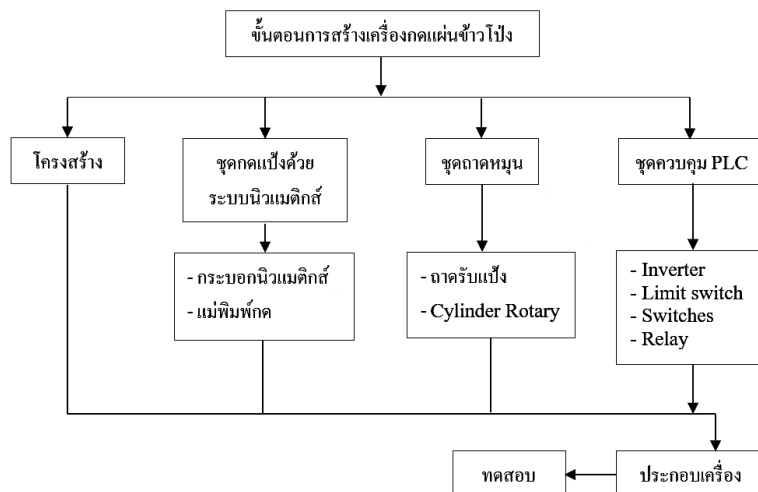
- 1) สามารถทำการผลิตได้ 3,000 แผ่นต่อวัน (8 ชั่วโมงต่อวัน แผ่นข้าวโป่งขนาด 18 ซม.)
- 2) ง่ายต่อการบำรุงรักษา
- 3) ใช้ระบบนิวเมติกส์ในการทำงาน

จากแนวคิดในการออกแบบ จำเป็นต้องคำนวณหาค่าต่าง ๆ เพื่อให้เครื่องกดแผ่นข้าวโป่งสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ดังนี้ (1) ศึกษาวัสดุที่จะใช้ในการทำเป็นแม่พิมพ์กด เนื่องจากวัตถุดิบในการทำแผ่นข้าวโป่งทำจากมาข้าวเหนียว ดังนั้นแป้งจึงเหนียวติดวัสดุได้ง่าย จึงเลือกใช้วัสดุเป็น PE (Polyethylene) ในการนำมาทำแม่พิมพ์ (2) ทดสอบหาความแข็งแรงของแป้งเพื่อคำนวณแรงในการกดแป้งและหาขนาดชิ้นส่วนต่าง ๆ จึงจะสามารถกดแผ่นข้าวโป่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ (3) ศึกษาน้ำหนักและการปั่นแป้งให้เป็นก้อนเพื่อใส่เครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง โดยแป้งต้องมีปริมาณเท่ากันทุกก้อน แม้จะใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยก็ยังคงจำเป็นต้องใช้แรงงานคนในการดำเนินงานโดยมีส่วนประกอบของเครื่อง ดังภาพที่ 2 (Ungphakorn, W. & Thanudhgan, C., 2005)



ภาพที่ 2 เครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง (ก) การออกแบบเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง (ข) เครื่องกดแผ่นข้าวโป่งที่สร้างขึ้น

การสร้างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง มีขั้นตอนการสร้างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง สามารถเขียนขั้นตอนการสร้างดังภาพที่ 3



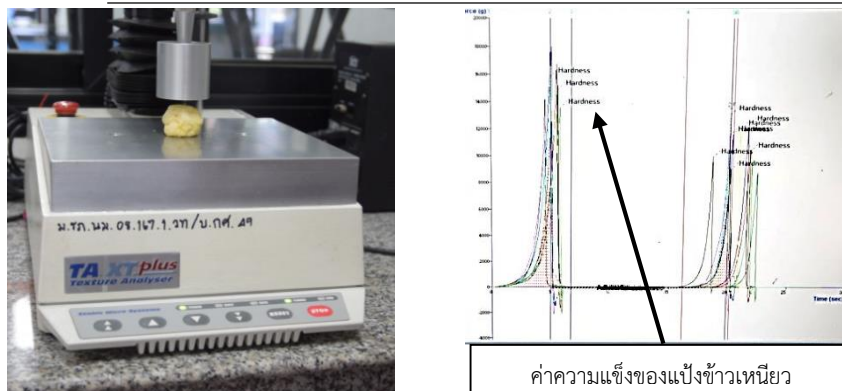
ภาพที่ 3 ลำดับการสร้างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง

1) ออกแบบชุดถาดหมุนในการป้อนแป้ง

การออกแบบชุดป้อนแป้งข้าวโป่ง โดยใช้ถาดอลูมิเนียมเป็นตัวหมุน เพื่อทำหน้าที่ในการป้อนแป้งเข้าหาชุดแม่พิมพ์ ซึ่งแม่พิมพ์จะทำหน้าที่กดก้อนแป้งให้แบนเป็นแผ่นตามที่ต้องการ โดยได้รับแรงกดจากกระบอกนิวแมติกส์ (Cylinder) เป็นตัวขับเคลื่อนขึ้นรูปตามขนาด (เส้นผ่าศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร) หลังกดก้อนแป้งจนได้แผ่นข้าวโป่ง ถาดอลูมิเนียมจะหมุนมารับแป้งก้อนต่อไปโดยใช้ Cylinder Rotary เป็นตัวหมุนถาดอลูมิเนียม ขณะเดียวกันก็นำแผ่นข้าวโป่งออกจากถาดพร้อมกับใส่ก้อนแป้งต่อไปซึ่งเป็นเวลาเดียวกันกับที่แม่พิมพ์กำลังกดแป้งอยู่ ทำให้สามารถลดเวลาในการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งได้อย่างรวดเร็ว (Tantrabundit, M., 1997)

2) คำนวณหาขนาดชุดกดแป้งด้วยระบบนิวแมติกส์

(1) คำนวณหาแรงในการกด โดยการนำแป้งไปกดด้วยเครื่องทดสอบค่าความแข็งแรง นำค่าความแข็งแรงหรือค่าความหนาแน่นของแป้งที่ได้จากเครื่องทดสอบค่าความแข็งแรงมาคำนวณหา ค่าความเค้นอัด ซึ่งค่าความแข็งแรงที่ได้จากการทดสอบดังภาพที่ 3 ได้ค่าความแข็งแรงเฉลี่ย 120.03 N จากการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง จากการทดลองหาคัดที่ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. มาคำนวณหาพื้นที่วงกลมสามารถคำนวณได้ดังนี้ (Chininthorn, P. & Sinthipsomboon, K., 2001)



ภาพที่ 4 ค่าความแข็งหรือค่าความหนาแน่นของแป้ง

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\pi \times D^2}{4} \\
 \text{แทนค่า} &= \frac{3.14 \times 50^2}{4} \\
 &= 1,963.49 \text{ mm}^2 \\
 &= 19.63 \text{ cm}^2
 \end{aligned} \tag{1}$$

คำนวณหาความเค้นอัดคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{F}{A} \\
 \text{เมื่อ } F &\text{ คือแรงที่ใช้กดซึ่งได้จากการทดสอบกดแป้ง} \\
 F &= 120.03 \text{ N} \\
 \text{แปลงให้เป็น} \\
 \text{Kg} &= \frac{120.03}{9.81} \\
 &= 12.24 \text{ Kg} \\
 \text{แทนค่าสูตร} &= \frac{12.24}{19.63} \\
 &= 0.62 \text{ Kg/mm}^2
 \end{aligned} \tag{2}$$

จากนั้นคำนวณหาพื้นที่ในการกดแป้งจริงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร
ได้จากสมการที่ 1

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร} &= \frac{\pi \times D^2}{4} \\
 \text{แทนค่า} &= \frac{3.14 \times 18^2}{4} \\
 &= 254.46 \text{ mm}^2 \\
 \text{คำนวณหาน้ำหนักที่กระทำต่อแป้ง} \\
 \text{แทนค่า} &= 254.46 \times 0.62 \\
 &= 158.53 \text{ Kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

ดังนั้นควรเลือกกระบอกที่มีแรงกดมากกว่า 158.53 Kg/mm²

(2) การคำนวณกระบอกสูบของเครื่องทางทฤษฎี การหาแรงของกระบอกสูบ ขณะทำงานเลื่อนออกและเลื่อนเข้าโดยกำหนดให้

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในกระบอกสูบ 80 mm

d = เส้นผ่าศูนย์กลางก้านสูบ 25 mm

Fr = ค่าแรงเสียดทาน 10% โดยเฉลี่ย

P = ความดันลมอัดใช้งานทั่วไปในระบบนิวแมติกส์ประมาณ 4 Kg/cm²

หาพื้นที่เต็มหน้าตัดลูกสูบ = A (หน่วยเป็น เซนติเมตร) ได้จากสมการที่ 1

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

แทนค่า

$$A = \frac{3.14 \times 8^2}{4}$$

$$A = 50.26 \text{ cm}^2$$

การหาแรงของกระบอกสูบขณะเลื่อนออกทางทฤษฎีจากสมการที่ 3

$$F_t = P \times A \quad (3)$$

แทนค่า

$$F_t = 4 \times 50.26$$

$$F_t = 201.06 \text{ Kg}$$

ซึ่งแรงของกระบอกสูบขณะเลื่อนออกทางปฏิบัติจากสมการที่ 4

$$F = F_t - F_r \quad (4)$$

แทนค่า

$$F = 201.06 - 10\%$$

$$F = 180.95 \text{ Kg}$$

แรงของกระบอกสูบขณะเลื่อนเข้า A' จากสูตรพื้นที่รูปร่างวงแหวน

$$A' = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2)$$

แทนค่า

$$A' = \frac{3.14}{4} \times (8^2 - 2.5^2)$$

$$A' = 45.33 \text{ cm}^2$$

แรงของกระบอกสูบขณะเลื่อนเข้าทางทฤษฎี จากสมการ

$$F_t = P \times A - F_r$$

แทนค่า

$$F_t = 4 \times 45.33 - 10\%$$

$$F_t = 163.20 \text{ Kg}$$

ผลการคำนวณหาแรงของกระบอกสูบขณะเลื่อนเข้าทางทฤษฎีได้ 163.20 Kg โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในกระบอกสูบขนาด 80 mm ที่สามารถให้แรงในการกดสูงกว่าแรงที่ต้องการกดแป้งข้าวโป่ง ดังนั้นจึงนำขนาดของกระบอกสูบที่คำนวณทางทฤษฎีไปเปิดเทียบจากตารางขนาดและแรงของกระบอกนิวแมติกส์

(3) การคำนวณหาขนาดปั๊มลม จากสมการที่ 5 (Tanchewawong, N., 2004)

$$V_a = \frac{(A_1 + A_2) \times L \times (P + 1.03) \times n}{1000} \quad (5)$$

เมื่อ

V_a	=	ปริมาณลมที่ใช้ (ลิตร/นาที)
L	=	ช่วงชักของกระบอกสูบ
A_1	=	พื้นที่ลูกสูบด้านลูกสูบ
A_2	=	พื้นที่ลูกสูบด้านก้านสูบ
P	=	ความดันลม (kgf /cm ²)
n	=	จำนวนครั้งที่ลูกสูบเคลื่อนที่ไป - กลับ ต่อนาที

ดังนั้นสามารถคำนวณหาความต้องการใช้ลมสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$V_a = \frac{(50.24 + 45.36) \times 70 \times (4 + 1.03) \times 10}{1000}$$

$$V_a = 336.81 \text{ L/min}$$

ดังนั้นควรเลือกใช้ปั๊มลมที่สามารถผลิตลมให้ได้อย่างน้อย 336.81 L/min

(4) การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน

การทำงานของเครื่องปั๊มแผ่นข้าวโป่งระบบนิวแมติกส์ PLC ช่วยควบคุมและสั่งการให้เครื่องทำตามเวลาที่กำหนดโดยมีการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้ (Tanchewawong, N., 2004)

1) การกำหนดเงื่อนไข

- (1) กดปุ่ม Start (x2) โดยที่ Reed (X7) ON, X1 OFF จึงจะทำงาน
- (2) Co ทำงาน X6 ON
- (3) C1 ทำงานค้าง 3 วินาที X1 ON
- (4) C1 OFF
- (5) กดปุ่ม Start (x2) เหมือนข้อ 1
- (6) Co ทำงาน Xo ON
- (7) เหมือนข้อ 3, 4
- (8) ทำวนไปเรื่อย ๆ

2) นำเงื่อนไขมาเขียนเป็นแผนภูมิจากแผนภูมินำมาเขียนโปรแกรมควบคุม

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่อง

การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องในด้านความสามารถในการกดแผ่นข้าวโป่ง โดยนำแป้ง แป้งที่ผ่านกระบวนการตีแป้งจนละเอียดมาปั้นให้เป็นก้อนกลมให้ได้น้ำหนักประมาณ 40 กรัมต่อก้อน จากนั้นนำก้อนแป้งใส่ลงในถาดกดแล้วกด Switches เพื่อให้เครื่องหมุนถาดรับแล้วกดแป้งให้เป็นแผ่น ตามที่ต้องการ ดังภาพที่ 5



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 (ก) การเตรียมก้อนแป้งและเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง (ข) การทดสอบกดแป้งข้าวโป่งด้วยเครื่อง

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลองเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง

จากการทดลองขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งด้วยเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง ซึ่งได้ทำการจดบันทึก ข้อมูลการจับเวลา เพื่อหาเวลาในการผลิตต่อแผ่น (วินาที) ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงตารางการบันทึกเวลาในการทดลอง

จำนวนครั้ง	เวลาที่ใช้ (วินาทีต่อแผ่น)	จำนวนครั้ง	เวลาที่ใช้ (วินาทีต่อแผ่น)	จำนวนครั้ง	เวลาที่ใช้ (วินาทีต่อแผ่น)
1	7.59	11	8.75	21	8.80
2	8.91	12	8.75	22	8.81
3	8.81	13	8.69	23	8.88
4	8.44	14	7.88	24	8.75
5	9.85	15	8.50	25	8.69
6	8.65	16	8.65	26	8.50
7	8.26	17	8.26	27	8.62
8	8.78	18	8.40	28	8.69
9	8.80	19	8.41	29	8.88
10	8.88	20	8.81	30	7.88
$\bar{X}$	8.61				
SD	0.39				

2) กรณีศึกษาต้องการความเชื่อมั่นของข้อมูลร้อยละ 95 และข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ ± 5 ผู้ดำเนินโครงการจึงเก็บข้อมูลเวลาการทำงานจำนวน 30 ครั้ง และนำข้อมูลมาหาจำนวนครั้งที่ต้องจับเวลาเพื่อให้ได้ช่วงความเชื่อมั่นที่กำหนด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6 (KanjapanyaKom, R., 2010)

$$N = \left[\frac{40 \times n}{\sum x_i} \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - ((\sum x_i)^2 / n)}{n-1}} \right]^2 \quad (6)$$

$$N = \left[\frac{40 \times 30}{\sum 258.57} \sqrt{\frac{\sum 2,233.25 - ((258.57)^2 / 30)}{30-1}} \right]^2$$

$$= 3.44 \approx 4 \text{ ครั้ง}$$

ดังนั้น จากการคำนวณจำนวนครั้งของการจับเวลาการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งแบบเดิม $N = 4$ ครั้ง ซึ่งมีจำนวนครั้งการจับเวลา (N) น้อยกว่าจำนวนครั้งของเวลาการจับเวลาดังอย่างเวลา (a) ดังนั้นจำนวนครั้งของเวลาการจับเวลา ตัวอย่างมีความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ ± 5

จากตารางที่ 2 การวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) สามารถหาได้ดังนี้

การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) ปริมาณการผลิต 8.61 วินาทีต่อแผ่น หาได้จากสมการที่ 7

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (7)$$

เมื่อ

X_i = ข้อมูลที่ i

n = จำนวนข้อมูล

แทนค่าในสมการ ได้ดังนี้

$$\bar{X} = \frac{7.59+8.91+8.81+8.44+9.85+8.65+.....+7.88}{30}$$

$$= 8.61 \text{ วินาทีต่อแผ่น}$$

ฉะนั้นค่าเฉลี่ยของเวลาการทดลองเครื่องกดแผ่นข้าวโป่งเฉลี่ย 8.61 วินาทีต่อแผ่น การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ของปริมาณการผลิตแผ่นข้าวโป่ง หาได้จากสมการที่ 8

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (8)$$

N = จำนวนครั้งของการทดลอง

X = เวลาในการผลิตแผ่นข้าวโป่งแต่ละครั้ง
แทนค่าในสมการที่ 7

$$SD = \sqrt{\frac{(7.59-8.61)^2 + (8.91-8.61)^2 + \dots + (7.88-8.61)^2}{30-1}}$$

$$= 0.39$$

ฉะนั้นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ของเวลาการทดลองเครื่องกดแผ่นข้าวโป่งเฉลี่ย 8.619 วินาทีต่อแผ่น โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.39

4.2 เปรียบเทียบผลการทดลอง

จากการทดลองเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง จากตารางที่ 2 แสดงเวลาในการขึ้นรูปแผ่น 46.30 วินาที คิดเป็นอัตราการผลิตต่อชั่วโมงเท่ากับ 77.70 แผ่นต่อชั่วโมงต่อคน ปัจจุบันใช้คน 3 คนในการผลิตดังนั้นกำลังการผลิตของกลุ่มนักศึกษาสามารถผลิตได้ 1,800 แผ่นต่อวัน ซึ่งเครื่องกดแผ่นข้าวโป่งถูกออกแบบให้ใช้คน 3 คน ในการผลิต แต่เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่ง ระหว่างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่งกับการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งแบบเดิม

อัตราการผลิตแผ่นข้าวโป่ง (แผ่นต่อชั่วโมง)				เวลาในการกดแผ่นข้าวโป่ง (วินาที)			
แบบเดิม	แบบใหม่	เพิ่มขึ้น	ร้อยละ	แบบเดิม	แบบใหม่	ลดลง	ร้อยละ
233.10	417.68	184.58	79.18	46.30	8.62	37.68	81.38

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกดแผ่นข้าวโป่งดังตารางที่ 3 พบว่าการกดแผ่นข้าวโป่งแบบใหม่ให้ปริมาณผลผลิตของการกดแผ่นเท่ากับ 417.68 แผ่นต่อชั่วโมง ที่ความชื้นที่ร้อยละ 95 (แสดงดังตารางที่ 2) และจากเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง เวลาที่ใช้ลดลงเหลือ 8.61 วินาทีต่อครั้ง

จากผลการศึกษาด้านคุณภาพ โดยการทดสอบแป้งแผ่นข้าวโป่งพบว่าอัตราการพองของแผ่นข้าวโป่งไม่แตกต่างจากการผลิตแบบเดิม

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการดำเนินงานในการออกแบบและสร้างเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง กลุ่มอาชีพบ้านห้วยยาง ตำบลหินดาด อำเภอห้วยแถลง จังหวัดนครราชสีมา มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตแผ่นข้าวโป่ง โดยการออกแบบเครื่องให้สามารถทำงาน ได้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์และวิธีการทำงานการเคลื่อนไหวต่าง ๆ

ผลการทดสอบพบว่าเครื่องสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการขึ้นรูปแผ่นข้าวโป่งแบบเดิม ซึ่งจากเดิมสามารถผลิตได้ 233.10 แผ่นต่อชั่วโมง และใช้เครื่องกดแผ่นข้าวโป่งที่สร้างขึ้นสามารถกดแผ่นข้าวโป่งได้ 417.68 แผ่นต่อชั่วโมง เพิ่มขึ้น 184.58 แผ่นต่อชั่วโมง โดยใช้จำนวนคนงานเท่าเดิม 3 คน คิดเป็นร้อยละ 79.18

ด้านคุณภาพของแผ่นข้าวโป่งมีขนาดและความหนาเท่ากันทุกแผ่นจากการใช้เครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง โดยมีขนาด 18 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร โดยมีต้นทุน 1.92 บาทต่อแผ่น ลดต้นทุนการขึ้นรูปแผ่นได้ 0.46 บาทต่อแผ่น คิดเป็นร้อยละ 19.19 ต้นทุนคงที่สำหรับตัวเครื่องกดแผ่นข้าวโป่งระบบนิวแมติกส์ 31,164 บาท อัตราการผลิตสูงสุดส่วนแผ่นข้าวโป่งเท่ากับ 3,240 แผ่นต่อวัน บรรจุใส่ถุง ถุงละ 6 แผ่น ดังนั้นสามารถผลิตได้ 540 ถุง ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องจะอยู่ที่ 21 วัน

5.2 อภิปรายผล จากการทดสอบเครื่องยังพบว่า การปรับให้เป็นก้อนเพื่อวางลงบนแม่พิมพ์ของเครื่องกด จากแรงงานคนจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการทำเป็นก้อนเพื่อป้อนเข้าสู่แม่พิมพ์ของเครื่องกด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขึ้นรูปแผ่นได้มากขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการศึกษาสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเครื่องกดแผ่นข้าวโป่ง หรือมีการติดตั้งสายพานลำเลียงทำให้การทำงานที่รวดเร็วยิ่งขึ้น
2. จากผลการศึกษาสามารถนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาใช้กับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกันได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มอาชีพบ้านห้วยยาง ตำบลหินดาด อำเภอห้วยแถลง จังหวัดนครราชสีมา ที่อนุเคราะห์วัตถุดิบในการทดลอง ตลอดจนข้อมูลต่าง ๆ และผู้สนับสนุนทุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนในการทำงานวิจัยรวมทั้งข้อเสนอแนะ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

- Chininthorn, P. & Sinthipsomboon, K. (2001). **Hydraulic Industrial**. Bangkok: Se – education. (in Thai)
- KanjanapanyaKom, R. (2010). **Industrial Work Study**. Bangkok: Top. (in Thai)
- National Statistical Office. (2017) **Statistics development plan Nakhon Ratchasima**. [online]. Available http://www.igpthai.org/NS057/user files/files/ Nakhon Ratchasima_ Draft.pdf. access on 01/08/2017. (in Thai)
- Rijirvanich, W. & Ploymeka, C. (1991). **Engineering Economy**. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)
- Tanchewawong, N. (2004). **Pneumatic Industrial**. Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan). (in Thai)
- Tantrabundit, M. (1997). **Part of Machinc Design 1**. Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan). (in Thai)

- Ungphakorn, W. & Thanudngan, C. (2005). **Machine design**. Bangkok: Se – ed ucation.
(in Thai)
- Wongkrajang, A. (1990). **Design of machine elements**. Bangkok: Odeon Store.
(in Thai)

ตัวคูณลดค่าของเสาเข็มกลุ่มที่รองรับป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ ในพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร

The P-multipliers of Pile Groups Supported Large Billboard Signs in Bangkok Area

สถาพร ปกป้อง^{1*}

Sathaporn Pokpong^{1*}

^{1*} คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เลขที่ 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220
โทร 0 2522 6637 โทรสาร 0 2522 6637 E-mail: pokpong@pnru.ac.th

^{1*} Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University, 9 Chaengwattana Rd., Anusawari Sub-district, Bangkok District, Bangkok 10220 Tel +66 2522 6637 Fax +66 2522 6637 Email: pokpong@pnru.ac.th

วันที่รับบทความ 25 พฤษภาคม 2562 วันที่รับแก้ไขบทความ 11 ตุลาคม 2562 วันที่ตอบรับบทความ 17 ธันวาคม 2562
Received: May. 25, 2019 Revised: Oct. 11, 2019 Accepted: Dec. 17, 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข ในการศึกษาพฤติกรรมแรงต้านทานดินที่มีต่อฐานรากเสาเข็มกลุ่ม ที่รองรับโครงสร้างป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร และ 2) ศึกษาตัวคูณลดค่า (p-multipliers) ของเสาเข็มแต่ละต้นภายในกลุ่มภายใต้สภาวะการรับน้ำหนักที่เกิดจากแรงลมที่กระทำทางด้านข้าง โดยสร้างแบบจำลองด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบสามมิติ และประมวลผลโดยใช้ชุดคำสั่งมาตรฐานของโปรแกรม ABAQUS/CAE ที่ควบคุมการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างดินฐานราก และเสาเข็มด้วยเทคนิคการจำลองชิ้นส่วนเสมือนที่มีความบางเป็นพิเศษ บริเวณชั้นดินรอบ ๆ เสาเข็มให้มีขนาดเท่ากับร้อยละ 10 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม จากผลการวิจัยพบว่า 1) แรงต้านทานทางด้านข้างของดินโดยรอบเสาเข็มนั้นเกิดขึ้นสูงสุดที่บริเวณใกล้ผิวดินเดิม หรือที่ระดับความลึกวิกฤติที่ระยะความลึกประมาณ 2 เท่าของระยะที่กว้างที่สุดของเสาเข็ม ภายใต้สภาวะที่โครงสร้างป้ายรับหน่วยแรงลมสูงสุดตามที่ พ.ร.บ.ควบคุมอาคารกำหนดไว้ และเสาเข็มที่ติดตั้งในแถวแรกจะเกิดหน่วยแรงกระจายเป็นบริเวณกว้างมากกว่าเสาเข็มในแถวหลัง และ 2) ตัวคูณลดค่าของเสาเข็มแถวแรก (Leading row) มีค่าเท่ากับ 0.884 และเสาเข็มแถวหลัง (Trailing row) มีค่าเท่ากับ 0.772 เนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างเสาเข็มด้วยกันภายในกลุ่มและดินฐานรากโดยรอบ (Pile-soil-pile interaction) มีผลกระทบจากตำแหน่งของเสาเข็มภายในกลุ่ม และทิศทางของแรงกระทำทางด้านข้างที่มากระทำต่อฐานรากเสาเข็ม

คำสำคัญ: แรงต้านทานด้านข้างของดิน, ตัวคูณลดค่า, เสาเข็มกลุ่ม, ป้ายโฆษณา

Abstract

The purposes of this research were 1) to numerically investigate the soil resistance against the pile group supporting a large billboard sign in the Bangkok area, and 2) to study the p-multipliers for a laterally-loaded pile in a group subjected to wind load. The three-dimensional finite element analysis was performed and created

graphically using a standard set of commands in the ABAQUS/CAE package. To simulate the behaviors of soil and pile foundations subjected to wind load acting on a large billboard sign, the virtual interface element technique was employed to relatively control and monitor the pile-soil-pile interaction when the lateral movement was induced. The effective interface element thickness was assigned to be 10% of the pile diameter. The research results revealed two findings. First, the lateral soil resistance against the piles was found to be at its ultimate value at the topmost layer near the existing ground, the so-called critical depth at about 2 times of the pile diameter at its widest part, when considering the maximum wind loads applied to the billboard sign according to Building Control Acts. It was found that piles installed in the leading row resisted larger lateral stress distribution than those in the trailing row. Second, the p-multipliers of piles in the leading and trailing row were equal to 0.884 and 0.772, respectively. This is due to the fact that the pile-soil-pile interaction induced among piles within a group and surrounding soil, are dependent on the position of each pile in a group and also the direction of the lateral load applied to the pile foundation.

Keywords: lateral soil resistance, p-multiplier, pile group, billboard signs

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในช่วงที่เกิดพายุฤดูร้อนและลมกระโชกแรงในพื้นที่เขตเมืองใหญ่ ปัญหาการวิบัติของโครงสร้างป้ายโฆษณาขนาดกลางถึงขนาดใหญ่มักเกิดขึ้นบ่อยครั้ง และส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนในพื้นที่ การตรวจสอบป้ายโฆษณาให้อยู่ในสภาพมั่นคงแข็งแรง โดยเฉพาะป้ายโฆษณาที่ติดตั้งบริเวณชุมชน ริมนถนน บนอาคาร หรือผนังของอาคารสูง ซึ่งอาจถูกแรงลมพัดทำให้ป้ายโฆษณาล้มทับบ้านเรือน และก่อให้เกิดอันตรายกับผู้ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง จากการศึกษา เกี่ยวกับข้อมูลเชิงสถิติของการวิบัติของอาคารในประเทศไทยในช่วง 25 ปี (พ.ศ.2532-2556) พบว่า การวิบัติของอาคารในระหว่างการก่อสร้างสูงถึงร้อยละ 40 รองลงมาคืออาคารที่มีอายุใช้งานมากกว่า 5 ปี แต่มีปัญหาสะสมมาจาก การก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐาน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 27.2 ตามด้วยปัญหาที่เกิดขึ้นจากงานฐานรากของอาคาร คิดเป็นร้อยละ 23.6 หากพิจารณาเฉพาะกรณีที่เกิดขึ้นจากปัญหาของฐานราก จะพบว่า เสาเข็มที่ออกแบบนั้นไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคารได้ และกรณีที่เกิดจากการกระทำด้านข้างโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากแรงลม คิดเป็นร้อยละ 73 จากกรณีศึกษา 11 กรณีของป้ายโฆษณา หรืออาคารสูงหลายชั้นและมีความสูงเกิน 2 เท่าของด้านแคบของตัวอาคาร ทั้งนี้เพราะแรงลมจะเป็นสาเหตุให้เกิดโมเมนต์ดัดในเสาเข็มและเสาชั้นล่าง ๆ ของอาคาร (Chainuwat, W., et al., 2015)

สาเหตุหลักของการวิบัติของโครงสร้างประเภทป้ายที่วิศวกรผู้เชี่ยวชาญได้ตรวจสอบเบื้องต้น พบว่า นอกจากขนาดความรุนแรงของลมพายุที่เกิดจากมรสุมนั้น อาจจะมีขีดความสามารถในการต้านทานแรงลมของโครงสร้างป้ายโฆษณาขนาดใหญ่แล้ว ปัญหาการออกแบบ

ฐานรากเสาเข็มเพื่อรับแรงกระทำทางด้านข้าง (Laterally loaded piles) และโมเมนต์ดัดที่เกิดจากแรงลมก็ยังไม่มีการทราตรองรับ รวมไปถึงในปัจจุบันยังไม่มีรายงานการตรวจวัดพฤติกรรมของฐานรากเสาเข็มกลุ่มที่รับแรงทางด้านข้างในภาคสนาม การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical modeling) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการศึกษาพฤติกรรมของฐานรากเสาเข็มกลุ่ม ที่ออกแบบมาเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างป้ายโฆษณาขนาดใหญ่เหล่านี้ เพราะสามารถจำลองสภาพหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในฐานราก ขนาดของการโก่งตัวของเสาเข็ม และโมเมนต์ดัด ตลอดความยาวของเสาเข็ม โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบสามมิติ การออกแบบโครงสร้างและฐานรากจะต้องมีกำลัง (Strength) และเสถียรภาพ (Stability) ที่สูงเพียงพอที่จะสามารถต้านทานแรงลม หรือผลกระทบเนื่องจากแรงลมได้อย่างปลอดภัย โดยไม่เกิดความเสียหายโดยรวมต่อโครงสร้างเอง และอาคารสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียงที่อาจจะได้รับผลกระทบจากการวิบัติของโครงสร้างเหล่านี้ (Department of Public Works and Town & Country Planning, 2007)

1.2 พฤติกรรมเสาเข็มกลุ่ม

ถึงแม้ว่าการใช้เสาเข็มกลุ่มเพื่อรับแรงกระทำทางด้านข้าง โดยใช้ผิวสัมผัสระหว่างดิน ฐานรากโดยรอบและเสาเข็มแต่ละต้น สามารถเสริมกำลังในการรับแรงกระทำให้มากขึ้น แต่ความสามารถในการต้านทานแรงกระทำด้านข้างของเสาเข็มแต่ละต้นจะถูกลดหรือทอนกำลังลงเมื่อเปรียบเทียบกับเสาเข็มเดี่ยว เนื่องจากสภาวะการซ้อนทับของหน่วยแรง (Shadowing effect) และมีผลกระทบต่อการรับกำลังของเสาเข็มกลุ่ม (Group effect) จากการทดสอบในภาคสนามแสดงให้เห็นว่า เสาเข็มในแถวหน้า (Leading row) จะรับแรงต้านทานทางด้านข้างที่กระทำต่อดิน ฐานรากโดยรอบมากที่สุดและเสาเข็มในแถวถัด ๆ ไปจนกระทั่งถึงแถวหลัง (trailing row) จะมีความสามารถในการต้านทานแรงกระทำทางด้านข้างลดลง เนื่องจากสภาวะการซ้อนทับของหน่วยแรงข้างต้น (Brown, D.A., et al., 1988; Ruesta, P.F. and Townsend, F.C., 1997; Rollins, K.M., et al., 1998). ดังนั้น การออกแบบเสาเข็มในชั้นดินเหนียวที่รับแรงกระทำในแนวราบ จะต้องลดประสิทธิภาพ โดยการคูณตัวคูณลดกำลัง (p-multiplier) กับแรงกระทำในแนวราบเฉลี่ยต่อต้นของเสาเข็มภายในกลุ่ม (Pimanmas, A., et al., 2016)

1.3 แบบจำลองพฤติกรรมของเสาเข็มรับแรงกระทำทางด้านข้าง

แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของดิน ในปัจจุบันนิยมใช้แบบอีลาสโตพลาสติก (elasto-plastic models) โดยอธิบายพฤติกรรมของวัสดุภายใต้ภาวะความเค้นที่อยู่ภายในพื้นผิวการคลาก (yield surface) และเมื่อภาวะความเค้นถึงเงื่อนไขการคลาก (yield criteria) เมื่อใดวัสดุจะแสดงพฤติกรรมอีลาสโตพลาสติก การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขเพื่อลดปัญหาในการคำนวณความเครียดพลาสติก ที่บริเวณจุดมุมอันเนื่องมาจากความไม่ต่อเนื่องของแบบจำลอง โดยเฉพาะแบบจำลองสำหรับปัญหาระบบสามมิติในการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็มรับแรงกระทำทางด้านข้าง ดังนั้นการเลือกใช้แบบจำลอง Drucker-Prager (extended von Mises) ที่ดัดแปลงมาจาก von Mises model) ซึ่งรูปแบบมีลักษณะคล้ายคลึงกับแบบจำลองของมอร์-คูลอมบ์ แต่ค่าอัตราส่วนความเค้นในสถานะวิกฤติ (critical state stress ratio) ที่ได้จากการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบระบายน้ำ (CD Test) มีค่าคงที่ นอกจากนี้การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างดินฐานราก

กับโครงสร้างภายใต้แรงกระทำ จะต้องอยู่ในเงื่อนไขความต่อเนื่องที่เหมาะสม ดังนั้นการสร้างแบบจำลองที่เนื้อวัสดุมีคุณสมบัติต่างชนิดกัน เช่น บริเวณรอยต่อระหว่างดินกับเสาเข็ม อาจเกิดความไม่ต่อเนื่องในระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือเปลี่ยนตำแหน่งได้ เทคนิคการจำลองชิ้นส่วนเสมือนที่มีความบางพิเศษ (virtual interface elements) ที่เรียกว่า contact pair concept โดยให้การเคลื่อนที่ของจุดต่อ (nodal displacement) บนส่วนผิวสัมผัสของเสาเข็ม ซึ่งกำหนดให้เป็นชิ้นส่วนหลัก (master elements) สามารถเปลี่ยนรูปร่างเข้าไปแทนที่ชิ้นส่วนรอง (slave elements) บนผิวสัมผัสของดินฐานราก ซึ่งจะสามารถลดระยะเวลาในการประมวลผลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในระดับหนึ่งด้วย (Katzenbach, R. and Pokpong, S., 2005)

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข เพื่อศึกษาพฤติกรรมแรงต้านทานดินของฐานรากเสาเข็มกลุ่มที่ติดตั้งแบบสี่เหลี่ยม ที่รองรับโครงสร้างป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร

2.2 เพื่อศึกษาตัวคูณลดค่า (p-multipliers) ของเสาเข็มแต่ละต้นภายในกลุ่มภายใต้สภาวะการรับน้ำหนักที่เกิดจากแรงลมที่กระทำทางด้านข้าง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

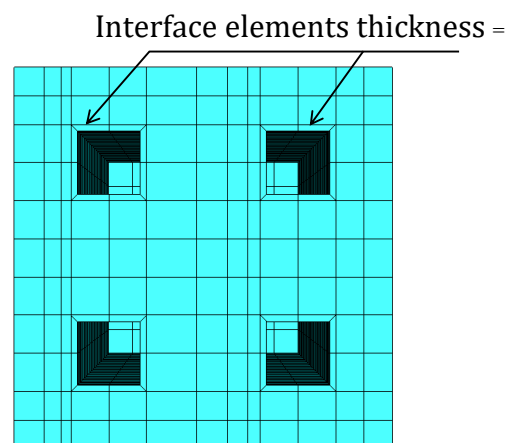
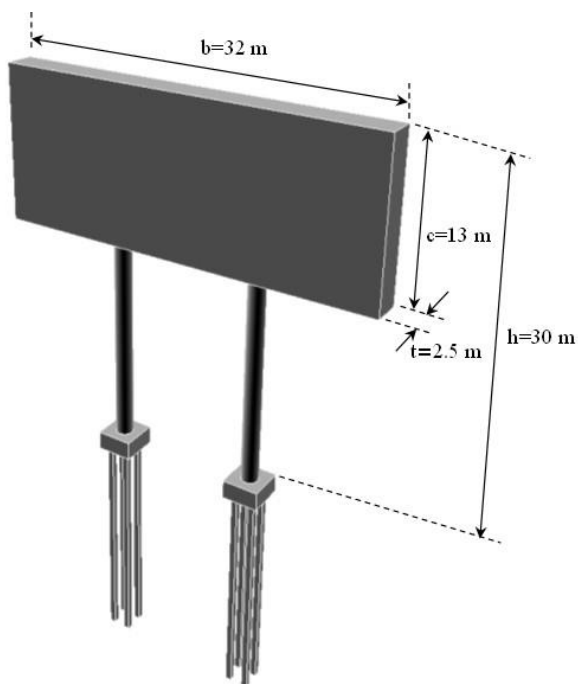
การศึกษาพฤติกรรมแรงต้านทานดินของเสาเข็มกลุ่มที่รับแรงกระทำทางด้านข้างนั้น สามารถวิเคราะห์ด้วยสมการคณิตศาสตร์ชั้นสูง วิเคราะห์จากการตรวจวัดค่าโมเมนต์ในสนาม วิเคราะห์ด้วยวิธีโมดูลัสการต้านแรงกดของชั้นดิน (Subgrade modulus) หรือวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองบนพื้นฐานของทฤษฎีของความยืดหยุ่น (Theory of Elasticity) ซึ่งแต่ละวิธีข้างต้นมีข้อจำกัดในการอธิบายพฤติกรรมของกลุ่มเสาเข็มที่มีระยะห่างระหว่างเสาเข็มน้อยเนื่องจากปรากฏการณ์ Shadowing effects หรืออันตรกิริยาระหว่างเสาเข็มด้วยกันภายในกลุ่มและดินฐานรากโดยรอบ (Pile-soil-pile interaction) การเลือกใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสามมิติ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้วิเคราะห์ และอธิบายพฤติกรรมของเสาเข็มและการเหนี่ยวนำแรงเค้นในชั้นดินฐานรากโดยรอบได้เป็นอย่างดี

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

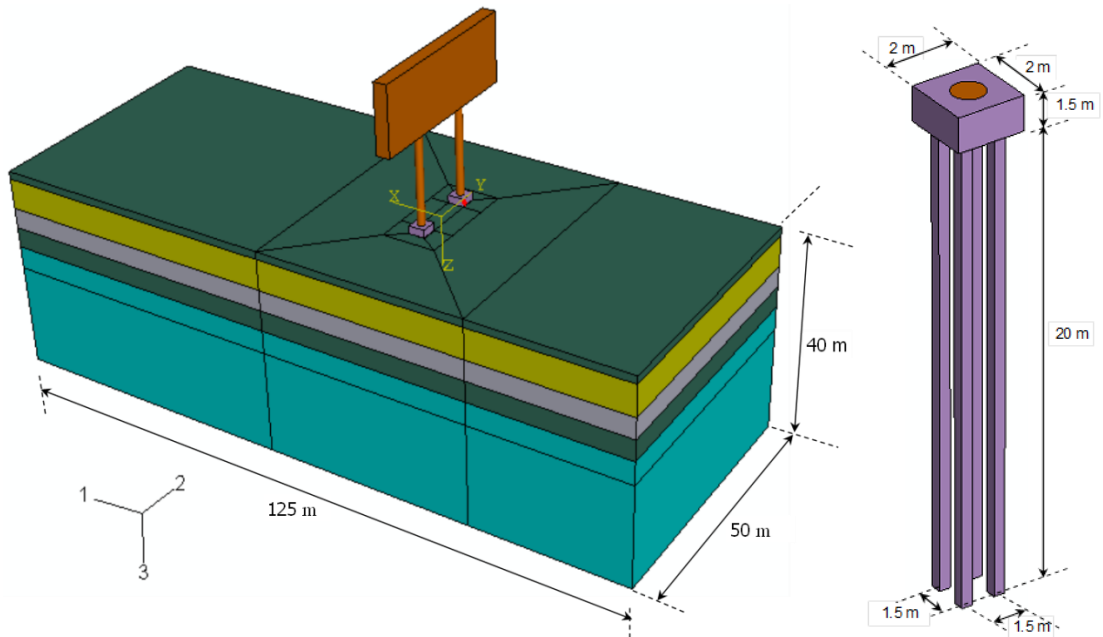
สำหรับองค์ประกอบแบบจำลอง (Constitutive models) ของเสาเข็มในงานวิจัยครั้งนี้ อยู่ภายใต้สมมติฐานความต่อเนื่อง (Continuum approach) ของมวลดินและเสาเข็ม เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ชั้นดินหลาย ๆ ชั้นซึ่งมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมแตกต่างกันได้และใช้เทคนิค Interface elements เป็นชั้นบาง ๆ บริเวณรอยต่อระหว่างเสาเข็ม และดินฐานราก สำหรับการประมวลผลได้เลือกใช้ชุดคำสั่งมาตรฐานของโปรแกรม ABAQUS/CAE โดยสมมติให้เสาเข็มคอนกรีตอยู่ในสถานะอิลาสติก และดินฐานรากอยู่ในสถานะ Elasto-plastic บนบรรทัดฐานการคลาก (Yield criterion) ที่เสนอโดย Drucker-Prager (Sandhya, R.R., et al., 2014)

3.2 ขอบเขตของการวิจัย

ชั้นดินที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ คือ ชั้นดินเหนียวอ่อนของกรุงเทพฯ ผังตะวันออก ซึ่งมีความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมากเท่ากับ 10 m. มีค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำประมาณ 11.3 kN/m^2 สำหรับเสาเข็มคอนกรีตมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด $0.50 \times 0.50 \text{ m}^2$ ความยาว 20.0 m. ซึ่งเป็นความยาวเสาเข็มที่ออกแบบสำหรับอาคารทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานคร ที่ปลายเสาเข็มจะอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางหรือต่ำกว่า โดยจัดเรียงแบบรูปสี่เหลี่ยม (box arrangement) ด้วยระยะห่าง 3 เท่าของขนาดความกว้างของเสาเข็ม สำหรับการสร้างแบบจำลองของปายโฆษณา นั้นเป็นปายโฆษณาที่ก่อสร้างอยู่เหนือระดับพื้นดิน และเสาโครงสร้างรองรับปายโฆษณาเป็นแบบเสาคู้ โดยกำหนดช่วงของแรงลมสูงสุด ที่กระทำต่อแผ่นปายโฆษณาที่มีความกว้าง $b=32 \text{ m}$. สูง $c=13 \text{ m}$. หนา $t=2.5 \text{ m}$. และอยู่เหนือพื้นดิน $h=30 \text{ m}$. ซึ่งเป็นระยะที่มากที่สุด ตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดของพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (ฉบับที่ 3) พ.ศ.2543 โดยออกเป็นกฎกระทรวงว่าด้วยการควบคุมปายโฆษณา พ.ศ.2558 ดังแสดงในภาพที่ 1 สำหรับการสร้างแบบจำลองเสาเข็มในการวิจัยครั้งนี้ เลือกสร้างแบบจำลองชิ้นส่วนเสมือนที่มีความบางเป็นพิเศษ (Virtual interface elements) บริเวณโดยรอบเสาเข็ม ที่เรียกว่า Contact pair concept (Reul, O., 2000) ดังแสดงในภาพที่ 2 บริเวณรอยต่อของเสาเข็มทุกต้นกับชั้นดินฐานรากโดยรอบ ซึ่งมีความบางเป็นพิเศษ เท่ากับ 0.10 เท่าของระยะกว้างสุดของเสาเข็ม หรือเท่ากับ 0.04 m. เนื่องจากอาจเกิดความไม่ต่อเนื่องในระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงกระทำภายนอก และกำหนดขอบเขต (Boundary) ของชั้นดินฐานรากขนาด $50 \times 125 \times 40 \text{ m}$. ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 1 แบบจำลองปายโฆษณาขนาดใหญ่ ภาพที่ 2 การจำลองชิ้นส่วนเสมือนที่มีความบางพิเศษ

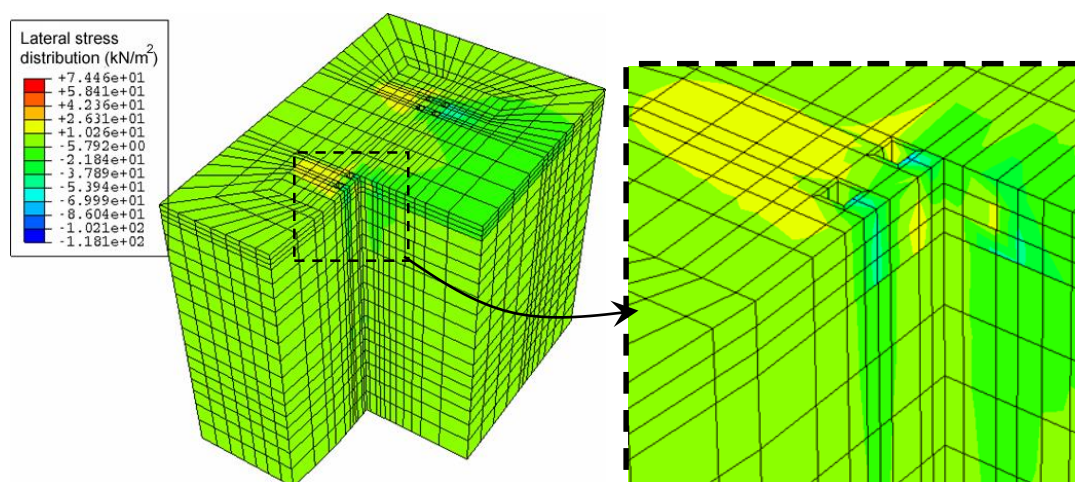


ภาพที่ 3 ขอบเขตของการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของดินฐานราก เสาเข็มและป้ายโฆษณา

4. ผลการวิจัย

4.1 แรงต้านทานด้านข้างของดินที่มีต่อเสาเข็ม

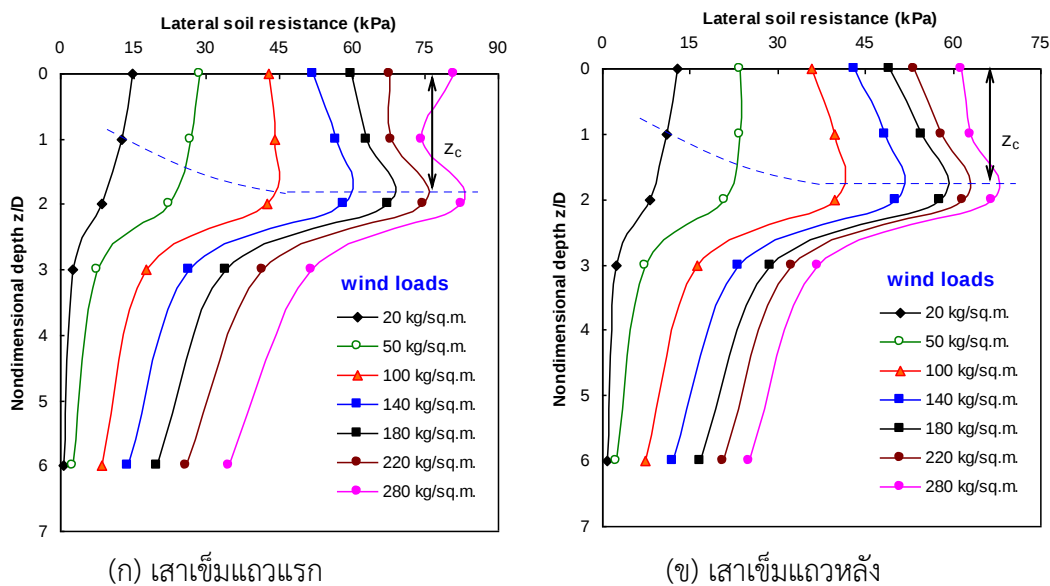
เมื่อพิจารณาแรงต้านทานของดินที่มีต่อเสาเข็มที่รับแรงกระทำทางด้านข้าง ที่เกิดจากแรงลมปะทะป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ จะพบว่าที่บริเวณความลึกใกล้ ๆ ผิวดินเดิมด้านหน้าของฐานราก จะมีความเข้มของหน่วยแรงต้านทานทางด้านข้างสูงกว่าบริเวณอื่น ดังแสดงในภาพที่ 4 เมื่อนำค่าแรงต้านทานที่ผิวสัมผัสระหว่างดินฐานราก กับเสาเข็มแต่ละต้นมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างแรงต้านทานดินในแนวราบที่ระดับความลึกต่าง ๆ จะพบว่าที่ความลึกประมาณ 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มมีค่าแรงต้านทานดินในแนวราบสูงกว่าที่ระดับความลึกอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ความเข้มของหน่วยแรงในแนวราบที่เกิดขึ้นในพื้นที่รอบๆเสาเข็ม (หน่วย : kN/m²)

4.2 ความลึกวิกฤติของเสาเข็มรับแรงทางด้านข้าง

จากการศึกษาและวิเคราะห์หาขนาดของแรงต้านทานทางด้านข้าง ของเสาเข็มกลุ่มบริเวณดินฐานรากโดยรอบ ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์แบบสามมิติ พบว่า บริเวณใกล้ผิวดินเดิมจะมีความเข้มของหน่วยแรงต้านทานทางด้านข้างสูงกว่าบริเวณอื่น โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 1.0 เมตร จากผิวดินเดิม หรือประมาณ 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม ซึ่ง ณ ความลึกนี้ คือ ความลึกวิกฤติของเสาเข็มรับแรงทางด้านข้าง (Critical depth) ทั้งนี้เพราะแรงต้านทานดินทางด้านข้างที่มีต่อการเคลื่อนตัวของเสาเข็มมีขนาดมากที่สุด เมื่อมีแรงลมกระทำทางด้านข้างมากกระทำต่อปายโฆษณา



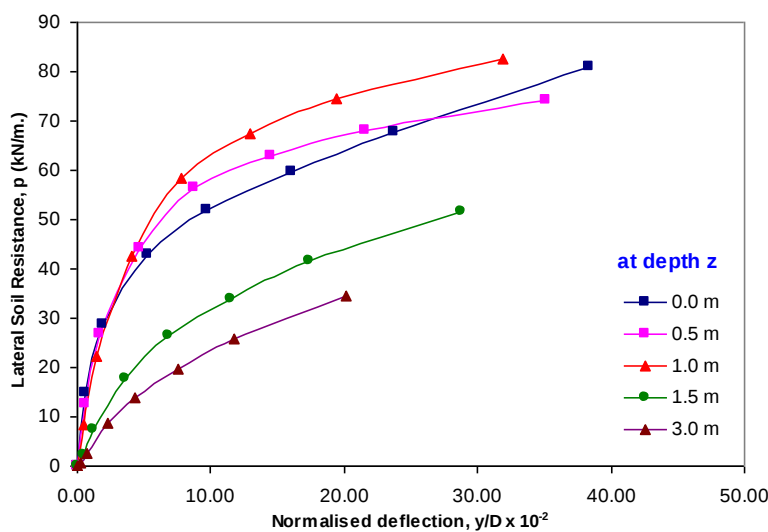
ภาพที่ 5 แรงต้านทานดินด้านข้างที่กระทำต่อเสาเข็มที่ระดับความลึกต่าง ๆ บริเวณผิวดินเดิม

จากภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่า แรงต้านทานทางด้านข้างของดินมีลักษณะความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรงเชิงเส้นกับการโก่งหรือเคลื่อนตัวของเสาเข็ม ในช่วงแรกของการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม มีขนาดน้อย อัตราการเพิ่มของขนาดแรงต้านทานในแนวราบของดินจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว และเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องหรือเกือบจะคงที่ เมื่อการเคลื่อนตัวของเสาเข็มมีขนาดมากขึ้น จากการศึกษพบว่าหากแรงลมที่มาประทะปายโฆษณา มีขนาดสูงสุดตามที่กฎหมายควบคุมอาคาร กำหนดแรงต้านทานทางด้านข้างของดินที่กระทำต่อเสาเข็ม มีขนาดประมาณ 60 kN/m^2 และการเคลื่อนตัวของเสาเข็มอาจสูงถึงร้อยละ 10 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดความไม่มั่นคง หรือเสถียรภาพของโครงสร้างโดยรวมได้

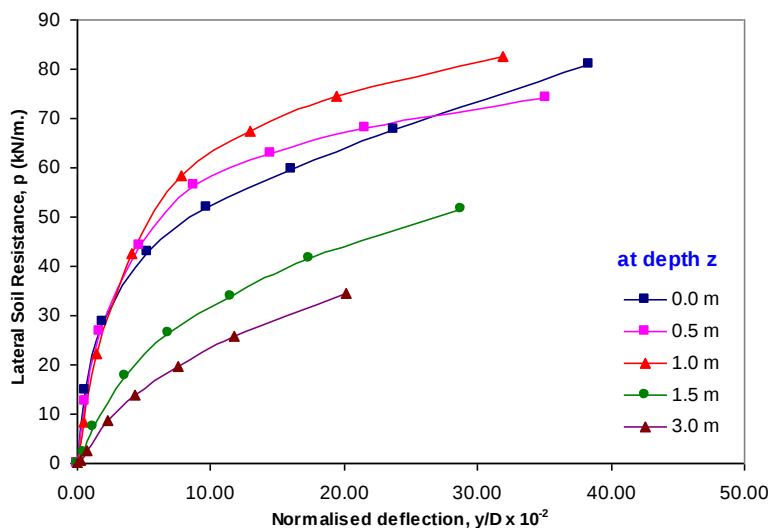
จากผลการวิจัยพบว่า ที่ระดับความลึกประมาณ 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม หรือ ความลึกวิกฤติของเสาเข็มรับแรงทางด้านข้างที่ติดตั้งในชั้นดินเหนียว เป็นจุดที่เสาเข็มจะรับแรงต้านทานในแนวราบของดินฐานรากสูงกว่าที่ระดับความลึกอื่น ๆ จากนั้นค่าแรงต้านทานดังกล่าว จะมีแนวโน้มคงที่ หรือมีค่าลดลงเล็กน้อย ดังนั้นในการออกแบบเสริมแรงเสาเข็มในชั้นดินเหนียว กรุงเทพฯ ที่รับแรงกระทำด้านข้าง ควรมีการเสริมแรงให้เพียงพอต่อการต้านทานโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น ณ ระดับความลึกวิกฤติ

4.3 ตัวคูณลดค่าแรงต้านทานดินของเสาเข็มกลุ่ม

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของเสาเข็ม และแรงต้านทานดินในแนวราบ พบว่าที่ระดับความลึกประมาณ 1.0 m. มีค่าสูงกว่าที่ระดับความลึกอื่น ๆ จึงหาประสิทธิภาพในการต้านทานแรงกระทำทางด้านข้างของเสาเข็มกลุ่ม ที่ระดับความลึกนี้ โดยใช้วิธีการแบบไฮบริดที่เรียกว่า p-multiplier concept โดยเปรียบเทียบกับผลการศึกษากรณีเสาเข็มเดี่ยวในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Katzenbach, R. and Pokpong, S., 2005) และเลือกใช้ระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างอ้างอิง (Reference deflection) ที่ระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างอ้างอิงเท่ากับ 0.02D โดยประมาณ (Scott, V.M., 1995)



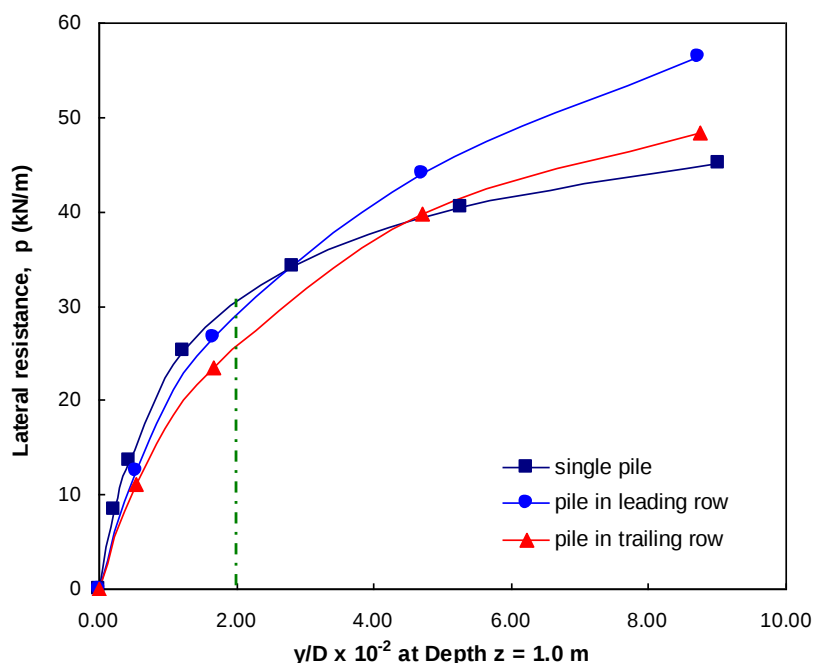
(ก) เสาเข็มแถวแรก



(ข) เสาเข็มแถวหลัง

ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานดินและขนาดการเคลื่อนตัวของเสาเข็ม

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอันตรกิริยาของเสาเข็มกลุ่มและเสาเข็มเดี่ยว ในภาพที่ 7 พบว่า อัตราส่วนของแรงต้านทานดินทางด้านข้างในกรณีเสาเข็มกลุ่ม เมื่อเทียบกับกรณีเสาเข็มเดี่ยวนั้นมีค่าสัดส่วนเท่ากับ 0.884 สำหรับเสาเข็มแถวแรก และเท่ากับ 0.772 สำหรับเสาเข็มแถวหลัง



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบอันตรกิริยาของเสาเข็มกลุ่มและเสาเข็มเดี่ยว

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการศึกษาและวิเคราะห์อันตรกิริยาระหว่างเสาเข็มกลุ่มและดินฐานรากโดยรอบ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสามมิติพบว่า ความลึกวิกฤติของเสาเข็มรับแรงทางด้านข้าง คือความลึกบริเวณใกล้ผิวดินเดิม ซึ่งจะมีขนาดของอันตรกิริยาสูงกว่าบริเวณอื่น โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 1 เมตร จากผิวดินเดิม หรือประมาณ 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม ทั้งนี้เพราะแรงต้านทานดินทางด้านข้างที่มีต่อการเคลื่อนตัวของเสาเข็มมีขนาดมากที่สุด เมื่อมีแรงลมกระทำทางด้านข้างมากกระทำต่อปายโฆษณาจากภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่า อันตรกิริยาระหว่างเสาเข็มและแรงต้านทานทางด้านข้างของดินมีลักษณะความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรงเชิงเส้น ในช่วงแรกที่มีการเคลื่อนตัวของเสาเข็มมีขนาดน้อย อัตราการเพิ่มของขนาดแรงต้านทานในแนวราบของดินจะเพิ่มอย่างรวดเร็วและเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง หรือเกือบมีค่าคงที่ เมื่อการเคลื่อนตัวของเสาเข็มมีขนาดมากขึ้นจากการศึกษาพบว่าหากแรงลมที่มาปะทะปายโฆษณามีขนาดสูงสุดตามที่กฎหมายควบคุมอาคาร กำหนดการเคลื่อนตัวของเสาเข็มอาจสูงถึงร้อยละ 10 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความไม่มั่นคง หรือเสถียรภาพของโครงสร้างโดยรวมได้

สำหรับกรณีการติดตั้งเสาเข็มกลุ่มจำนวน 4 ต้น ที่จัดเรียงแบบสี่เหลี่ยม ที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การซ้อนทับของหน่วยแรงภายในกลุ่มเสาเข็มไม่ชัดเจนนัก เมื่อเทียบกับฐานรากเสาเข็มกลุ่มที่มีขนาดใหญ่มากกว่านี้ ซึ่งจะเห็นว่าเสาเข็มแถวแรกนั้นจะเกิดหน่วยแรงกระจายเป็นบริเวณ

กว้างมากกว่าเสาเข็มในแถวหลัง ซึ่งจะเกิดทำให้แรงต้านทานที่ตรวจสอบได้มีค่าน้อยกว่าในเสาเข็มแถวแรกเล็กน้อย เมื่อทำการคำนวณเปรียบเทียบประสิทธิภาพ หรือตัวคูณลดค่าของแรงต้านทานดินด้านข้าง จะพบว่า ในเสาเข็มแถวหลังจะมีค่าประมาณ 0.772 ซึ่งต่ำกว่าตัวคูณลดค่าของเสาเข็มในแถวแรก นั้นหมายความว่าในกรณีเสาเข็มกลุ่มประสิทธิภาพในการต้านทานดินทางด้านข้างจะมีค่าลดลงเล็กน้อยสำหรับเสาเข็มแถวหลัง โดยเสาเข็มในแถวแรกจะมีพฤติกรรมคล้ายคลึงกับกรณีเสาเข็มเดี่ยวมากกว่าแถวอื่น ๆ และตำแหน่งของเสาเข็มภายในกลุ่ม ก็มีความสำคัญต่ออันตรกิริยาระหว่างเสาเข็มด้วยกันภายในกลุ่มและดินฐานรากโดยรอบ ดังนั้นในการออกแบบเสาเข็มรับแรงกระทำทางด้านข้างที่ติดตั้งในชั้นดินเหนียว จึงควรใช้ตัวคูณลดค่าของเสาเข็มแถวหลังสุด โดยนำค่ามาหารแรงกระทำด้านข้างที่เสาเข็มแต่ละต้นรับน้ำหนัก ก็จะได้น้ำหนักกระทำที่ปลอดภัยสำหรับการออกแบบเสาเข็มให้มีความต้านทานแรงกระทำในแนวราบต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- Brown, D.A., Morrison, C. and Reese, L.C. (1988). Laterally Load Behavior of Pile Group in Sand. **Journal of Geotechnical Engineering ASCE**. vol. 114 (11), pp. 1261–1276.
- Chainuwat, W., Sae-lim, S. and Sritong-on, S. (2015). Building Failure in Thailand in 25-Year Period (1989-2013). **The Journal of Industrial Technology**. vol.11(1), pp. 103-110.
- Department of Disaster Prevention and Mitigation. (2014). **Disaster Risk Reduction into Sustainable Development**. Bangkok: United Nations Development Programme – UNDP Printing House in Thailand. (in Thai)
- Department of Public Works and Town & Country Planning, Ministry of Interior. (2007). **Standard for Wind Load Calculation and Response of Buildings**. Bangkok. S.P.M. Co., Ltd. Printing House.
- Katzenbach, R. and Pokpong, S. (2005). Nonlinear Response of Laterally Loaded Piles in Soft Bangkok Clays, **paper presented in the 11th of IACMAG: International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics: Prediction, Analysis and Design in Geomechanical Applications**, Turin, Italy. pp. 475-482.
- Pimanmas, A., Chaimahawan, P. and Joyklad, P. (2016). **Design of Pile Foundations subjected to Earthquake Loading**. [online]. Available <http://www.coe.or.th/coe-2/main/coeHome.php?aMenu=806>. access on 07/03/2019. (in Thai)

- Result, O.F., (2000). **In-situ-Messungen und numerische Studien zum Tragverhalten der Kombinierten Pfahl-Plattengründung**. Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft 53. (in German).
- _____. (2000). **In-situ Measurements and Numerical Studies on Bearing Capacity of Combined Pile-Raft Foundation**. Publications of the Institute and Laboratory of Geotechnics, Darmstadt University of Technology, vol. 53.
- Rollins, K.M., Peterson, K.T. and Weaver, T.J. (1998). Lateral load behavior of full-scale pile group in clay. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE**. vol. 124 (6), pp. 468–478.
- Ruesta, P.F. and Townsend, F.C. (1997) Evaluation of laterally loaded pile group at Roosevelt Bridge. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE**. vol. 123 (12), pp. 1153–1161.
- Sandhya, R.R., Nagendra, P.K., and Sai, K.T. (2014). Applicability of Mohr-Coulomb and Drucker-Prager Models for Assessment of Undrained Shear Behaviour of Clayey Soils, **International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)**. vol. 5 (10), pp. 104-123.
- Scott, V. M., (1995). **Interaction factors for piles in groups subjected to lateral loading**. Thesis, University of Texas, Austin.

การออกแบบส่วนผสมของชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้า
กรณีศึกษา : โรงไฟฟ้าชีวมวล จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
Design of Biomass Mixture for Electricity Generation
Case study: Biomass Power Plant Prachuap Khiri Khan Province

เสรี เสือกระสัง^{1*} และชาญศักดิ์ ตรีภพ²

Seree Suakrasang^{1*} and Chansak Treepob²

^{1*,2}วิศวกรรมกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

340 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ 0 4400 9009

ต่อ 2910 โทรสาร 0 4425 5451 E-mail: suaken@hotmail.com, Chansak.tre@gmail.com

^{1*,2}Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology,

Nakhonratchasima Rajabhat University. 340 Suranarai Road, Nai Mueang Sub-district, Mueang District, Nakhon

Ratchasima Province 30000 Tel. 0 4400 9009 Ext. 2910 Fax. 0 4425 5451

E-mail: suaken@hotmail.com, Chansak.tre@gmail.com

วันที่รับบทความ 27 ธันวาคม 2561

Received: Dec. 27, 2018

วันที่รับแก้ไขบทความ 22 กรกฎาคม 2562

Revised: Jul. 22, 2019

วันที่ตอบรับบทความ 17 ธันวาคม 2562

Accepted: Dec. 17, 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ออกแบบส่วนผสมของชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้า โดยใช้ขุยมะพร้าวผสมกับไม้ซิป ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดรูปแบบการผสมชีวมวลไว้ 6 แบบ สัดส่วนการผสมระหว่างขุยมะพร้าวกับไม้ซิป มีดังนี้ 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, 3:2 และ 4:1 แต่ละแบบนำไปใช้ทดลองผลิตกระแสไฟฟ้ารูปแบบละ 24 ชั่วโมง เพื่อทำการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน และระยะเวลาคืนทุน ผลการทดลอง พบว่าเชื้อเพลิงทั้ง 6 แบบ สามารถให้ความร้อนและสร้างแรงดันที่เพียงพอกับความต้องการ ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเชื้อเพลิงรูปแบบที่ 3 ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุด และมีผลต่างของค่า เชื้อเพลิง และค่ากระแสไฟฟ้าที่ขายได้ ร้อยละ 68.07 เนื่องจากใช้ขุยมะพร้าว 1 ส่วนต่อไม้ซิป 3 ส่วน จึงได้ค่าความร้อนสูงสุด และทำให้ต้นทุนของเชื้อเพลิงสูงขึ้นส่งผลต่อผลต่างของค่าเชื้อเพลิง และค่ากระแสไฟฟ้าที่ขายได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงคำนวณเพื่อเปรียบเทียบต้นทุน และวิเคราะห์ความคุ้มค่า ทางเศรษฐศาสตร์ แบบที่ 4 มีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (B/C) เท่ากับ 1.33 และระยะเวลา การคืนทุน (Payback Period) เท่ากับ 3.93 ปี โดยมีอัตราส่วนผสมของขุยมะพร้าว และไม้ซิป 2 : 1 ส่วน ซึ่งเป็นแบบที่เหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ: การผลิตไฟฟ้าชีวมวล, ส่วนผสมของชีวมวล, การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

Abstract

This research designed a mixture of biomass to generate electricity using coconut husk mixed with wood chips. The biomass mixing model took 6 forms, with the proportion of mixing between coconut flakes and wood chips as follows: 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, 3:2 and 4:1. Each model was tested for electricity production for a period of

24 hours. To analyze the return on investment and payback period, the results showed which of the 6 types of fuel mixture were able to generate sufficient heat and pressure to meet the demand for electricity. The model 3 fuel mixture provided the maximum heat energy with fuel that can be sold at a level of 68.07%. The use of 1 part coconut husk and 3 parts wood chips increases the cost of fuel leading to a difference in fuel cost and electricity that can be sold. When calculating the costs and analyzing the economic value, the researcher determined that model 4 has a return on investment (B / C) of 1.33, with a payback period of 3.93 years. Therefore, the proportion of coconut husk and wood chips (model 2:1) is considered to be the most appropriate.

Keywords: biomass power generation, biomass mix, economic value analysis

1. บทนำ

ประเทศไทยใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าเป็นก๊าซธรรมชาติกว่าร้อยละ 70 แต่เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานของประเทศที่เติบโตขึ้นทุกวัน ตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจ โดยกระทรวงพลังงานมีแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า (Council to reform the country, 2017) ว่าใน 20 ปีข้างหน้าแผนกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ในช่วง 2558 - 2579 มุ่งเน้นให้ใช้พลังงานทางเลือกเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 (Wongsa, K., 2014) ภายในระยะเวลา 20 ปี ปัจจุบันมีโรงไฟฟ้าชีวมวลเกิดขึ้นหลายแห่ง และส่วนใหญ่เป็นโรงไฟฟ้าชีวมวล ใช้ทะลายปาล์ม ใบปาล์ม ต้นปาล์ม กะลาปาล์ม แกลบ เศษไม้ ทางมะพร้าว กะลามะพร้าว ฟางข้าว ชานอ้อย มูลสัตว์ เป็นเชื้อเพลิง ชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเริ่มขาดแคลน ทั้งที่เป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลภายในปี พ.ศ. 2579 ของประเทศไทยซึ่งได้กำหนดกำลังการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล ไว้ถึง 5,570 เมกะวัตต์ ซึ่งคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติมีการกำหนดอัตราค่ารับซื้อไฟฟ้าจากชีวมวลในแบบ FIT ไว้แล้ว แต่ปัญหาหลักคือ ขาดแคลนเชื้อเพลิงชีวมวล ขาดระเบียบการรับซื้อ ทำให้โรงไฟฟ้าชีวมวลเริ่มประสบปัญหาด้านเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า จึงต้องวางแผนในการจัดหาวัตถุดิบชีวมวลในพื้นที่มาเป็นเชื้อเพลิงสำรอง เพื่อลดการขาดแคลน และลดต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้า (Saennil, S. and Kantangkun, P., 2015) วัตถุดิบอยู่กระจัดกระจายการเก็บรวบรวมยาก มีไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับฤดูกาล เชื้อเพลิงชีวมวลมีความชื้นทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และผลิตกระแสไฟฟ้าลดลง จำเป็นต้องมีการบริหารจัดการวัตถุดิบเพื่อให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด โดยใช้เศรษฐศาสตร์มาวิเคราะห์หาความคุ้มค่าผลตอบแทน และระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Arjhar, W. et al., 2009)

การวิจัยนี้ได้ออกแบบส่วนผสมของชีวมวลผลิตไฟฟ้า เพื่อศึกษาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงผสมเนื่องจากในพื้นที่มีผลผลิตมะพร้าวออกมาขายจำนวนมากและมีราคาถูก การใช้ขุยมะพร้าวอย่างเดียวยังประสิทธิภาพในการทำความร้อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงต้องผสมกับไม้chipซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนมากกว่าทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่ดีขึ้น จากการศึกษาโรงไฟฟ้ากรณีศึกษาไม้chipเป็นเชื้อเพลิงหลักที่ใช้การผลิตกระแสไฟฟ้า และขุยมะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงผสม เมื่อเปรียบเทียบ

ด้านราคาเชื้อเพลิงหลักจะมีราคาสูงกว่าอยู่ร้อยละ 52.38 และมีพลังงานค่าความร้อนต่างกันอยู่ร้อยละ 42.74 ผู้วิจัยหาแนวทางในการศึกษาการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้ามาเป็นการใช้เชื้อเพลิงแบบผสมเพื่อผลิตไฟฟ้าที่ทำให้ได้ต้นทุนที่ต่ำ

ดังนั้นผู้วิจัยได้ออกแบบส่วนผสมระหว่างไม้ซิปกับขุยมะพร้าวเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าในแต่ละแบบ แบบละ 24 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ แล้วทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษารูปแบบการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการผลิตไฟฟ้า

2.2 ออกแบบส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวมวล และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล 2 ชนิด คือ ไม้ซิป และขุยมะพร้าว ในการผลิตไฟฟ้า สมมติฐานของการวิจัยนี้เพื่อหาสัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหมาะสมที่ทำให้อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (B/C) สูงสุด และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) น้อยที่สุด ผู้วิจัยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 การศึกษาและสำรวจข้อมูลการผลิตไฟฟ้ากรณีศึกษา

โรงงานผลิตไฟฟ้าชีวมวลกรณีศึกษาใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีกำลังการผลิต 9.9 MW/ ชั่วโมง 50 Hz 1.5 kv โรงไฟฟ้าชีวมวลใช้ระบบการเผาไหม้โดยตรง (Direct-Fired) โดยนำเชื้อเพลิงชีวมวล ขุยมะพร้าว และไม้ซิปที่ผสมกันในอัตราส่วนที่กำหนด แล้วลำเลียงผ่านสายพานมายังห้องเผาไหม้ แล้วถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นให้กับน้ำในหม้อไอน้ำ (Boiler) จนกลายเป็นไอน้ำที่ร้อนจัดและมีความดันสูง ไอน้ำที่เกิดขึ้นจะส่งไปปั่นกังหันไอน้ำที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งในการผสมขุยมะพร้าวกับไม้ซิปสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 177.5 MW/วัน จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล การใช้เชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าพบว่าปัจจุบันในพื้นที่มีการใช้เชื้อเพลิงการผลิตไฟฟ้า 2 ชนิด คือ ไม้ซิป มีค่าพลังงานความร้อน 7,650 Kcal/kg และขุยมะพร้าว ค่าพลังงานความร้อน 4,380 Kcal/kg (โรงไฟฟ้าชีวมวลกรณีศึกษา) ส่วนราคาเชื้อเพลิงแต่ละชนิด จากการสัมภาษณ์เจ้าของบริษัท ขุยมะพร้าว ราคา 500 บาท/ตัน และไม้ซิป ราคา 1,050 บาท/ตัน และราคาขายไฟฟ้า 2.5 บาท/กิโลวัตต์ (ราคาขายของบริษัทเอกชน)

3.2 การออกแบบส่วนผสมของเชื้อเพลิง

(Kaiwan, Y., 2016) การออกแบบการทดลอง แบบสองกลุ่มหรือมากกว่าเป็นแผนการทดลองที่มีการกำหนดแบบการทดลองมากกว่า 1 แบบ และวัดผลการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบค่าผลการทดลอง ในการออกแบบส่วนผสมของเชื้อเพลิงเราจะใช้อัตราส่วนผสมระหว่างปริมาณขุยมะพร้าวกับไม้ซิปมาผสมกัน ซึ่งในการผสมผู้วิจัยได้กำหนดสัดส่วนไว้ดังนี้คือ ขุยมะพร้าว 1 ส่วน กับไม้ซิป 1 ส่วน แล้วนำไปทดลองผลิตไฟฟ้าโดยการทดลอง 24 ชั่วโมง แล้วเก็บข้อมูลหาไฟฟ้าที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวล จากนั้นผู้วิจัยได้กำหนดสัดส่วนโดยเพิ่มปริมาณของไม้ซิปใน จึงได้ส่วนผสมของขุยมะพร้าวกับไม้ซิปเป็น 1:2 และ 1:3 ตามลำดับ และกำหนดได้กำหนดสัดส่วนโดยการใช้ไม้ซิป 1 ส่วน และขุยมะพร้าว 2 ส่วน แล้วนำไปทดลองผลิตไฟฟ้าโดยการทดลอง 24 ชั่วโมง

แล้วเก็บข้อมูลหาไฟฟ้าที่ได้จากวัตถุดิบชีวมวล จากนั้นผู้วิจัยได้กำหนดสัดส่วนโดยเพิ่มปริมาณของ ขุยมะพร้าว ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของปริมาณขุยมะพร้าว และไม้chip ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดง ในตารางที่ 1

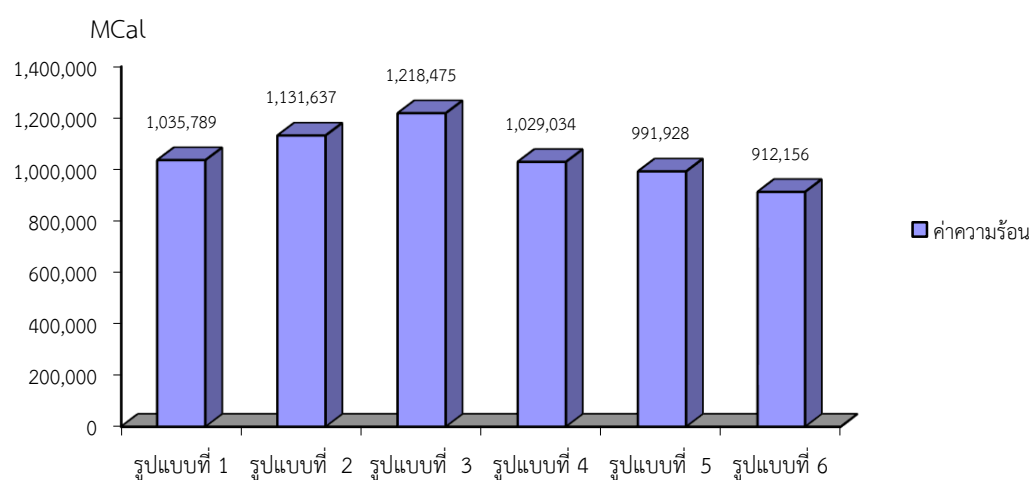
ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างปริมาณขุยมะพร้าวกับไม้chip

รูปแบบ	อัตราส่วนผสม	ค่าเฉลี่ยปริมาณเชื้อเพลิง (ตัน/วัน)		
		ขุยมะพร้าว	ไม้chip	รวม(ตัน)
1	1:1	86.87	85.66	172.54
2	1:2	58.12	114.65	172.78
3	1:3	45.10	133.45	178.56
4	2:1	126.25	62.23	188.49
5	3:2	105.43	69.30	174.74
6	4:1	140.68	38.69	175.38

3.3 ผลการทดลองนำส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวมวลไปผลิตกระแสไฟฟ้า

การออกแบบอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง เพื่อใช้ในการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าปริมาณ ขุยมะพร้าวกับไม้chipที่ใช้ดัง แสดงในตารางที่ 1 โดยนำปริมาณเชื้อเพลิงที่ผลิตไฟฟ้าต่อวันมาหาค่า พลังงานความร้อน ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงต่อไป

ดังนั้นค่าความร้อนของพลังงานเชื้อเพลิงได้จากการผสมของเชื้อเพลิงตามสัดส่วนของ แต่ละรูปแบบ ขุยมะพร้าวมีค่าความร้อน 4,380 Kcal/Kg และไม้chipไป ค่าความร้อน 7,650 Kcal/Kg โดยมีค่าความร้อนในการทดลองรวมทั้งหมดของแต่ละรูปแบบ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงค่าความร้อนของเชื้อเพลิงทั้ง 6 แบบ

ในการออกแบบส่วนผสมของเชื้อเพลิงทั้ง 6 แบบ สามารถหาต้นทุนของเชื้อเพลิง ค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ และไฟฟ้าที่ขายได้ ดังนี้

1) แบบที่ 1 เป็นการผสมเชื้อเพลิงระหว่างขุยมะพร้าว 1 ส่วน ต่อไม้ซิป 1 ส่วน มีต้นทุนเชื้อเพลิงของขุยมะพร้าว 43,435 บาท และไม้ซิป 89,943 บาท สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 161.5 MW/วัน และขายไฟฟ้าได้ 403,750 บาท

2) แบบที่ 2 เป็นการผสมเชื้อเพลิงระหว่างขุยมะพร้าว 1 ส่วน ต่อไม้ซิป 2 ส่วน มีต้นทุนเชื้อเพลิงของขุยมะพร้าว 29,060 บาท และไม้ซิป 120,382 บาท สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 170.5 MW/วัน และขายไฟฟ้าได้ 426,250 บาท

3) แบบที่ 3 เป็นการผสมเชื้อเพลิงระหว่างขุยมะพร้าว 1 ส่วน ต่อไม้ซิป 3 ส่วน มีต้นทุนเชื้อเพลิงของขุยมะพร้าว 22,550 บาท และไม้ซิป 140,122 บาท สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 177.5 MW/วัน และขายไฟฟ้าได้ 443,750 บาท

4) แบบที่ 4 เป็นการผสมเชื้อเพลิงระหว่างขุยมะพร้าว 2 ส่วน ต่อไม้ซิป 1 ส่วน มีต้นทุนเชื้อเพลิงของขุยมะพร้าว 63,125 บาท และไม้ซิป 65,341 บาท สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 168.5 MW/วัน และขายไฟฟ้าได้ 421,250 บาท

5) แบบที่ 5 เป็นการผสมเชื้อเพลิงระหว่างขุยมะพร้าว 3 ส่วน ต่อไม้ซิป 2 ส่วน มีต้นทุนเชื้อเพลิงของขุยมะพร้าว 52,715 บาท และไม้ซิป 72,765 บาท สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 158.5 MW/วัน และขายไฟฟ้าได้ 396,250 บาท

6) แบบที่ 6 เป็นการผสมเชื้อเพลิงระหว่างขุยมะพร้าว 4 ส่วน ต่อไม้ซิป 1 ส่วน มีต้นทุนเชื้อเพลิงของขุยมะพร้าว 70,340 บาท และไม้ซิป 32,224 บาท สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 152.4 MW/วัน และขายไฟฟ้าได้ 381,000 บาท

3.4 การเปรียบเทียบต้นทุนของเชื้อเพลิงรูปแบบต่างๆ

ในการเปรียบเทียบเราพิจารณาจากต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ไปในการผลิตกระแสไฟฟ้า และได้กระแสไฟฟ้าที่นำไปหาค่าของราคาไฟฟ้าที่ขายได้ เพื่อใช้หาผลต่างของการผลิตกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ต้นทุนของเชื้อเพลิง และค่ากระแสไฟฟ้าที่ขายได้

รูปแบบที่	ค่าเชื้อเพลิง(บาท)	ขายไฟฟ้าได้(บาท)	ผลต่าง (ร้อยละ)
1	133,378	403,750	66.97
2	145,348	426,250	65.90
3	141,672	443,750	68.07
4	128,466	421,250	69.50
5	124,940	396,250	68.47
6	102,564	381,000	73.08

จากตารางที่ 2 แสดงผลต่างการผลิตกระแสไฟฟ้าของค่าเชื้อเพลิง และค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้ง 6 แบบนี้ แบบที่มีค่าผลต่างมากที่สุด คือ แบบที่ 6 มีผลต่างระหว่างต้นทุนเชื้อเพลิงกับค่าไฟฟ้า

ที่ขายได้ ร้อยละ 73.08 รองลงมาคือ แบบที่ 4 มีผลต่างระหว่างต้นทุนเชื้อเพลิงกับค่าไฟฟ้าที่ขายได้ ร้อยละ 69.50 ตามลำดับ

3.5 การวิเคราะห์ความเหมาะสมโดยวิธีการทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกเลือกวิธีการผลิตไฟฟ้า โดยใช้เชื้อเพลิงในการเผาให้ความร้อน และอัตราผลตอบแทนของการลงทุนผลิตกระแสไฟฟ้า การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เราจะคำนวณหาต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้า (SuanSawat, R., 2016) แบ่งประเภทต้นทุนเป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1) ต้นทุนผันแปร (Variable Costs) 2) ต้นทุนคงที่ (Fixed Costs) 3) ต้นทุนกึ่งคงที่ (Semi - fixed Costs) และ 4) ต้นทุนผสมหรือต้นทุนกึ่งผันแปร (Mixed Cost หรือ Semi-variable Costs) และ (Urajiraphongphan, S., 2014) แบ่งต้นทุนการผลิตออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ วัตถุดิบทางตรง (Direct Material) ค่าแรงงานทางตรง (Direct Labor) และค่าใช้จ่ายการผลิต (Manufacturing Overhead) เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C) และระยะเวลาคืนทุน (Yaemphuan, P., 2013)

1) การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงขุมมะพร้าว และไม้ซิป ได้จาก

(1) ต้นทุนคงที่ของการผลิตไฟฟ้า (F_c) ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรโรงไฟฟ้า ค่าเสื่อมราคาเครื่องผลิตน้ำบริสุทธิ์ ค่าเสื่อมราคาโรงเรือนอาคาร และค่าเสื่อมราคาของรถ (รถดักรถลำเลียงซีเมนต์)

- ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรโรงไฟฟ้า เท่ากับ 27,000,000 บาท/ปี โดยพิจารณาจากราคาของเครื่องจักรผลิตกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 300,000,000 บาท อายุการใช้งานของเครื่องจักรโรงไฟฟ้า คิดที่ 10 ปี และมูลค่าซากคิดที่ร้อยละ 10 ของราคาเครื่องจักร

- ค่าเสื่อมราคาเครื่องผลิตน้ำบริสุทธิ์ เท่ากับ 90,000 บาท/ปี โดยพิจารณาจากราคาต้นทุนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตน้ำบริสุทธิ์เท่ากับ 1,000,000 บาท อายุการใช้งานของอุปกรณ์ผลิตน้ำ คิดที่ 10 ปี และมูลค่าซากคิดที่ร้อยละ 10 ของราคาเครื่องจักร

- ค่าเสื่อมราคาโรงเรือนอาคาร เท่ากับ 90,000 บาท/ปี โดยพิจารณาจากราคาต้นทุนของโรงเรือนผลิตกระแสไฟฟ้า โรงเรือนผลิตน้ำ และโรงเรือนเก็บเชื้อเพลิง เท่ากับ 10,000,000 บาท อายุการใช้งานของโรงเรือน คิดที่ 10 ปี และมูลค่าซากคิดที่ร้อยละ 10 ของราคาโรงเรือน

- ค่าเสื่อมราคาของรถ (รถดักรถลำเลียงซีเมนต์) เท่ากับ 180,000 บาท/ปี โดยพิจารณาจากราคาต้นทุนของรถ เท่ากับ 1,000,000 บาท อายุการใช้งานของรถ คิดที่ 5 ปี และมูลค่าซากคิดที่ร้อยละ 10 ของราคารถ

- ค่าแรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า 1,200,000 บาท/ปี โดยพิจารณาจากคนงานในการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าจำนวน 6 คน แบ่งเป็น 2 กะ กะละ 3 คน หัวหน้า 2 คน ค่าแรง 480,000 บาท/เดือน และพนักงานเดินเครื่อง 4 คน ค่าแรง 720,000 บาท/เดือน

- ค่าภาษี ได้แก่ค่าใบอนุญาต 10 ปี เท่ากับ 3,000,000 บาท

ดังนั้น ผลรวมต้นทุนคงที่เท่ากับ 344,370,000 บาท/ปี ได้จากผลรวมของค่าเสื่อมราคา ค่า-เครื่องจักรผลิตน้ำ ค่าโรงเรือน ค่ารถ ค่าแรงงาน และค่าภาษี

(2) ต้นทุนผันแปรของการผลิตกระแสไฟฟ้า (V_c)

- ค่าเชื้อเพลิงไม้ซิป และขุมมะพร้าว เท่ากับ $(1,050X_1) + (500X_2)$ บาท/ปี

- ค่าซ่อมบำรุงรักษาในการผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 100,000 บาท/ปี
- ค่าโทรศัพท์ในการติดต่อดำเนินงานเฉลี่ยเท่ากับ 48,000 บาท/ปี
- ค่าน้ำมันดีเซลรถตักลำเลียงซีเมนต์เฉลี่ย 20 ลิตร/วัน เท่ากับ 252,000 บาท/ปี
- ค่าไฟฟ้าในช่วงที่ยังไม่ได้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เท่ากับ 1,800,000 บาท/ปี
- ค่าภาษีรายได้ 12% คิดจากการขายไฟฟ้าได้ทั้งหมด $[0.12(2.5X_3)]$ บาท/ปี

ดังนั้น ต้นทุนผันแปร เท่ากับ $[(1,050X_1) + (500X_2)] + 100,000 + 48,000 + 252,000 + 1,800,000 + [0.12(2.5X_3)]$

(3) ต้นทุนรวมของการผลิตกระแสไฟฟ้า

$$\begin{aligned}\text{ต้นทุนรวม (Tc)} &= \text{ต้นทุนคงที่ (Fc)} + \text{ต้นทุนผันแปร (Vc)} \\ &= 344,370,000 + [(1,050X_1) + (500X_2)] + [0.12(2.5X_3)] + 2,200,000\end{aligned}$$

เมื่อ

X_1 = ปริมาณของไม้ซิปที่ใช้

X_2 = ปริมาณของขุยมะพร้าวที่ใช้

X_3 = ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของแต่ละส่วนผสม

ส่วนผสม ที่	เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้า (ตัน/วัน)		กระแสไฟฟ้า ที่ผลิตได้ (MW/24Hr) (X_3)	ต้นทุนคงที่ ($\times 10^6$ บาท) (Fc)	ต้นทุนแปรผัน ($\times 10^6$ บาท /ปี) (Vc)	ต้นทุนรวม ($\times 10^6$ บาท/ปี) (Tc)
	ไม้ซิป (X_1)	ขุยมะพร้าว (X_2)				
1	85.66	86.87	161.50	344.37	68.567	412.937
2	114.56	58.12	170.50		75.382	419.752
3	133.45	45.10	177.50		81.012	425.382
4	62.23	126.25	168.50		67.541	411.911
5	69.30	105.43	158.50		65.356	409.726
6	30.69	140.68	152.40		56.324	400.694

2) การวิเคราะห์อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio, B/C) ผลิตกระแสไฟฟ้า

การวิเคราะห์อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน พิจารณาจาก กระแสเงินสดจ่าย กระแสเงินสดรับ มูลค่าปัจจุบันกระแสเงินสดจ่าย และมูลค่าปัจจุบันกระแสเงินสดรับ มาใช้หาอัตราส่วนผลตอบแทนการลงทุน ดังนี้

(1) การคำนวณหาผลรวมมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ (B) แสดงดังสมการที่ 1

$$B = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

กำหนดให้

$$\begin{aligned} B_t &= \text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับของแต่ละปี} \\ r &= \text{อัตราดอกเบี้ยธนาคาร คิดที่ร้อยละ 8} \\ t &= \text{ปีที่ใช้ในการพิจารณา} \end{aligned}$$

(2) การคำนวณหาผลรวมมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย (C) แสดงดังสมการที่ 2

$$C = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

กำหนดให้

$$\begin{aligned} C_t &= \text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายของแต่ละปี} \\ r &= \text{อัตราดอกเบี้ยธนาคาร คิดที่ร้อยละ 8} \\ t &= \text{ปีที่ใช้ในการพิจารณา} \end{aligned}$$

(3) การคำนวณหาอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C) แสดงดังสมการที่ 3

$$B/C = \frac{\text{ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ (B)}}{\text{ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย (C)}} \quad (3)$$

(4) การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) แสดงดังสมการที่ 4

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{จำนวนปีก่อนคืนทุน} + \frac{\text{กระแสเงินสดที่เหลือ}}{\text{กระแสเงินสดทั้งปี}} \quad (4)$$

- การพิจารณากระแสเงินสดจ่าย

$$\text{ปีที่ 0} = \text{ต้นทุนคงที่} + \text{ค่าไฟฟ้า}$$

$$\text{ปีที่ 1,2,3,4,5,7,8,9,10} = \text{ต้นทุนแปรผัน} - \text{ค่าไฟฟ้า}$$

$$\text{ปีที่ 6} = \text{ต้นทุนแปรผัน} + \text{ค่ารถ}$$

- การพิจารณากระแสเงินสดรับ

$$\text{ปีที่ 5} = \text{รายได้จากการขายไฟ} + \text{ค่าซากรถ}$$

$$\text{ปีที่ 10} = \text{ผลตอบแทนปีที่ 10} + \text{ราคามูลค่าซากของเครื่องจักร} +$$

มูลค่าซากของรถ

จากสมการที่ 1 และ 2 เป็นการคำนวณหาค่าผลรวมมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ (B) และผลรวมมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย (C) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ดังสมการที่ 3 และ 4 ตัวอย่างการคำนวณแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณหาค่ามูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย เงินสดรับ และระยะเวลา
คืนทุน ของส่วนผสมรูปแบบที่ 1

ปีที่ (t)	กระแสเงินสดจ่าย $\times 10^6$ (C_t)	กระแสเงินสดรับ $\times 10^6$ (B_t)	กระแสเงินสดสุทธิ	กระแสเงินสดสุทธิ $\times 10^6$	แฟคเตอร์ หามูลค่าปัจจุบัน (a_t)	มูลค่าปัจจุบัน กระแสเงินสดจ่าย $\times 10^6$ (C_t)	มูลค่าปัจจุบัน กระแสเงินสดรับ $\times 10^6$ (B_t)
0	346.170	0	-346.170	-346.170	1	346.170	0
1	66.767	147.369	80.602	-265.568	0.926	61.822	136.453
2	66.767	147.369	80.602	-184.967	0.857	57.242	126.345
3	66.767	147.369	80.602	-104.365	0.794	53.002	116.986
4	66.767	147.369	80.602	-23.764	0.735	49.071	108.320
5	66.767	147.469	80.702	56.938	0.681	45.441	100.365
6	67.767	147.369	79.602	136.539	0.630	42.705	92.867
7	66.767	147.369	80.602	217.141	0.583	38.958	85.988
8	66.767	147.369	80.602	297.742	0.540	36.072	79.619
9	66.767	147.369	80.602	378.344	0.500	33.400	73.721
10	66.767	177.469	110.702	489.045	0.463	30.926	82.202
ผลรวม	1,014.842	1,503.887	489.045	-	-	794.814	1,002.867

ผลที่ได้จากการคำนวณหาค่ามูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย เงินสดรับ และระยะเวลาคืนทุนของเชื้อเพลิงทั้ง 6 รูปแบบดังตัวอย่างในตารางที่ 4 มาแสดงเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (B/C) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ของเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้า

ส่วนผสมที่	อัตราส่วนผสมของ เชื้อเพลิง (ขุยมะพร้าว : ไม้chip)	อัตราส่วนผลตอบแทน ต่อการลงทุน (B/C)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี) (Payback Period)
1	1 : 1	1.26	4.29
2	1 : 2	1.25	4.22
3	1 : 3	1.25	4.14
4	2 : 1	1.33	3.93
5	3 : 2	1.27	4.27
6	4 : 1	1.32	4.08

5. สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการใช้เชื้อเพลิง เพื่อออกแบบส่วนผสมของเชื้อเพลิง และหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยใช้การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทาง (Arjarn, W. et al., 2009) โครงการที่ไม่เหมาะสมแก่การลงทุนโดยพิจารณาจากระยะเวลาการคืนทุนที่มากกว่า 10 ปี โครงการไม่สามารถมีความเป็นไปได้ในการลงทุนคือไม่สามารถคืนทุนได้ตลอดระยะเวลาของโครงการ 30 ปี และโครงการที่เหมาะสมต้องมีอัตราผลตอบแทนสูงสุด และระยะเวลาคืนทุนสั้นสุด จากการออกแบบส่วนผสมของเชื้อเพลิงทั้ง 6 แบบ และทดลองเดินเครื่องรูปแบบละ 24 ชั่วโมง เวลารวมทั้งหมดในการทดลองเดินเครื่องผลิตไฟฟ้า 144 ชั่วโมง รูปแบบที่ 3 เชื้อเพลิงให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุด 1,218,475 Kcal สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 177.5 MW/วัน และขายไฟฟ้าได้เท่ากับ 443,750 บาท มีต้นทุนค่าเชื้อเพลิงเท่ากับ 141,672 บาท แต่มีระยะคืนทุน 4.14 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ 4 มีค่าพลังงานความร้อนน้อยกว่า ผลิตไฟฟ้าได้น้อยกว่า แต่อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (B/C) สูงกว่าหรือเท่ากับ 1.33 และระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) สั้นสุดหรือเท่ากับ 3.93 ปี เนื่องจากเกิดความแตกต่างทางด้านปริมาณส่วนผสมของขุยมะพร้าวกับไม้ซิปที่ทำให้ปริมาณการใช้ผลิตรกระแสไฟฟ้าไม่เท่ากันราคาต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตไฟฟ้ามีราคาต่างกันส่งผลให้รูปแบบที่ 4 มีอัตราผลตอบแทน และระยะเวลาคืนที่เหมาะสมที่สุดในการนำส่วนผสมของเชื้อเพลิงไปใช้ผลิตไฟฟ้า

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก คุณประเสริฐ เป็ล้องกลาง และเจ้าหน้าที่พนักงาน ของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ได้ให้ข้อมูลต่าง ๆ ในการจัดทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยผู้บริหาร และคณะฯ ตลอดจนหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุน ผู้วิจัยหวังอย่างยิ่งว่าการวิจัยครั้งนี้คงจะเป็นประโยชน์ และเป็นแนวทางในการนำไปใช้กับโรงไฟฟ้าชีวมวลอื่น ๆ ต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- Arjarn, W. et al. (2009). **Study of the Economy Cost of a Small Scale Biomass Power Plant for Rural Communities**. Nakhon Ratchasima : Suranaree University of Technology, ข-13. (in Thai)
- Council to reform the country. (2017). **Energy Reform Report**. Bangkok. (in Thai)
- Khidhathong, P. Wangjiraniran, W. and Suriyawong, A. (2014). A Study on Spatial Potential of Biomass for Electricity Generation. **Energy Research Journal**, 63-76. (in Thai)
- Kaiwan, Y. (2016). **Experimental Design for Research**. Bangkok: Chulalongkorn University PrintingHouse. (in Thai)
- Saennil, S. and Kantangkun, P. (2015). Raw Material Management for Very Small Power Producer Biomass Power Plant: A case Study in Prachin Buri Province: **Substance engineering Kasetsart University**, 37-46. (in Thai)
- SuanSawat, R.(2016). **Cost accounting 2**. Udon Thani Rajabhat University. (in Thai)

-
- Urajiraphongphan, S. (2014). **Cost accounting**. 7th edition. Bangkok: McGraw-Hill PrintingHouse. (in Thai)
- Wongsa, K. (2014). **Thai energy future**. Bangkok: Institute of Public Policy Studies Chiang Mai University PrintingHouse. (in Thai)
- Yaemphuan, P. (2013). **Engineering Economy**. Bangkok: Se-Education Public Company Limited PrintingHouse. (in Thai)

Effects of Foaming Agent Contents and Firing Temperatures on Porosity and Density of Granulated Foam Glass Prepared from Waste Glass

ผลของปริมาณสารให้โฟมและอุณหภูมิในการเผาต่อความพรุนตัวและความหนาแน่นของแก้วโฟมแบบเม็ดซึ่งเตรียมจากเศษแก้ว

Suthee Wattanasiriwech^{1*}, Hilmee Yanya², Chuleeporn Thanomsilp³,

Panate Manomaivibool⁴ and Darunee Wattanasiriwech⁵

^{1,2,3,4,5}Circular Economy for Waste-free Thailand Research Group, Mae Fah Luang University, Thailand

School of Science, Mae Fah Luang University,

333 Moo 1, Tasood, Muang District, Chiangrai, Thailand

Tel: +66 5391 6263 Fax: +66 5391 6776 E-mail: darunee@mfu.ac.th

วันที่รับบทความ 11 กันยายน 2562
Received: Sep. 11, 2019

วันที่รับแก้ไขบทความ 12 พฤศจิกายน 2562
Revised: Nov. 12, 2019

วันที่ตอบรับบทความ 17 ธันวาคม 2562
Accepted: Dec. 17, 2019

Abstract

The purpose of this research work was to analyze production of granulated foam glass (GFG), a lightweight aggregate used in cement concrete, using mixed waste glass as the main ingredient. The effects of foaming agent content and firing temperature on density and porosity of the GFG were studied. Dolomite mineral and tapioca gel were selected as the foaming agent and the binding agent respectively. Dolomite content was varied from 1-4 wt % while the tapioca gel was fixed at 35 wt %. Firing temperatures used were 750 °C and 800 °C for 10 min. It was found that firing at 750 °C was more suitable than at 800 °C as the latter temperature led to non-uniform porosity due to bloating. When increasing the dolomite content, the bulk density of the GFG decreased while the porosity increased. The best condition obtained from this current research was 3% dolomite and 750 °C firing as the GFG showed a desirable bulk density of 0.54 g/cm³ and a porosity of 76% with a uniform pore structure. The pore size of this GFG was mostly found to be in the 10 μm range.

Keywords: waste glass, granulated foam glass, density, foaming agent content, firing temperature

1. Introduction

Waste glass has become an urgent environmental problem all over the world due to its landfill spaces occupancy. The waste glass was regarded as “dangerous waste” in Thailand so the elimination of this waste needs budgeting from local municipality.

In practice, glass recycling occurs at a lower percentage than expected due to limitation of the recycling process. In order to solve this problem, the use of waste glass in other applications especially in construction has been proposed by many researchers (Serpa et al., 2013, 489, Corinaldesi et al., 2005, 197, Rashad et al., 2014, 340). Waste glass may be crushed into desired size and added into the concrete recipe directly in order to reduce the amount of fine aggregate used (Islam, et al., 2017, 38). Another approach of the utilisation of waste glass was to use as the aggregate in concrete for a more advanced purpose of thermal efficiency as well as thermal insulation (König et al., 2018, 11143). In the method, waste glass was prepared as “granulated foam”. Granulated foamed glass (GFG) has a lifespan equal to that of construction materials, e.g., bricks and concrete (Kaz’mina et al., 2011, 371). Foamed glass is becoming increasingly common as an effective thermal insulation material.

Foam glass is a heterogeneous phase system consisting of the solid and gaseous phases with low density, low thermal conductivity, low vapor impermeability, no water absorption, incombustibility, good chemical resistance so it can be used as lightweight (Chen et al., 2012, 264).

The types of common foaming agents such as carbon, calcium carbonate (CaCO_3), dolomite and silicon carbide determine the composition of released gases (Souza et al., 2017, 61). The amount of foaming agents used is dependent on the amount of gases released and viscosity of the melting materials. Examples of the foaming agent used are such as eggshell (1 - 30%) (Souza et al., 2017, 60) to foam waste glass bottle or 1% CaCO_3 to foam waste glass cullet (Stiti et al., 2011, 3384).

The foaming agent must decompose at the desired temperature, making retention of the foamed structure possible. In order to achieve low density and uniform pore structure, it is necessary to avoid collapses through coarsening of individually created bubbles. Coarsening of bubbles occurs to reduce free surface energy. To improve properties especially strength of the GFG, many raw materials such as fly ash, rice husk ash, may be used as auxiliary materials in preparations (Chen et al., 2012, 263, da Silva Fernandes et al., 2019, 77, Wang et al., 2018, 13681).

Naturally occurring dolomite—a double carbonate of Ca and Mg— $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ is typically sedimentary rock associated with calcite, widely scattered in nature (Gunasekarn and Anmalagan, 2007). The decomposition of dolomite started around 584 K and ended around 1119 K with multi-step reactions (Olszak-Humienik and Jablonski, 2015) so it was suitable to use as the foaming agent for the mixed glass types which sintering could occur at a various temperature range. The amount of

dolomite used as the foaming agent in transparent waste glass reported was up to 5% (Pokorny et al., 2011, 174)

In the present study, mixed waste glass from local municipals was used as the main material for the preparation of GFG. Natural dolomite was used as the foaming agent. Tapioca gel, because of its low price, was used as the binder for shape forming. Preparation and characterization of the GFG are addressed in this paper.

2. Objectives

2.1 To study the potential use of mixed waste glass as the raw material for the preparation of granulated foam glass.

2.2 To study the effects of foaming agent content and firing temperature on porosity and density of the GFG.

3. Materials and Methods

3.1 Materials Characterisation and Preparation

The mixed waste glass was collected from Sansai municipality, Majan District, Chiang Rai. Dangerous glass such as CRT tubes or fluorescent lamp envelopes was separated, so mainly soda- lime glass was used as main starting material. The collected glass was first clean and handed crush using a solid bar. After that coarse grinding of the crushed glass was done using a Hammer milling, followed by ball milling for different lengths of time to obtain the desired particle size. The glass powder preparation steps are schematically displayed in Figure 1. The particle size of the milled glass was analyzed using sieve analysis method, the result is graphically shown in Figure 2 (a) and an example of glass powder particles taken by an optical microscope is also shown (b). From the literature, GFGs with a density of $<150 \text{ kg m}^{-3}$ were obtained when the particle size is $\leq 33 \text{ }\mu\text{m}$ (D50) (König et al. 2016, 190). The milling time selected was thus 8 hrs.

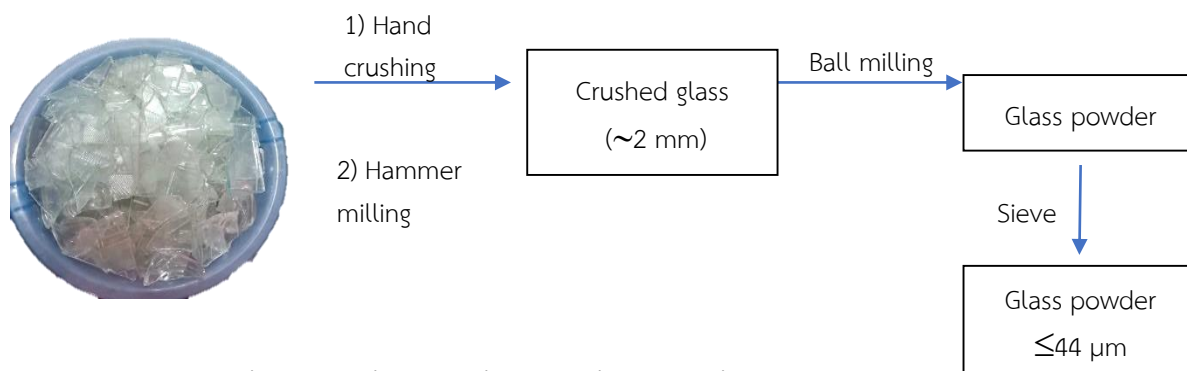


Figure 1 A schematic diagram showing glass powder preparation

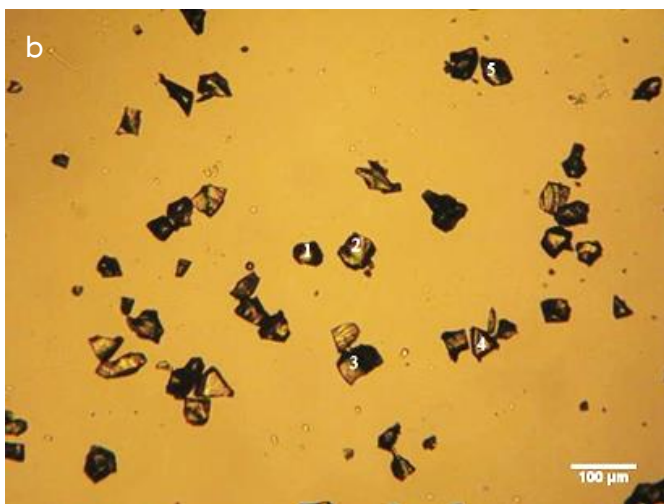
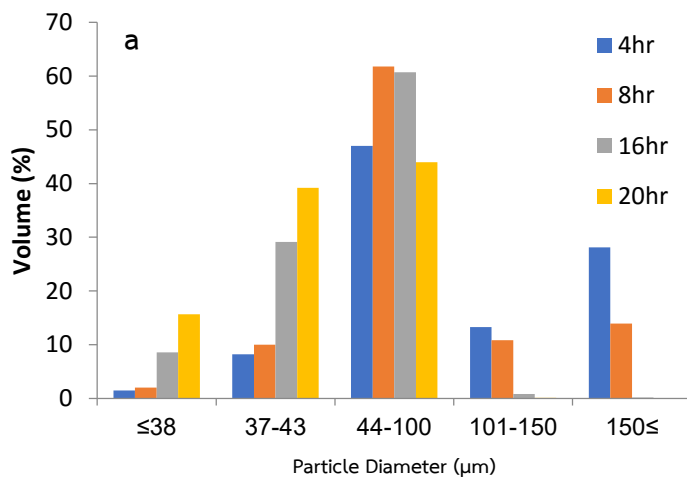


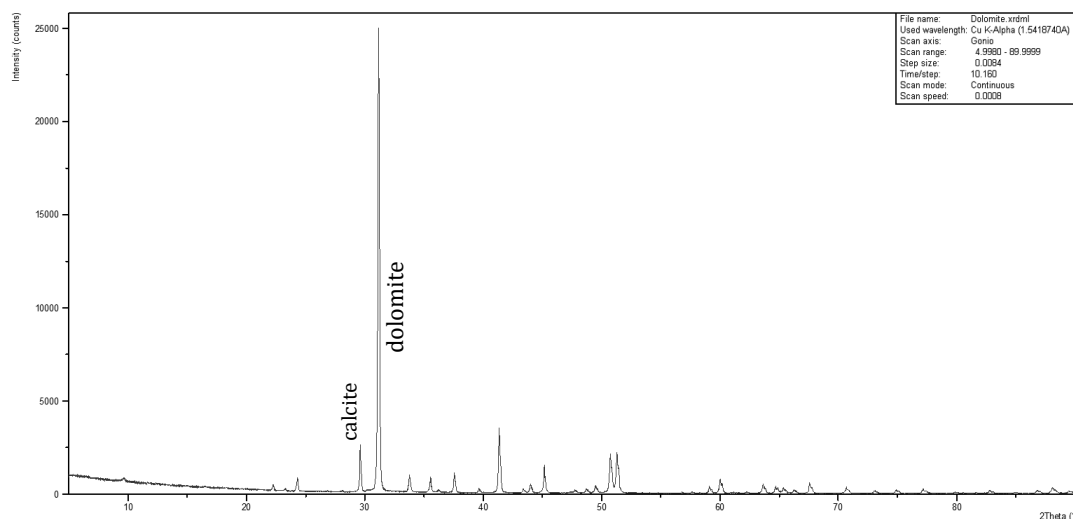
Figure 2 (a) Sieve analysis result of the glass as a function of ball milling time, (b) OM picture of the glass particles passed through the sieve #325 mesh-sieve after ball milling for 8 hrs.

Dolomite clay which decomposes and gives out CO_2 gas was chosen as the foaming agent. Chemical compositions (wt. %) of the waste glass and dolomite clay were analyzed using X-ray fluorescence (XRF) and are shown in Table 1. X-ray diffraction of the dolomite clay in Figure 3 indicated the existence of dolomite (JCPDS: 83-150) with some calcite mineral (JCPDS: 5-586). Decomposition of dolomite is shown in Equation 1 (Olszak-Humienik and Jablonski, 2015, 2239):



Table 1 XRF chemical compositions (wt.%) of waste glass and dolomite.

Raw material	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SO ₃	ZrO ₂	SrO
Waste glass	72.10	12.35	9.29	3.74	1.23	0.44	0.42	0.11	0.20	0.04	-
Dolomite clay	0.71	80.05	-	19.01	-	-	0.19	-	-	-	0.04

**Figure 3** X-ray diffraction analysis of dolomite clay indicating the dominant mineral of dolomite with some calcite coexistence.

3.2 Granulated Foam Glass Preparation and Their Property Testing

In order to select the proper preparation condition, dolomite was first mixed at 1, 2 and 3% to the waste glass to make up the total weight of 100 g. The raw materials were mixed using a mixing machine for 3 min before being compacted using uniaxial dry-pressing at 10 MPa into disks with a diameter of 5 mm. From our previous studies, waste glass could be sintered at around 750 °C (Wattanasiriwech et al., 2019, 012008) while some literature reported the sintering temperature of 800 - 900 °C (Stiti et al., 2011, 3384) (Souza et al., 2017, 61). The samples were thus sintered at 750 and 800 °C with a heating rate of 5 °C/min, 10 min dwell time and a natural cooling.

Granulated foam glass (GFG) was prepared with the aids of tapioca gel as the binding agent to suit the commercial manufacturing process. Glass powder was first mixed with 1 - 4 wt% dolomite using a mixing machine. Tapioca gel was later mixed 35 wt% to the mixture before granulating to spheres of around 5 mm. in diameter. The granulated glass was fired at 750 °C with a heating rate of 5 °C/min and 10 min dwell time.

Bulk density (ρ) and true density (Q) of GFGs were measured based on 10 samples, following ISO 5016:1997 (Shaped insulating refractory products - Determination of bulk density and true porosity). Bulk density was calculated according to Equation 2:

$$\rho = m/v_{\text{GFG}} \quad (2)$$

Where: m is mass of each GFG, V_{GFG} is the volume of the GFG determined using water displacement when GFG was added to the water. V_{GFG} is the volume difference between the immersed water and original water measure in the 10 mL cylinder.

True density (Q) of the GFGs was measured using a Pycnometer with a capacity of 25 mL. The true density was calculated according to Equation 3:

$$Q = \frac{m_1}{m_3 + m_1 - m_2} \times Q_{\text{liq}} \quad (3)$$

Where: Q is true density, Q_{liq} is the density of the liquid, m_1 is initial mass of test material, m_2 is mass of the pycnometer filled with a quantity of the test material and with test liquid, m_3 is the mass of the pycnometer filled with the liquid used. True density of the GFGs averaged from 3 samplings was 2.29 g/cm³.

The porosity of the glass foam was measured following the same standard above. Porosity, π_1 is the ratio of the total volume of the open pores and the closed pores in porous body to its bulk volume. Percent true porosity, π_1 , is given by Equation 4 (Chen *et al.*, 2012, 264):

$$\pi_1 = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_b} \times 100\% \quad (4)$$

where: ρ_t are the true density of the foam glass (g/cm³), ρ_b are bulk density of the foam glass (g/cm³)

4. Results and Discussion

3.1 Effects of the dolomite content and firing temperature

Figure 4 shows GFGs prepared with different dolomite clay amounts (denoted as GFG1, 2, 3) and two firing temperatures of 750 °C and 800 °C (denoted as GFGx-750 and GFGx-800 respectively where x represents the amount of dolomite clay addition). The GFG was compacted without any binder. The result suggested that firing

at 750 °C was more suitable than at 800 °C as the porosity was more uniform and bloating was not yet observed. At 750 °C, foaming was more progressive with increasing the dolomite contents, as it was suggested by the size change and also by the thinner crust thickness. Glass expansion was caused by the release of decomposition gas from the pore-forming agents when it showed suitable viscosity (da Silva Fernandes, 2019, 80)

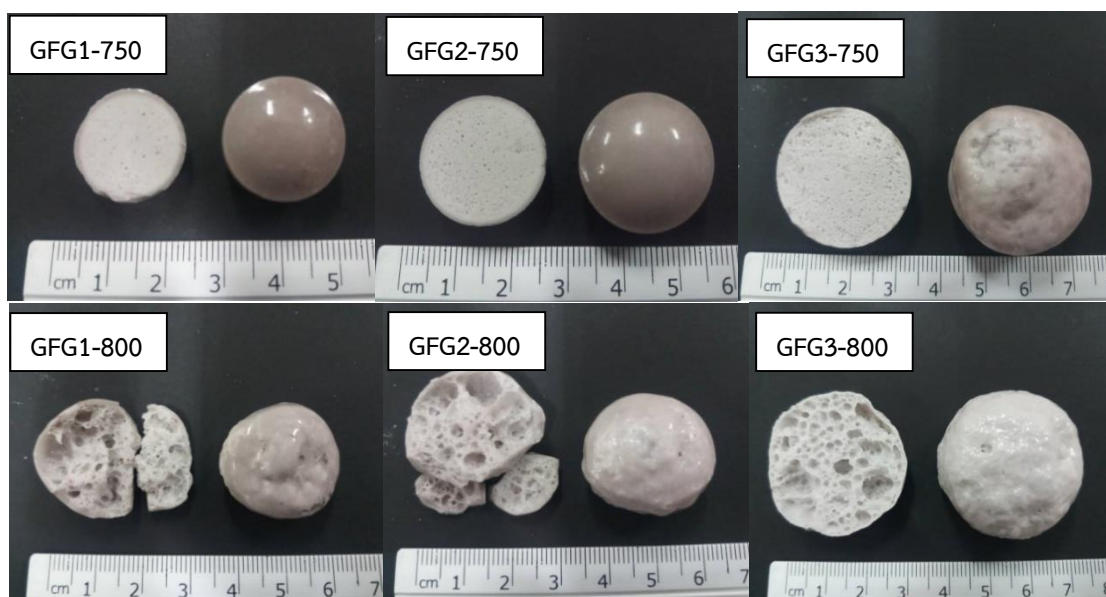


Figure 4 Effects of dolomite clay content and firing temperature on foaming characters of the GFG prepared by compaction.

Figure 5 shows GFGs prepared with different dolomite clay amounts (denoted as GFG1, 2, 3, 4) and with 35% tapioca gel. The GFGs were fired at 750 °C. At 1% dolomite clay, foaming had only slightly occurred. With increasing the dolomite clay content to 2 or 3%, foaming became more uniform, but when further increasing the dolomite clay content to 4%, some bloating could be seen.

Bulk density as a function of dolomite content in the GFGs prepared with tapioca gel binder is graphically displayed in Figure 6. The result shows that with increasing dolomite contents from 1 to 2%, bulk density was dramatically reduced from 1.55 g/cm³ to 0.87 g/cm³ and continuously decreased to 0.58 g/cm³ and further to 0.39 g/cm³ at 3 and 4% dolomite content respectively.

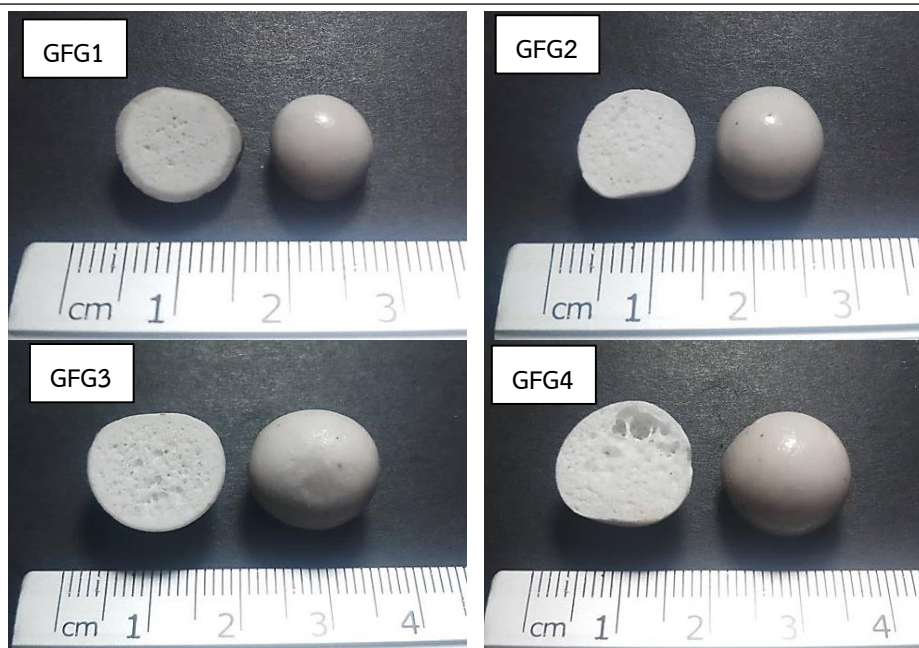


Figure 5 Effects of dolomite clay content on foaming characters of the GFGs prepared with tapioca gel binder and granulation by hand.

These GFGs were compared to those reported in the literature. The bulk density values of our GFGs produced with 3 and 4% dolomite clay conforms to the foam definition and are close to those reported previously (Konig, 2018, 11146, Arcaro, 2016, 1067). However, the use of 3% dolomite clay for the GFGs preparation gave a better uniform pore structure so it was more desirable.

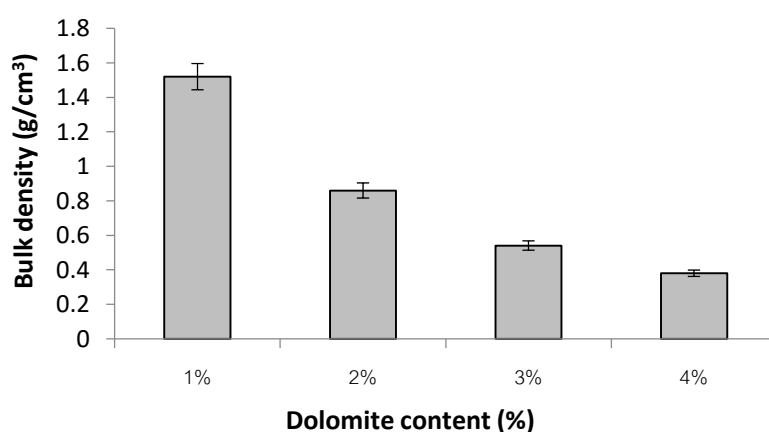


Figure 6 Effects of dolomite content on the bulk density of the GFGs prepared 35% tapioca gel and 750 °C firing.

The effect of dolomite content on true porosity, calculated according to the Eq. 3, of the GFGs prepared with tapioca gel binder is graphically displayed in Figure 7. It was shown that the only GFGs prepared with 2 - 4% dolomite clay were suitable because they exhibited porosity greater than 50%.

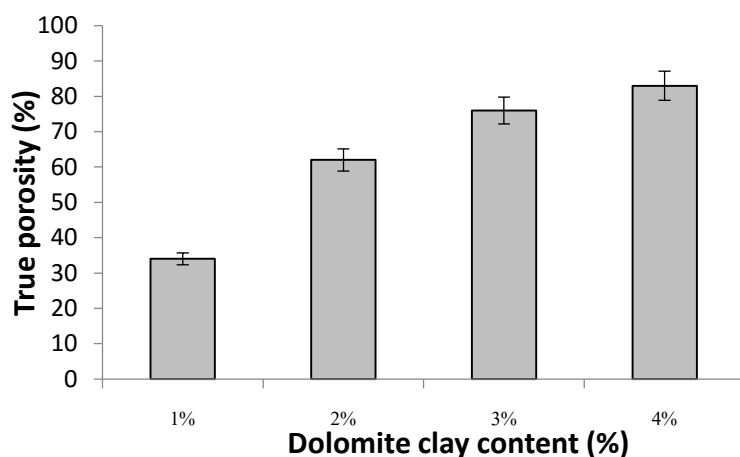


Figure 7 Effects of dolomite content on true porosity, calculated according to Eqn. 3, of the GFGs prepared 35% tapioca gel and 750 °C firing.

The pore size distribution of the GFGs prepared with 3% dolomite clay was further analyzed using Image-J software equipped to an optical microscope and its result is graphically shown in Figure 8. The main distribution of size was between 10-100 μm , with the highest number of size fell at 10 μm . This result showed that most pores were small in size and its distribution was narrow, suggesting possible use as the foamed materials. The work by Konig et al. showed that particle size of the glass cullet had a deep effect on pore size of the glass foam (Konig, 2016). The foaming was mainly caused by the reduction of manganese. When particle size of the cullet was $\leq 33 \mu\text{m}$, foam glass showed a homogeneous pore distribution and a major fraction of the pores were smaller than 0.5 mm. Only when using the smallest particles (13 μm) did the pore size increase to 1 – 3 mm. due to a faster coalescence process (Konig, 2018, 11146).

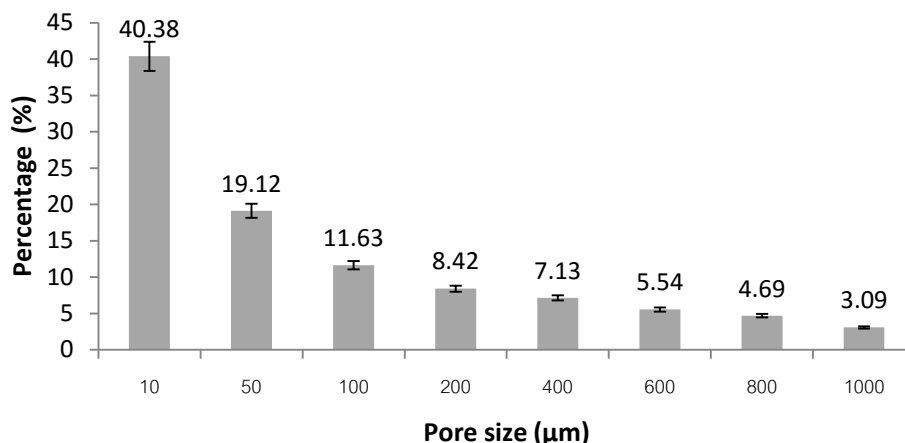


Figure 8 Pore size distribution of GFGs, as analyzed using Image J software. The GFGs were prepared with 3% dolomite clay, 35% tapioca gel and 750 °C firing.

5. Conclusions

This research showed that mixed waste glass could be used for preparation of GFGs. The proper amount of dolomite used was found to be 3% at 750 °C firing for 10 min. With this amount of the foaming agent used, GFGs had a bulk density of 0.54 g/m³ and true porosity of 76%. Further testing of mechanical and thermal properties will be needed in order to assess quality of the prepared GFG and to incorporate it as lightweight filler in mortars. However, from literature, when the granule size was less than 10 mm, mechanical property test became difficult and was omitted (da Silva Fernandes 2019, 79). Bulk density and porosity of the GFGs reported in the literature were ranged from 0.27 g/cm³ (Bai et al., 2014, 52), 0.46 g/cm³ (Zhu et al., 2016, 398), 0.59-0.87 g/cm³ (Chen et al., 2012, 3). The reported porosity values were 81.55-%(Bai et al., 2014, 52), 60-95% (Souza et al., 2017, 60), 52-62% (Chen et al., 2012, 3). The porosity and density of the GFGs prepared in this research were thus comparable to the reported values so the use as lightweight aggregates could be possible. The use of mixed waste glass to create the GFGs will not only reduce the negative environmental impact but will also create a useful material as fire-proof insulation.

6. Acknowledgements

This work was financially supported from the research funding project entitled “Utilisation of crushed glass for production of innovative eco-materials” and Mae Fah Luang University.

7. References

- Arcaro, S., Maia, B. G. de O., Souza, M. T., Cesconeto F.R., Granadosa L., de Oliveira A. P. N. (2016). Thermal insulating foams produced from glass waste and banana leaves sabrina, **Materials Research**, vol. **19** (5), July 2016, pp. 1064-1069
- Chen, B., Wang K., Chen X., Lu A. (2012). Study of foam glass with high content of fly ash using calcium carbonate as foaming agent, **Materials Letters**, vol. **79**, July 2012, pp. 263-265.
- da Silva Fernandes, F. A., Arcaroa, S., Juniorc, E. F. T., Serrad, J. C. V., Bergmann C. P. (2019). Glass foams produced from soda-lime glass waste and rice husk ash applied as partial substitutes for concrete aggregates', **Process Safety and Environmental Protection**, vol. **128**, August 2019, pp. 77-84.
- Du, H. and Tan, K. H. (2013). Use of waste glass as sand in mortar: Part II - Alkali-silica reaction and mitigation methods, **Cement and Concrete Composites**, vol. **35** (1), January 2013, pp. 118-126.
- Gunasekarn, S and Anmalagan, G (2007), Thermal decomposition of natural dolomite, **Bull. Mater. Sci.**, vol. **30** (4), August 2007, pp. 339-344.
- Islam, G. M. S., Rahman, M. H. and Kazi, N. (2017). Waste glass powder as partial replacement of cement for sustainable concrete practice, **International Journal of Sustainable Built Environment**, vol. **6** (1), June 2017, pp. 37-34.
- Kaz'mina, O. V., Vereshchagin, V. I. and Semukhin, B. S. (2011). Structure and strength of foam-glass-crystalline materials produced from a glass granulate, **Glass Physics and Chemistry**, vol. **37** (4), August 2011, pp. 371-377.
- König, J. et al. (2018). Suppressing the effect of cullet composition on the formation and properties of foamed glass, **Ceramics International**, vol. **44** (10), July 2018, pp. 11143-11150.
- Konig, J., Petersen, R. R. and Yue, Y. (2014). Influence of the glass-calcium carbonate mixture's characteristics on the foaming process and the properties of the foam glass, **Journal of the European Ceramic Society**, vol. **34** (6), June 2014, pp. 1591-1598.
- Liu, Z. (2016). National carbon emissions from the industry process: Production of glass, soda ash, ammonia, calcium carbide and alumina, **Applied Energy**, vol. **166**, March 2016, pp. 239-244.
- Olszak-Humienik, M. and Jablonski M. (2015). Thermal behavior of natural dolomite, **J Therm Anal Calorim**, vol. **119**, March 2015, pp. 2239-2248

- Pichor, W., Kaminski, A. Szoldra P. and Frac M. (2019). Lightweight cement mortars with granulated foam glass and waste perlite addition, **Advances in Civil Engineering**, Article ID 1705490, pp.1-9.
- Rashad, A. M. (2014). Recycled waste glass as fine aggregate replacement in cementitious materials based on Portland cement, **Construction and Building Materials**, vol. 72, December 2014, pp. 340-357.
- Ruth, M. and Dell'Anno, P. (1997). An industrial ecology of the US glass industry, **Resources Policy**, vol. 23 (3), September 1997, pp. 109-124.
- Saito, M. and Shukuya, M. (1996). Energy and material use in the production of insulating glass windows, **Solar Energy**, vol. 58 (4-6), October-December 1996, pp. 247-252.
- Serpa, D., Santos, A., Silva J., Pontes, de B., J. Soares D. (2013). ASR of mortars containing glass, **Construction and Building Materials**, vol. 47, October 2013, pp. 489-495.
- Sithi, N., Ayadi A., Lerabi, Y., Benhaoua, A., Benzerga, R. and Legendre L.(2011) Preparation and Characterization of Foam Glass Based Waste, **Asain Journal of Chemistry**, vol. 23, August (2011), 3384-3386
- Souza, M. T. et al. (2017). Glass foams produced from glass bottles and eggshell wastes, **Process Safety and Environmental Protection**, vol. 111, October 2017, pp. 60-64.
- Wang, H., Chen Z., Liu L., Wang X. (2018). Integrated utilization of high alumina fly ash for synthesis of foam glass ceramic, **Ceramics International**, vol. 44 (12), August 2018, pp. 13681-13688.
- Wattanasiriwech D., Nontachit S., Manomaivibool P. and Wattanasiriwech S. (2019) Foam glass from municipal waste as a lightweight aggregate for cement mortar, **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, 351, 012008.

Comparative Study of H350R and E8016 Electrode in Surface Hard-Facing Welding of 100 pound/yard Railway by Shielded Metal Arc Welding

การศึกษาเปรียบเทียบชนิดของลวดเชื่อม H 350R และ E 8016
จากการเชื่อมพอกผิวแข็งรางรถไฟขนาด 100 ปอนด์/หลา
โดยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

Arawan Chanpahol^{1*} and Budsabakorn Kongruang²

^{1,2}Program in Production Technology, Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University, 83 Moo 11, Saraburi-Lomsak Road, Sadiang Sub-district, Muang District, Phetchabun, Thailand 67000
Tel. +66 567 17164, Fax.+66 5671 7164, E-mail: Arawan2519@Hotmail.com, Tao_bud@Hotmail.com

วันที่รับบทความ 2 พฤษภาคม 2562
Received: May. 2, 2019

วันที่รับแก้ไขบทความ 26 สิงหาคม 2562
Revised: Aug. 26, 2019

วันที่ตอบรับบทความ 17 ธันวาคม 2562
Accepted: Dec. 17, 2019

Abstract

This research was a comparative study of H350R and E8016 electrodes in surface hardfacing welding of 100 pound/yard railway made from shielded metal arc welding. The penetrant testing to examine the surface found a 5 - 8 millimeter crack from welding with electrode H350R, but no crack or porosity from welding with electrode E8016. From the macrostructure examination, there was no recognizable crack or porosity. The microstructure examination showed that welding with both electrodes produced pearlite structures. The crack width from welding with electrode H350R was around 500 - 1,200 microns. However, microstructure testing of the heat-affected zone showed that there was no crack from welding with either electrode. The microstructure consisted of ferrite mixed with a martensite structure evenly dispersed. However, in the welding with electrode H350R, the martensite structure was smoother than in the welding with E8016. This was because E8016 contained a large amount of silicon and manganese giving it a rougher grain, directly affecting friction resistance, tensile strength and vibration. It can be concluded from the study, therefore, that the H350R welding electrode is not suitable for 100 pound/ yard railway surface hardfacing welding.

Keywords: surface hardfacing welding, type of welding electrode, shielded metal arc welding

1. Introduction

Logistics management in both national and international level is currently trendy and continuously developed. Due to the analysis, choosing appropriated transportation for products and business need is a way for making the most effective cost with various major systems: water, land and air transportation. However, when discussing popular logistics in the country that is able to carry a large amount of products and passengers, it is definitely a railway system. Its wide range of beneficial characteristics includes engine, containers, a lower portion, and a railway system which has to receive the weight of the train (Parighatprecha, R. Suthasupradit, S. Paoleng, P., 2014). The loss of railway's usability mostly occurred in welding line and rail's surface where wheels connected to rail's surface while moving. This research focuses to study the trail-like damaged surface which occurred from the rubbing between wheels and rail's surface.

Information from the Khon Kean Permanent Way Maintenance Division, State Railway of Thailand mentions problems of wear and tear on the surface of railway that occur from accelerated speed of train while moving from a station or up a hill that uses traction of the whole train procession. Although there is a regulation for speed acceleration while moving out of a station, it is impossible to obey since some train processions gain more weight than usual, and with that regulated speed, they are not being able to move out of the station. Consequently, speed acceleration beyond regulation is necessary and this causes wheel-spin condition while it is in motion. This problem directly affects wheel and surface (Correa, N. Vadillo, E. G. Santamaria, J. Herreros, J., 2016). After that, the Permanent Way Maintenance Division has to change the rail because it contains trails from erosion and cracks from inconsistent vibration. Accordingly, this fundamental study proposes the idea to solve this problem with railway hard-surfacing welding with Shielded Metal Arc Welding. Surface hard-facing welding is a process of filling the material from welding electrode to cover flaws on rail's surface. Meanwhile, during the welding period, there is a limitation on heating before and after welding. Heating while welding and cooling down with contraction of welding joint could cause crack after welding. The welding that the Maintenance Division of Khon Kaen Province uses is the shielded metal arc welding with H350 electrode which affects cracking after welding. Therefore, selecting appropriate welding electrode is also an important role in surfacing hard-facing welding. Because the H350R electrode has good wear resistance, and E8016 electrode has a high tensile strength, they are chosen for this research.

2. Objective

2.1 To study suitability of H350R and E8016 electrodes for surface hard-facing welding that does not produce crack

2.2 To compare results from variables of surface hard-facing welding in metallurgy structure of 100 pound/yard railway by Shielded Metal Arc Welding

3. Methods

3.1 Materials

The materials in this experiment was standard railways UIC 100A (Railway size 100 pound/yard) with chemical composition as shown in Table 1. As the steel railway has high level of carbon and manganese, it directly affects the capability of welding in relation to heating process in before-midst-after welding. Selecting a wrong welding process or inappropriate variables may produce crack in the surface of railway. Moreover, this railway steel has high tensile strength of 880 N/mm² with 10% Elongation and hardness of 309 HV. It is definitely significant to select the type of electrode with chemical composition as specified in Table 1 and similar mechanical properties as the railway material. Since the component of welding electrode mostly affects mechanical properties, the hardness after welding must not exceed the hardness of wheel ring of the train at 350 HV (Herbst, B. 1998) in order to protect the wheel ring from erosion while rubbing. Hence, this research prepared the experimental working piece of 200 millimeter in length.

Table 1 Chemical composition and filler metal (wt%)

Material	C	Si	Mn	P	S
UIC 100A	0.60 – 0.80	0.10 – 0.50	0.80 – 1.30	≤0.04	≤0.04
AWS E 8016	0.08	0.52	1.20	0.016	0.010
H 350R	0.14	0.45	0.54	-	-

3.2 Welding parameter

- 1) Shielded Metal Arc Welding.
- 2) Welding Wire with tensile strength AWS E8016, 4 millimeter.
- 3) Hard surface welding wire GEMINI grade H 350R, 4 millimeter.
- 4) The experiment was repeated 3 times.
- 5) Welder with Skill Development Standard Level 1.
- 6) Examine the top welding surface with penetrant testing (PT).
- 7) Examine the cross-section surface with penetrant testing (PT).

8) Examine the macrostructure and microstructure of welding with optical microscope (OM).

3.3 Surface hard-facing

This research used surface hard-facing welding of 100 pound/yard railway by Shielded Metal Arc Welding as shown in Figure 1 (oval) which based on arc welding between welding electrode and working material (Railway's surface). In arc welding, metal component from the electrode will be filled in the railway's surface covering 1 layer of welding line not over 80 millimeter. This is based on an examination of the impairment of surface with not over 60 millimeter length and not over 3 millimeter depth - fundamental information gained from the Khon Kean Permanent Way Maintenance Division. Flat welding (PA) by ISO standard used arc spacing of 2 millimeter, tilt angle of welding electrode of 60 - 75 degree for metal filling and dispersing in the direction of welding line, welding with electric current of 130 Ampere, DCEP welding current, and invariant welding speed of 200 millimeter /minute. Warming the working piece before welding at 250 °C for 10 minute (Zerbst, U. Lund, R. Edel, K.O. Smith, R.A., 2009) with oxygen-acetylene gas (Carburizing flame) was recommended to disperse the heat in the surface area of railway. Temperature was tested with K Type Infrared Thermometer.



Figure 1 Surface hard-facing welding of 100 pound/yard railway

3.4 Preparation of test pieces after welding

The working piece preparation according to ASTM standard was examined as shown in Figure 2. The working piece A was examined by penetrant testing (PT), preparing by rubbing with sandpaper no. 150 – 1,200. Then the welding surface on top and cross section was examined. The working piece B was examined for metallurgical structure with 6 spots in weld zone (WZ) and Heat affected zone (HAZ), preparing by rubbing with sandpaper no. 150 - 1,200 and rubbing the surface with alumina

oxide 1 micron. After that, abrade the surface of working piece with 2 ml Fluor-hydric acid diluted solution concentration, 5 ml of Nitric acid and 200 ml of distilled water. Then wash with alcohol and water, as well as dry blowing.

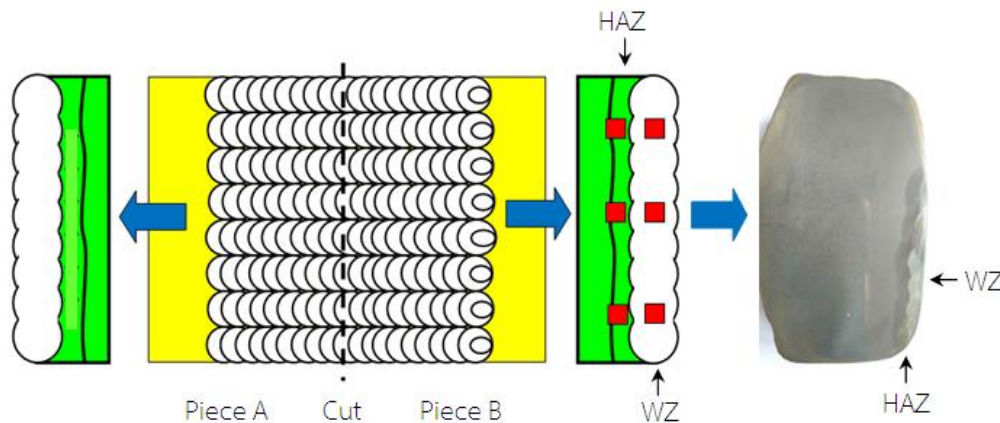


Figure 2 Preparation of test pieces after welding

4. Results

4.1 Examining surface of the top welding zone with penetrant testing found that there was 5 - 8 millimeter long crack in welding zone from welding with electrode H350R, but no crack in the welding zone from welding with electrode E8016.

4.2 Examining surface of the cross section welding zone with penetrant testing found that there was 1 - 2 millimeter long crack in welding zone from welding with electrode H350R occurred while welding. However, there was no crack or porosity in the welding zone from welding with electrode E8016.

4.3 The macrostructure examination found that there was no recognizable crack or porosity. However, in welding with electrode H350R, the heat-affected zone (HAZ) was narrower than welding with E8016 electrode. This was because the chemical property of H350R electrode has more carbon than E8016. This caused the low melting point which affected the capability of welding.

4.4 Examining the welding zone found that both electrodes consisted of Pearlite structure. From welding with electrode H350R, there was crack around 500-1,000 micron. Hence, the electrode H350R was not proper for surface hard-facing of 100 pound/yd railway. The microstructure in heat-affected zone showed no crack from welding with both electrodes. The microstructure consisted of ferrite mixed with martensite structure evenly dispersing. From welding with electrode H350R, the martensite structure was more smoothly than welding with E8016, which

has much more amount of silicon and manganese and its grain was rougher than welding with H350R.

5. Conclusion and Discussion

5.1 Examine the top welding surface with penetrant testing (PT)

From examining the top welding surface with penetrant testing in welding with H350R, there was 5 - 8 millimeter long crack in welding zone as shown in Figure 3 (oval) because of residual stress from cooling after welding. This caused contraction in welding zone and became crack (Poznyakov, V.D. Kiriakov, V.M. Gajvoronsky, A.A. Klapatyuk, A.V. Shishkevich, O.S., 2010). Later, this crack affected vibration while the train was moving with fatigue and increased cracks throughout the railway. On the other hand, there was no error in welding surface while welding with electrode E8016.

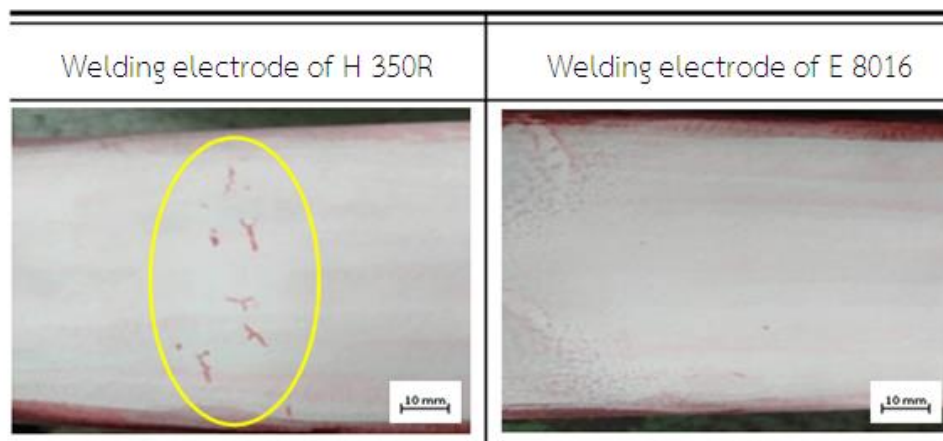


Figure 3 Examine the top welding surface with penetrant testing (PT)

5.2 Examine the cross-section surface with penetrant testing (PT)



Figure 4 Examine the cross-section surface with penetrant testing (PT)

From examining the cross-section surface with penetrant testing in welding with H350R, 1 - 2 millimeter long crack was found in welding zone as shown in Figure 4 (oval) which occurred while welding in each line and the crack was on top surface of the welding zone. Because heating level in welding space was definitely different (Hee-jin, L.Hae-woo, L., 2015) and the property of electrode with high amount of carbon caused contraction of welding substance, it was less flexible than E8016. From welding with electrode E8016, the welding line was more harmonious and there was no crack or porosity. This was because of mechanical property of high tensile strength and flexibility of the electrode.

5.3 Macrostructure examination

From the macrostructure examination shown in Figure 5, there was no noticeable crack or porosity. However, the heat-affected zone (HAZ) in welding with electrode H305R was narrower than welding with E8016. This is because the chemical property of the H305R electrode had more carbon than E8016. Its melting point directly affected heating while welding (Hee-jin, L. Hae-woo, L., 2015) that also decreased the capability of welding. However, from examining welding zone and heat-affected zone in welding with both electrodes, there was no crack line in both areas.

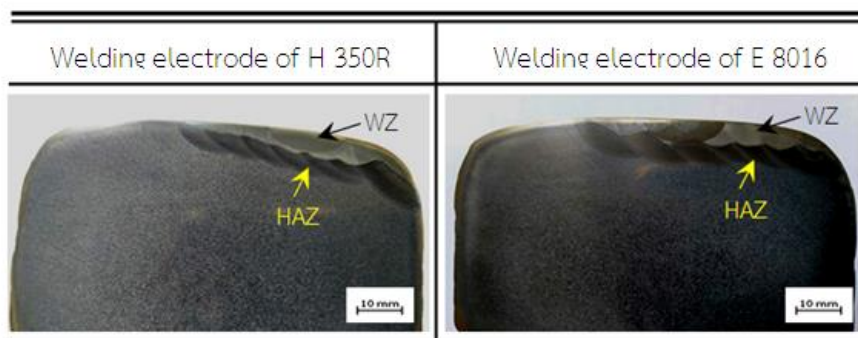


Figure 5 Macrostructure examining in welding zone (WZ) and heat-affected zone (HAZ)

5.4 Microstructure examination

Figure 6 showed the microstructure examination of base metal of railway steel 100 pound/yard which primarily consisted of Pearlite structure (black and white) which related to shape and space. The black area was Cementite (Fe_3C) and the white area was Ferrite (α) (Allie, A. Aglan, H. Fateh, M., 2010). Since the microstructure consisted of Pearlite structure around 85 - 95% , this railway steel had high mechanical properties in both hardness and tensile stress.

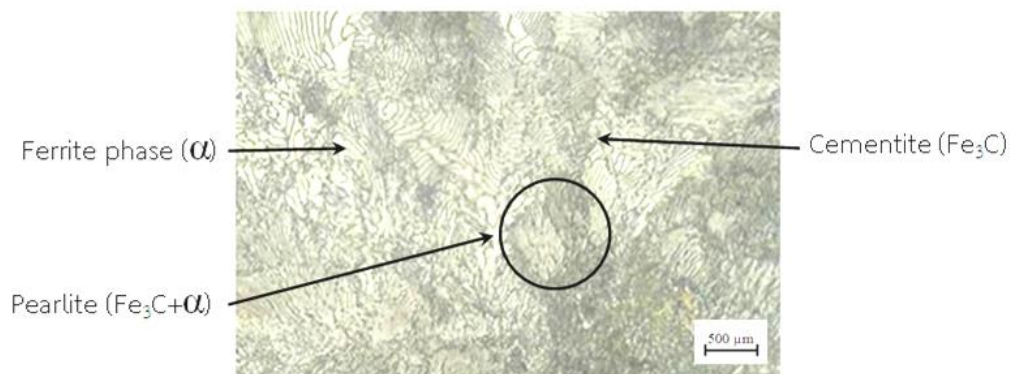


Figure 6 Microstructure examining of base metal (BM)

Figure 7 was the microstructure examination of welding zone. The structure of welding with both electrodes consisted of Pearlite structure (black and white). This occurred from slow cooling mixed with Banite structure (Black) (Wetscher, F. Leoben., 2007). Some parts might cool speedily due to the amount of carbon from railway material and electrodes. In addition, in welding with E8016 which contained high amount of silicon (Si), the grain was rougher than welding with H350R. However, welding with H350R caused 500 - 1,200 micron wide crack (oval) in welding zone which correlated to results from the investigation of welding surface with penetrant testing. As a result, it could be seen that welding with H350R electrode was not suitable for surface hard-facing welding of railway steel 100 pound/yard.

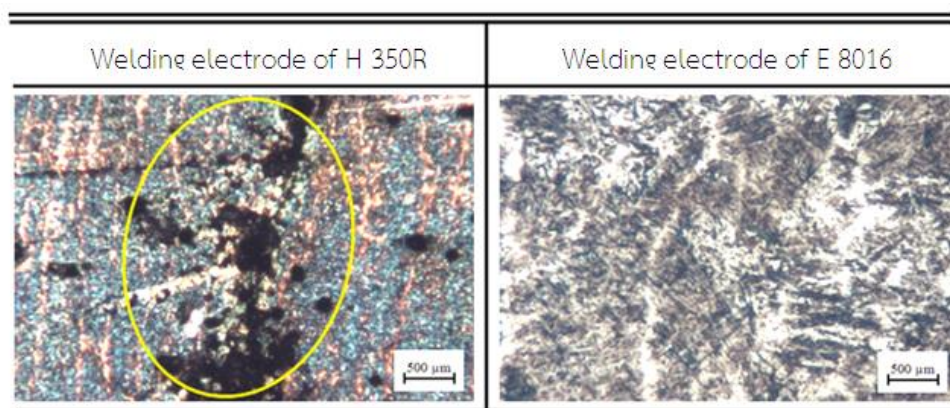


Figure 7 Microstructure examining in welding zone (WZ)

Figure 8 showed the microstructure examination in heat-affected zone. There was no crack from welding with both electrodes. The microstructure consisted of Ferrite (white) mixed with Martensite (black) evenly dispersing. This occurred because of the rapid cooling down (Amini, K. Bahrami, A. Sabet, H., 2015). On the other

hand, Martensite structure in welding with H350R was more thoroughly than with E8016. This is because the amount of carbon in the electrode affected phase change of heating process to be more Martensite. However, in welding with E8016 with a large amount of silicon (Si) and manganese (Mg), the grain was rougher than welding with H350R. It also positively affected friction resistance, tensile strength and vibration.

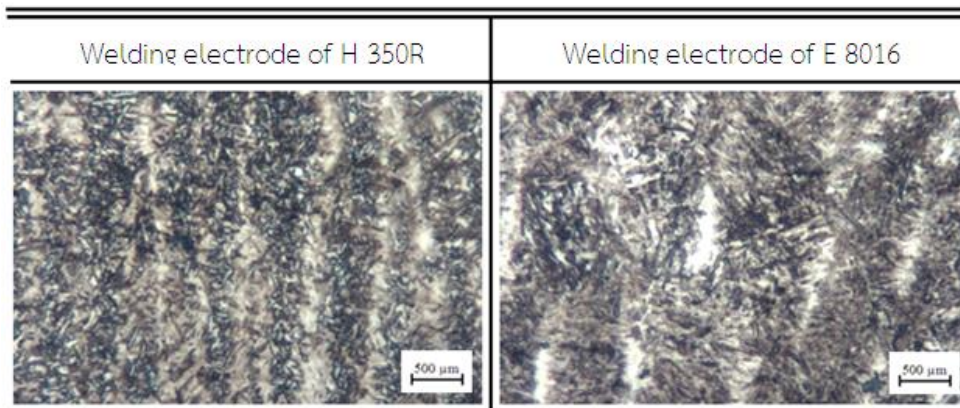


Figure 8 Microstructure examining in heat-affected zone (HAZ)

6. Acknowledgements

I would like to thank the Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun Province in supporting the research tools and materials. Moreover, special thanks to Mr. Pichai Watthanasrimongkol, engineer of Khon Kean Permanent Way Maintenance Division, State Railway of Thailand, as well as Asst. Prof. Dr. Prapas Muangjunburee from the Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkha University, for their assistance in information and railway materials in this research.

7. References

- Amini, K. Bahrami, A. Sabet, H. (2015). Evaluation of Microstructure and Wear Behavior of Iron-based Hard - facing Coatings on the Mo40 Steel. **International Journal of ISSI**, Vol.12, No.1, pp. 1-8, Isfahan. (in Iran).
- Allie, A. Aglan, H. Fateh, M. (2010). Mechanical and Fracture Analysis of Welded Pearlitic Rail Steels. **Journal of Mechanics of Material and Structure**, Vol.5, No.2
- Correa, N. Vadiello, E.G. Santamaria, J. Herreros, J. (2016). A Versatile Method in the Space Domain to Study Short-Wave Rail Undulatory Wear Caused by Rail

- Surface Defects. **University of the Basque Country UPV/EHU**, 48013 Bilbao. (in Spain).
- Hee-jin, L.Hae-woo, L.. (2015). Effect of Cr Content on Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Steel Welds. **Department of Materials Science and Engineering, Dong-A University**, 840 Hadan-dong, Saha-gu, Busan, 604-714. (in Korea).
- Herbst, B. (1998). Wear Investigations on Wheel and Rail Materials. Research Report 6119704. **Research and Technology Center of the DB AG**, Kirchmöser.
- Parihatprecha, R. Suthasupradit, S. Paoleng, P. (2014). Engineering Viewpoint in Raising the Speed of Railway. **Engineering Journal**, Vol.67, No.5. (in Thai).
- Poznyakov, V.D. Kiriakov, V.M. Gajvoronsky, A.A. Klapatyuk, A.V. Shishkevich, O.S. (2010). Properties of Welding Joints of Rail Steel in Electric Arc Welding. **Paton Electric Welding Institute**, NASU, Kiev, Ukraine.
- Wetscher, F. (2007). Fracture Processes in Severe Plastic Deformed Rail Steels. **Erich Schmid Institute for Materials Science, Austrian Academy of Science**, Leoben. (in Austria).
- Zerbst, U. Lund, R. Edel, K.-O. Smith, R.A. (2009). Introduction to the Damage to Lateral Behaviour of Railway Rails – a Review. **Engineering Fracture Mechanics**, 2563–2601. (in Germany).

ภาคผนวก

ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

เพื่อให้วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน ทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

1. **วัตถุประสงค์ของวารสารวิชาการ** เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ในวารสารจะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยเผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่น ๆ การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้ส่งบทความโดยตรง

2. **ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง** ดังนี้

2.1 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

2.2 สาขาวิชาเทคโนโลยี เน้น เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม ได้แก่ เทคโนโลยีไฟฟ้า เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีพลังงาน/พลังงานทดแทน เทคโนโลยีก่อสร้าง/โยธา เทคโนโลยีการผลิต มาตรฐาน วิศวกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีเซรามิก การบริหารจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

2.3 สาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรม

3. **กำหนดออกวารสาร**

วารสารมีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม

4. **การพิจารณาบทความ**

4.1 การพิจารณาบทความ เลือกผู้ทรงคุณวุฒิจากกองบรรณาธิการตรงตามสาขาวิชาในพิจารณา 2 คน ต่อ 1 บทความ

4.2 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง กองบรรณาธิการพิจารณาส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก 2 คน

4.3 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง กองบรรณาธิการพิจารณาส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายในและหรือภายนอก 2 คน

4.4 กรณีผู้ส่งบทความ แก้ไขไม่เป็นไปตามกำหนดเวลา ที่กองบรรณาธิการแจ้งกองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์พิจารณา ยกเลิก กระบวนการเพื่อการตีพิมพ์

5. **คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์**

5.1 วิธีส่งบทความ เจ้าของบทความสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และส่งต้นฉบับบทความ ในรูปแบบไฟล์ word และรูปแบบไฟล์ PDF ได้ที่ระบบออนไลน์ของวารสารวิชาการ <http://www.journal.itech.lpru.ac.th> และนำส่งเอกสารต้นฉบับ ได้ที่

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

119 ม.9 ถ.ลำปาง – แม่ทะ ต.ชมพู อ.เมือง จ.ลำปาง 52100

5.2 รูปแบบบทความที่ส่งกองบรรณาธิการเพื่อตีพิมพ์

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย)

ชื่อเรื่อง (English)

ชื่อ นามสกุล^{1*}, ชื่อ นามสกุล² และ ชื่อ นามสกุล³

^{1*} ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ โทรxxxxxx โทรสารxxxxxx E-mail: YYYYYY

² ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์

³ ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์

บทคัดย่อ

บทความงานวิจัยต้องประกอบด้วยบทคัดย่อที่ระบุถึงความสำคัญของเรื่อง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษาและบทสรุป ในกรณีที่ต้นฉบับเป็นภาษาไทย ให้ผู้นิพนธ์เขียนบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ ระบุคำสำคัญของเรื่อง (keywords) จำนวนไม่เกิน 5 คำ

คำสำคัญ: รูปแบบบทความ, ขนาดตัวอักษร, รูปแบบตัวอักษร

Abstract

An article of research to composes with abstract to specify importance of subject, object, method to study, result and summary. Both Thai and English abstracts are required. The length of each should not exceed 300 words. Also, the keywords should not be used more than 5 words.

Keywords: submission procedure, manuscript format, font size, font style, blank line

1. บทนำ

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือในการเขียนบทความฉบับเต็มสำหรับผู้ที่มีความประสงค์ในการส่งบทความเข้าตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพและเพื่อให้การจัดทำเอกสารเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผู้ที่ส่งบทความควรพิมพ์บทความตามรูปแบบและแนวทางที่กำหนดอย่างเคร่งครัด

2. เนื้อหาบทความ

วารสารฉบับเต็มควรประกอบด้วย ชื่อบทความ ชื่อและที่อยู่ของผู้เขียนบทความ บทคัดย่อ คำสำคัญ วัตถุประสงค์ เนื้อหาโดยสมบูรณ์ของบทความ กิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิง โดยในส่วนของเนื้อหาของบทความ สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อหลัก หัวข้อย่อย และอาจแบ่งถึงหัวข้อย่อยลงมา ทั้งนี้ตัวอักษรทั้งหมดที่ใช้ในการพิมพ์ทุกส่วนให้ใช้ตัวอักษรแบบ TH SarababunPSK

ขนาด 16 ตัวหนาทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระยะระหว่างบรรทัดเป็นแบบบรรทัดเดี่ยว (Single Space) และแต่ละหน้าไม่ต้องมีการเติมหมายเลขหน้า

2.1 ขนาดและการตั้งค่าหน้ากระดาษ

ขนาดของกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์กำหนดให้มีขนาดมาตรฐาน A4 ($8\frac{1}{4} \times 11\frac{3}{4}$ นิ้ว) โดยกำหนดการตั้งค่าหน้ากระดาษดังนี้

ริมขอบกระดาษด้านบน	1.5	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านล่าง	1	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านซ้าย	1.5	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านขวา	1	นิ้ว

ความยาวโดยรวมของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้ากระดาษ และบันทึกไฟล์ข้อมูลด้วย Microsoft Word 2016 เท่านั้น

2.2 ชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียน

ในการพิมพ์ชื่อบทความให้พิมพ์ทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยใช้ตัวอักษรขนาด 20 พอยต์ พิมพ์เป็นตัวหนา โดยแต่ละคำในชื่อภาษาอังกฤษให้พิมพ์อักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ (ยกเว้น คำนำหน้านาม: articles, คำสันธาน: coordinate conjunctions และ คำบุพบท: prepositions นอกจากคำเหล่านี้จะถูกใช้นำชื่อเรื่อง) สำหรับชื่อผู้เขียนบทความให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 พอยต์ ในขณะที่ส่วนของที่อยู่ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 พอยต์ โดยที่อยู่ควรประกอบไปด้วย

สำหรับบุคลากรภายใน มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ตำแหน่งทางวิชาการ สาขาวิชาที่สังกัด เบอร์โทรศัพท์เคลื่อนที่ และ E-mail ที่สามารถติดต่อได้ กรณีผู้เขียนมากกว่าหนึ่ง สามารถระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคนโดยอาศัยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียนนั้น นอกจากนั้นควรมีการระบุชื่อผู้ติดต่อ (Corresponding author) โดยการพิมพ์เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้หลังชื่อ เฉพาะบรรทัดสุดท้ายของรายละเอียด ผู้ติดต่อให้ระบุ เบอร์โทรศัพท์ และ e-mail ของผู้ติดต่อ ทั้งชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียนให้พิมพ์ไว้กลางหน้ากระดาษ

สำหรับบุคลากร ภายนอก มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ ซึ่งสามารถระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคนโดยอาศัยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียนนั้น นอกจากนั้นควรมีการระบุชื่อผู้ติดต่อ (Corresponding author) โดยการพิมพ์เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้หลังชื่อ เฉพาะบรรทัดสุดท้ายของรายละเอียดผู้ติดต่อให้ระบุ เบอร์โทรศัพท์ เบอร์โทรสารและ e-mail ของผู้ติดต่อ ทั้งชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียนให้พิมพ์ไว้กลางหน้ากระดาษ

3. บทคัดย่อและคำสำคัญ

การพิมพ์บทคัดย่อและคำสำคัญให้พิมพ์ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ และจัดรูปแบบอยู่ตรงกึ่งกลางของหน้ากระดาษ โดยให้พิมพ์ชื่อหัวข้อ “บทคัดย่อ” และ “Abstract” เป็นแบบตัวหนา

4. เนื้อหาของบทความ

บทความวิจัยควรประกอบด้วย บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหา นำไปสู่การศึกษา วัตถุประสงค์ วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Method) กล่าวถึง รายละเอียด การวิเคราะห์และการทดลองที่กระชับและชัดเจน ผลการทดลอง (Results) บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน สรุปและอภิปรายผล (Discussion and Conclusion) อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ ในแง่มุมต่าง ๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลงานผู้อื่นอย่างไร ต้องมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุนหรือการหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผลและอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

ส่วนของเนื้อหาบทความ กำหนดตัวอักษรที่ใช้ในเนื้อหาให้มีขนาด 16 พอยต์ รวมถึงไม่ต้องการเว้นบรรทัดระหว่างย่อหน้า (ไม่ต้องเคาะบรรทัดเมื่อขึ้นย่อหน้าใหม่) สำหรับรูปแบบตัวอักษรที่ใช้ในการพิมพ์หัวข้อกำหนดดังนี้

4.1 หัวข้อหลัก

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อหลัก และให้พิมพ์ไว้ชิดริมซ้ายของคอลัมน์

4.2 หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา และให้พิมพ์ห่างจากริมซ้ายของคอลัมน์ 0.5 นิ้ว

5. รูปภาพ ตาราง และสมการ

5.1 รูปภาพและตาราง

การนำเสนอรูปภาพและตารางสามารถนำเสนอต่อจากข้อความที่กล่าวถึงหรืออาจนำเสนอภายหลังจากจบหัวข้อหรือนำเสนอในหน้าใหม่ ขนาดของรูปภาพและตารางไม่ควรเกินกรอบของการตั้งค่านำกระดาษที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 2.1

ทั้งรูปภาพและตารางจะต้องมีคำอธิบายโดยคำอธิบายของรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพ และอยู่ชิดซ้ายของหน้ากระดาษ หากรูปภาพใดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนให้มีการระบุคำอธิบายของแต่ละส่วนโดยอาศัยตัวอักษรภาษาไทยในวงเล็บเรียงตามลำดับเช่น (ก) และ (ข) ส่วนคำอธิบายตารางให้พิมพ์ไว้เหนือตารางและชิดริมซ้ายของกระดาษ โดยการเรียงลำดับรูปภาพและตารางให้แยกการเรียงลำดับออกจากกัน

ตารางข้อมูลที่น่าลงตีพิมพ์ ต้องพิมพ์ด้วย word เพื่อความคมชัดของตาราง เช่น

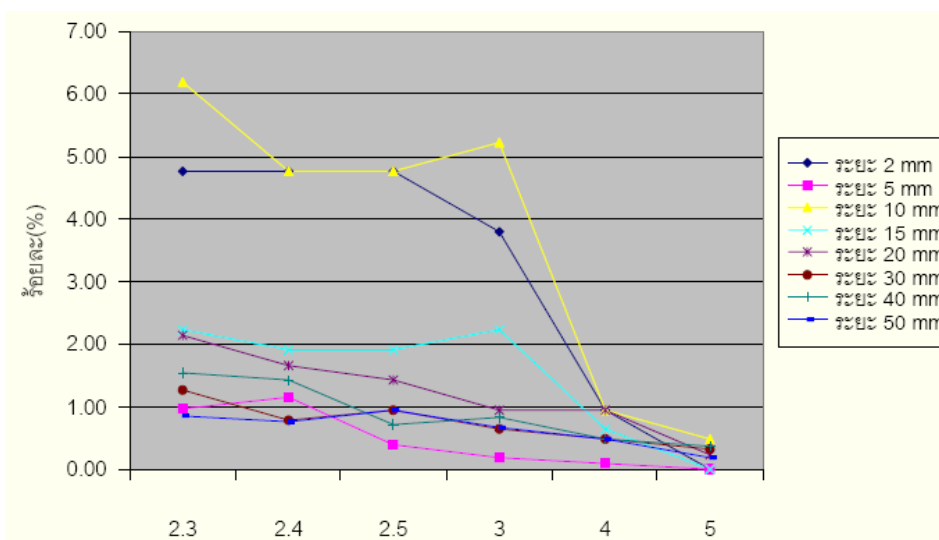
ตารางที่ 1 ตารางที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้ใช้อาคาร
1) กระเบื้องดินเผาที่มีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม	1) กระเบื้องดินเผาที่มีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้ใช้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อย ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว
2) ข้อดีของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	2) กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพัก มีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้ใช้อาคารอาจสะดุดเมื่อใช้งาน
	3) เนื่องจากความไม่แข็งแรงของกระเบื้องดินเผา เมื่อผ่านการใช้งาน หรือมีวัตถุตกกระทบ ทำให้กระเบื้องดินเผาแตก กะเทาะ หรือบิ่น ซึ่งแสดงถึงความไม่คงทนแข็งแรง

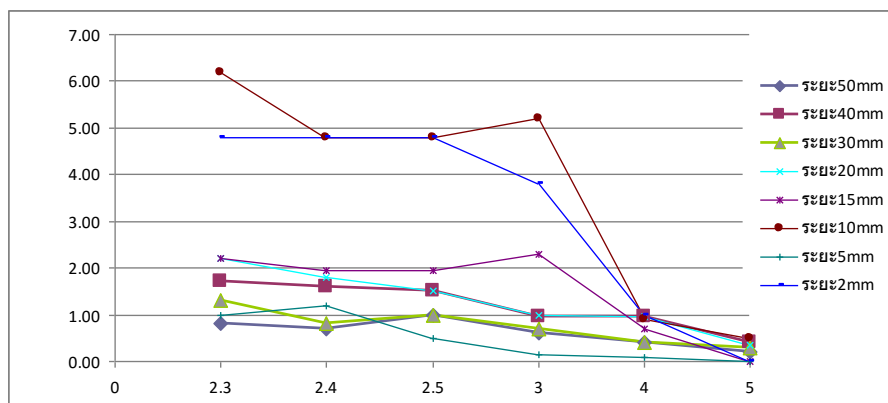
ตารางที่ 2 ตารางที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้ใช้อาคาร
1) กระเบื้องดินเผาที่มีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม	1) กระเบื้องดินเผาที่มีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้ใช้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อย ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว
2) ข้อดีของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	2) กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพักมีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้ใช้อาคารอาจสะดุด เมื่อใช้งาน

รูปภาพที่น่าลงตีพิมพ์ ควรเลือกภาพที่เหมาะสมและคมชัดที่สุด

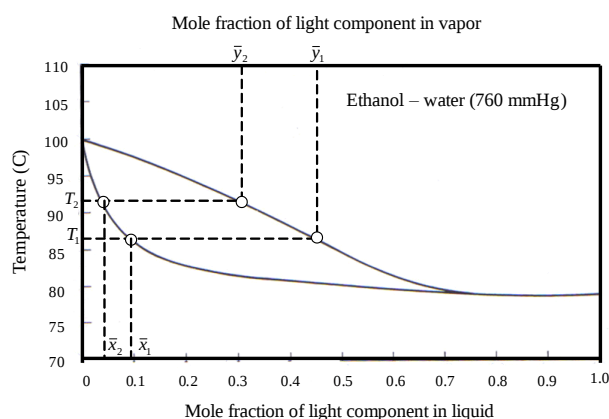


ภาพที่ 1 ภาพที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์



ภาพที่ 2 ภาพที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

การระบุหมายเลขลำดับรูปภาพและตารางในบทความให้ระบุเป็นรูปที่และตารางที่ เช่น ภาพที่ 1, ภาพที่ 1 – 3, ตารางที่ 1, ตารางที่ 1 – 3 เป็นต้น



ภาพที่ 1 แผนภูมิ T-Y ของระบบเอทานอล - น้ำ ที่ 2 องศาประกอบภายใต้สภาวะความดันคงที่

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำมันปิโตรเลียมในแต่ละภาคเศรษฐกิจ ๆ ของประเทศไทย (หน่วย: ล้านลิตร)

ภาคเศรษฐกิจ	ปี	
	2545	2546
1. เกษตรกรรม	3,509	3,827
2. เหมืองแร่	19	26
3. อุตสาหกรรม	4,821	4,937
4. ไฟฟ้า	703	757
5. การก่อสร้าง	169	172
6. ที่พักอาศัยและการพาณิชย์	2,729	2,792
7. คมนาคมขนส่ง	23,980	25,475
Total	35,930	37,986

5.2 สมการ

การเขียนสมการให้เขียนไว้กลางคอลัมน์และมีการระบุลำดับของสมการโดยใช้ตัวเลขที่พิมพ์อยู่ในวงเล็บ เช่น (1), (2) เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

หากต้องการเขียนกิตติกรรมประกาศเพื่อขอบคุณบุคคลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเขียนได้ โดยให้อยู่หลังเนื้อหาหลักของบทความและก่อนเอกสารอ้างอิง เช่น

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้เอื้อเพื่อเอกสารและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการจัดประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24

7. การอ้างอิง

ให้รวบรวมรายชื่อสิ่งพิมพ์และวัสดุความรู้ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นหลักฐานหรือเอกสารอ้างอิงในการศึกษาแทรกไว้ในเนื้อหาและท้ายบทความ โดยระบุเป็น 2 ภาษา คือ ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การอ้างอิงในเนื้อหา เป็นการวงเล็บระบุแหล่งที่มาอย่างกว้าง ๆ แทรกอยู่ในเนื้อหาของบทความวิชาการ ส่วนรายละเอียดที่สมบูรณ์ของแหล่งข้อมูลจะแสดงใน “เอกสารอ้างอิง” ในส่วนท้ายของบทความวิชาการ การอ้างอิงในเนื้อหาและท้ายบทความให้เป็นระบบ APA

7.1 การลงรายละเอียดของการอ้างอิงในเนื้อหา

(ผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(ผู้แต่งคนแรก และผู้แต่งคนที่สอง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(ผู้แต่งคนแรก และคณะ, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(ผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, ไม่มีเลขหน้า)

(หน่วยงาน, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(นามแฝง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

7.2 การลงรายละเอียดของการอ้างอิงท้ายบทความ

ให้อ้างอิงรายการลำดับตามอักษรตัวแรกของผู้แต่ง ตามการเรียงลำดับตัวอักษรของพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน สำหรับรูปแบบการพิมพ์รายชื่อเอกสารอ้างอิงจากแหล่งต่าง ๆ กำหนดให้มีรูปแบบดังตัวอย่างต่อไปนี้

(1) บทความจากวารสาร (Journal)

Waszkiewics, S.D., Tierney, M.J. and Scott, H.S. (2009). Development of coated, annular fins for adsorption chillers, **Applied Thermal Engineering**, vol. 29 (11-12), August 2009, pp. 2222 – 2227.

จักรกฤษณ์ นรมิตผดุงการ และ ทวี สวนมาลี. (2519). ความสามารถในการด้านการเงินของเทศบาล
กรณีของเทศบาลนครกรุงเทพ ก่อนเปลี่ยนแปลงเป็นกรุงเทพมหานคร, **วารสารพัฒนา
บริหารศาสตร์**, 16, เมษายน 2519, หน้า 231 – 254.

(2) บทความจากเอกสารประกอบการประชุม (Proceedings)

Kato, S. and Widiyanto, A. (2001). Environmental Impact Assessment of Various Power
Generation Systems, **paper presented in the Tri-University International
Joint Seminar & Symposium 2001**, Chiang Mai, Thailand.

มารุต บุรพา, ญัฐนี วรยศ และทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2551). โมเดลอย่างง่ายของการทำ
น้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพเสริม, **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงาน
ทดแทน สู่ชุมชนแห่งประเทศไทย**, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

(3) รายงานทางวิชาการ / รายงานวิจัย

Division of Technical Services and Planning. (2003). **Chiang Mai City Municipality.
Annual Report.**

จุฬาร โชติช่วงนิรันดร์, นลินี ตันธวนิตย์ และปัทมา เพ็ชรสิงห์. (2529). **รายงานการวิจัยเรื่อง
ประวัติศาสตร์หมู่บ้านคำม่วง, โครงการวิจัยระบบการทำฟาร์ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 54 – 57.**

พรพิมล เกลิมพลานภาพ. (3535). **พฤติกรรมแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการสื่อสาร
ของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วารสารศาสตร์
มหาบัณฑิต คณะวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.**

(4) หนังสือ

Myers, R.H. and Montgomery, D.C. (1995). **Response Surface Methodology: Process and
product optimization using designed experiments**, New York: John Wiley &
Sons,.

Goswami, Y.D., Kreith, F. and Kreider, J.F. (1999). **Principles of Solar Engineering, 2nd
edition**. ISBN: 1-56032-714-6, Philadelphia: Taylor & Francis,

วิบูล วิจารณ์ และกนกนาถ ชูปัญญา. (2525). **เคมีคลินิก. กรุงเทพฯ: โครงการตำราศิริราช
คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล.**

(5) เว็บไซต์

Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy,
Thailand. (2004). **Statistic Data**, [online]. Available HTTP: <http://www.dede.go.th>,
access on 24/04/2010.

Carranza, L. E. (1994). Le Corbusier and the problems of representation. **Journal of
Architectural Education** [Online], 48(2). Available HTTP:[http://www.mitpress.
mit.edu/jrnls-catalog/arched-abstracts/File:jae48-2.html](http://www.mitpress.mit.edu/jrnls-catalog/arched-abstracts/File:jae48-2.html) on 24/04/2010.

บริษัท ไอทีวี จำกัด (มหาชน). (2542). **เรื่องราวของไอทีวี**, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา
<http://www.itv.co.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 24/04/2553.

ตัวอย่างการอ้างอิงในเนื้อหา

(สุวิมล ตีรakanันท์, 2553) (Tirakanan, S., 2011)

ตัวอย่างการแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

1.1 ตัวอย่างการอ้างอิงที่เป็นหนังสือ

สุวิมล ตีรakanันท์. (2553). การวิเคราะห์ตัวแปรพหุในงานวิจัยทางสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Tirakanan, S. (2011). *Multivariate variables analysis in social science research*. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House. (in Thai)

1.2 ตัวอย่างการอ้างอิงที่เป็นบทความ

ปาน จินดาพล. (2557). การเป็นเจ้าของกิจการกับทัศนคติต่อความเสี่ยง. *วารสารนักบริหาร*, 34(1), 130-135.

Jindapon, P. (2014). Entrepreneurship and risk attitudes. *Executive Journal*, 34(1), 130-135. (in Thai)

สุวรรณ ลัคนวณิช. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล พฤติกรรมการใช้ชีวิต และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของ นักศึกษาที่ใช้ชีวิตในที่พักเอกชน ย่านรังสิต จังหวัดปทุมธานี. *BU Academic Review*, 13(1), 13-16.

Luckanavanich, S. (2014). Personal relationship, living behaviors, and academic achievement of university students in the private residence, rangsit area, Pathumthani. *BU Academic Review*, 13(1), 13-16. (in Thai)

1.3 ตัวอย่างการอ้างอิงข้อมูลจากเว็บไซต์

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2556). สถานการณ์การท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศเข้าในปี 2555. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php เข้าดูเมื่อวันที่ 09/02/2557

Tourism Authority of Thailand. (2013). *Inbound foreign tourists situation in 2012*. [online]. Available http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php. access on 09/02/2014. (in Thai)

**** ท่านสามารถดาวน์โหลดรูปแบบบทความได้ที่ <http://www.journal.itech.lpru.ac.th>
หรือ ติดต่อสอบถามที่ **ผู้ประสานงาน** : ผู้ช่วยศาสตราจารย์อติมา คุณยศยิ่ง โทร 0 54237 399 ต่อ 1339
Tel. : 08 0502 8598 E- mail: journalitech@gmail.com ****

ปรับปรุงเมื่อ 10 มกราคม 2562