

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
Industrial Technology
Lampang Rajabhat University Journal

วารสารกลุ่มที่ 1 ฐานข้อมูล TCI

ค่า Thai-Journal Impact Factors (T-JTF)

ปี 2560 : 0.426

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม 2561 – ธันวาคม 2561

ISSN 1906-5337

I-TECH JOURNAL LPRU



Industrial Technology
www.i-techjournal.com

คณะกรรมการและกองบรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง

เจ้าของ	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง
ที่ปรึกษา	อธิการบดี รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ คณบดี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
บรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อานาจกิติกร
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ สมุทรารักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธิดา คุณยศยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิเชษฐ ยัมละมัย

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก Peer Review)

ศ.เกียรติคุณ เสริมศักดิ์	นาคบัว	มหาวิทยาลัยศิลปากร	รศ.	สมชาย	ชื่นวัฒนาประณีติ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ศ.ดร. ก้องกิติ	พสุสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	รศ.	สมพงษ์	บุญเลิศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ศ.ดร. ตริต	เหล่าศิริหงษ์ทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ.	สายัณห์	จันทร์วิรัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ศ.ดร. ทนงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	รศ.	สุมาลี	อุณหวนิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ศ.ดร. ธนารักษ์	ธีระมันคง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์				พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศ.ดร. ปริญญา	จินดาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	รศ.	สุวิษ	บุตรสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร. ผดุงศักดิ์	รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ.	อายุวัฒน์	สว่างผล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ศ.ดร. สุพล	อนันดา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร.	เกรียงศักดิ์	เขียวมั่ง	มหาวิทยาลัยบูรพา
ศ.ดร. อภิรัฐ	ศิริธาวัต	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ผศ.ดร.	จิรพัฒน์	วณิชวัฒนาโกศล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. กวิน	สนธิเพิ่มพูน	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	ผศ.ดร.	นิพนธ์	เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รศ.ดร. ชิตชัย	อนันตเศรษฐ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร.	นิวัตร	พัฒน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รศ.ดร. ช่วงโชติ	พันธุ์เวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	ผศ.ดร.	ศศิธร	คนทน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร. ครุณี	วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	ผศ.ดร.	ศักดิ์พล	เทียนเสมอ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. ถาวร	สารวิทย์	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	ผศ.ดร.	สมชาย	มนิวรรณ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รศ.ดร. ธีรศิลป์	ทุมวิภาดา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ผศ.ดร.	สุธี	วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
รศ.ดร. นกมล	อุทัยภักดี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	ผศ.ดร.	อภิชาติ	แจ้งบำรุง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร. นพมณี	โทปญญานนท์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	ผศ.ดร.	ภุพงษ์	พงษ์เจริญ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รศ.ดร. นัฐพร	ไชยญาติ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน				

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน)

รศ.ดร. ปรงศักดิ์	อัมพพ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	ศ.	จำเนียร	นันทดิลก	
รศ.ดร. พิระวุฒิ	สุวรรณจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	รศ.ดร.	นันทะ	บุตรน้อย	
รศ.ดร. พงศ์	หรรดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	ผศ.ดร.	กิตติศักดิ์	สมุทรารักษ์	
รศ.ดร. มนตรี	ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ผศ.ดร.	อนิรุจน์	มะโนธรรม	
รศ.ดร. วัฒนพงศ์	รักษิวิเชียร	มหาวิทยาลัยพะเยา	ผศ.	พงษ์สวัสดิ์	อานาจกิติกร	
รศ.ดร. วัฒนวงศ์	รัตนวราห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	Mr.	Richard	Lawrence Mann	
รศ.ดร. วิชัย	แหวนเพชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร				
รศ.ดร. สรา	อาภรณ์	มหาวิทยาลัยมหิดล	ผศ.	ธิดา	คุณยศยิ่ง	ฝ่ายประสานงานทั่วไป
รศ.ดร. เอกรัฐ	บุญเชียง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.	วิเชษฐ	ยัมละมัย	ฝ่ายออกแบบงานศิลป์
รศ. นิลวัฒน์	พัฒนพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง	ผศ.ดร.	วศินวิโรจน์	เนติศักดิ์	ฝ่ายออกแบบงานศิลป์
รศ. บุญชัด	เนติศักดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง	ผศ.	นราธิป	วงษ์ปัน	ฝ่ายวารสารออนไลน์
รศ. ยืน	ถาวรธรรม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	นาง	วรัญญา	ดวงแก้ว	ฝ่ายธุรการและการเงิน
รศ. วิชัย	พลฤทธิธรรมา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	นางสาว	กมลชนก	ธนาแก้ว	ฝ่ายจัดเตรียมต้นฉบับ
รศ. วิชัย	ฤกษ์ภูริทัต	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์				

วัตถุประสงค์ : เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

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

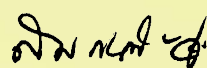
เว็บไซต์วารสาร : <http://www.journal.itech.lpru.ac.th>

Industrial Technology
www.lpru.ac.th/industrialtech

สารจาก อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ด้วยความมุ่งมั่นและความตั้งใจของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ในการดำเนินการจัดทำวารสารวิชาการ เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และได้รับการรับรองคุณภาพ จากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) (กลุ่มที่ 1) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2558 - 2562 และมีค่า Thai-Journal Impact Factors (T-JTF) ปี 2560 : 0.426 แสดงถึงมาตรฐานและคุณภาพของวารสารวิชาการ รวมทั้งมีการสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการในระดับมหาวิทยาลัย ในการพัฒนาวารสารวิชาการให้เข้มแข็งและเป็นการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิชาการ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่บูรณาการเข้ากับวิถีภูมิปัญญาท้องถิ่นและเป็นการสร้างสรรค์ผลงานใหม่ และเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศต่อไป อย่างยั่งยืน

ในโอกาสนี้ ขออวยพรให้วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ประสบความสำเร็จและก้าวเข้าสู่ปีที่ 12 อย่างเต็มภาคภูมิ เพื่อผลิตผลงานคุณภาพเช่นนี้ต่อไป

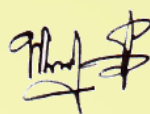


รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ สายธนู
อธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารจาก บรรณาธิการ

การจัดทำวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม 2561 – ธันวาคม 2561 มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ และประชาสัมพันธ์ ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และผลการดำเนินงานของคณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ซึ่งได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง จนเข้าสู่ปีที่ 12 ได้รับการรับรองคุณภาพจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) (กลุ่มที่ 1) สาขาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ประจำปี 2558 - 2562 และมีค่า Thai-Journal Impact Factors (T-JTF) ปี 2560 : 0.426 อย่างไรก็ตามคณะทำงานมีความมุ่งมั่น และตั้งใจ ที่จะพัฒนาคุณภาพวารสารให้ได้มาตรฐาน ของวารสารที่ได้รับการยอมรับในระดับอาเซียนต่อไป

ในจากผลการดำเนินการของวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ราชภัฏลำปาง ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 มีบทความได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ เป็นบทความภายใน จำนวน 2 เรื่อง บทความภายนอก จำนวน 8 เรื่อง รวมจำนวน 10 เรื่อง ตลอดระยะเวลา 11 ปี ที่เป็นสื่อกลางในการตีพิมพ์ เผยแพร่บทความวิชาการและผลงานวิจัย ของนักวิชาการ คณาจารย์ และนักวิจัย ในศาสตร์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจนเป็นที่รู้จักและยอมรับ ในวงวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งมีการสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการในระดับ มหาวิทยาลัย ในการพัฒนาวารสารวิชาการให้เข้มแข็ง ทำให้คณะทำงานมีกำลังใจ ในการพัฒนา คุณภาพวารสารวิชาการให้ดียิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยี ของประเทศไทยให้ดียิ่งขึ้นอย่างยั่งยืน



ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนาคิตกร

บรรณาธิการ วารสารวิชาการ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารบัญ

สารจากอธิการบดี

สารจากบรรณาธิการ

หน้า

การปรับปรุงการค้นหาเฉพาะถิ่นโดยใช้วิธีอัตราส่วนของคำในวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งสำหรับปัญหาการจ่ายโหลตัวอย่างประหยัด จิรพันธ์ ทาแกง และวันไชย คำแสน	1
การหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการทางโลจิสติกส์ กรณีศึกษาการจัดลำดับเส้นทางการขนส่ง และกระบวนการทำงาน ณัฐญา ล่อเจริญศักดิ์, พีรพล สวัสดิ์ताल, นคร ไชยวงศ์ศักดิ์, ประเวศ อนันต์เอื้อ, ขวัญเรือน สนิตรงค์, วัชร วัชรารวี, ชยากร พุทธกำเนิด และเสกสรรค์ วินยวงศ์กุล	14
การประยุกต์ใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ การเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ณิชา นภาพร จงกะสิกิจ	29
การจำลองสถานการณ์เพื่อวางแผนในการเติมเต็มของหน่วยจ่ายผ้ากลาง โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ นิติพัฒน์ เหล่ามงคลชัยศรี, วนัฐมพงษ์ คงแก้ว และนิกร ศิริวงศ์ไพศาล	40
ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพของการสอนของอาจารย์ ด้วยการวิเคราะห์ฐานข้อมูลด้านวิชาการแบบหลายมิติ ไพจิตร สุขสมบูรณ์ และนพนันท์ สุขสมบูรณ์	54
การหาอัตราการแข่งขันของขนุนโดยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดระบบสุญญากาศ เรวัฒน์ คำวัน, สุรสิทธิ์ เทียงจันทา และสวัสดิ์ กี่ไสย	68
วิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก สำหรับการผลิตกำแพงกันดิน คอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ศรัยวรรณ ฤกษ์ฤทธิ์ และศรายุทธ มาลัย	78

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ลักษณะเฉพาะของยางรักใหญ่และการยึดติดบนพื้นผิวเซรามิก สมศักดิ์ บุญแจ้ง	91
The Role of Water in the Synthesis of Fly Ash-Based Geopolymer <i>Hongsheng Cheng, Darunee Wattanasiriwech and Suthee Wattanasiriwech</i>	102
Influences of Welding Speed and Speed of Pin Tool Rotation from Semi-Solid State Joining of Aluminum Alloy SSM 5083 Covered by CO ₂ Gas <i>Thongchai Khruaphue, Parinyawatr Dhinnabutra, Sumpao Yotee and Prapas Muangjunburee</i>	113
ภาคผนวก	123
ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการ	125

การปรับปรุงการค้นหาเฉพาะถิ่นโดยใช้วิธีอัตราส่วนทองคำ
ในวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง
สำหรับปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด
Improvement of Local Search for the Problem of Economic
Dispatch using the Golden Section Ratio
in the Bee Colony Optimization Method

จิรพนธ์ ทาแกง^{1*} และวันไชย คำแสน²

Chiraphon Takeang^{1*} and Wanchai Khamseen²

^{1,2}สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

200 หมู่ 17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง โทรศัพท์: 0 5434 2547 ต่อ 160 E-mail: su0008@hotmail.com,

wanchai_kh@rmutl.ac.th

^{1,2}Electrical Engineering Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

200 Moo 17, Pichai Sub-District, Muang District, Lampang Tel. +66 5434 2547 ext. 160

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงการค้นหาเฉพาะถิ่นโดยใช้อัตราส่วนทองคำในวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งเพื่อแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด โดยการปรับเปลี่ยนกระบวนการในการเคลื่อนที่เพื่อหาแหล่งอาหารใหม่ของฝูงผึ้ง จากเดิมที่ต้องสุ่มค่าองค์ประกอบตัวคูณซึ่งทำให้ผลของคำตอบค่อนข้างที่จะกระจายเป็นวงกว้าง การปรับปรุงกระบวนการนี้จะใช้วิธีการค้นหาอัตราส่วนทองคำเข้าไปเป็นองค์ประกอบตัวคูณในสมการการเคลื่อนที่ของฝูงผึ้งแทนขั้นตอนของการสุ่ม และดำเนินการหาคำตอบต่อไป โดยพิจารณาความต้องการของระบบไฟฟ้า ค่าสูญเสียในสายส่ง และเงื่อนไขข้อบังคับต่าง ๆ ของระบบ การจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB และทดสอบกับ 2 กรณีศึกษาบนระบบมาตรฐานที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 หน่วย และ 6 หน่วย และได้ทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอกับวิธี BCO แบบดั้งเดิม HLBCO และ MSA โดยทำการเปรียบเทียบในแง่ของประสิทธิภาพของคำตอบ และความเร็วในการหาคำตอบจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่นำเสนอมีวิธีการแก้ปัญหาที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาด้านคุณภาพของคำตอบ คุณลักษณะของการหาคำตอบ และความเร็วในการค้นหาคำตอบ โดยในกรณีที่ 1 วิธีการที่นำเสนอใช้จำนวนรอบในการคำนวณเฉลี่ยที่ 256.8 รอบ ซึ่งเร็วกว่าปกติร้อยละ 59 และมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ 1957.48 ในกรณีที่ 2 วิธีการที่นำเสนอใช้จำนวนรอบในการคำนวณเฉลี่ยที่ 145.9 รอบ ซึ่งเร็วกว่าปกติร้อยละ 33.27 และมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ 15439.51

คำสำคัญ : อัตราส่วนทองคำ, การจ่ายโหลดอย่างประหยัด, การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง

Abstract

This article provides a way to improve local search using the golden section ratio in the bee colony optimization method for the problem of economic dispatch. This modification adjusts the movement process to find new sources of bee feed. From the original, the multiplication factor has to be multiplied, which results in a fairly wide distribution. This process of refinement uses the gold ratio as a multiplicative component in the equation of motion of the bee population instead of the random step. Operations will consider power system requirements, transmission line losses, and regulatory conditions. The MATLAB program was used for simulation and testing with 2 standard case studies consisting of 3 generators and 6 units. Testing to evaluate the effectiveness of the methods presented used traditional BCO, HLBCO and MSA methods. Comparisons were made in terms of response efficiency and convergence speed. From the results of the tests it can be concluded that the proposed method provides a valid and effective solution to solve the problem of the quality of the answer- the convergence feature. In case 1, the proposed method calculated the average number of rounds was 256.8- 59 per cent faster than usual- with the lowest cost at 1957.48. In case 2, the proposed method calculated the average number of rounds was 145.9 rounds- 33.27 per cent faster than usual- with the lowest cost at 15439.51.

Keywords : Golden Section Ratio, Economic dispatch, Bee Colony Optimization

1. บทนำ

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (economic dispatch Problem; ED) เป็นปัญหาที่สะท้อนถึงผลลัพธ์ทางไฟฟ้าที่ดีที่สุด ปัญหา ED เป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการพลังงานไฟฟ้าในระบบโดยที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ ปัญหา ED ถือเป็นเรื่องพื้นฐานในการดำเนินงานของระบบไฟฟ้า วัตถุประสงค์หลักที่สำคัญของ ED คือการเพิ่มประสิทธิภาพ และลดต้นทุนการผลิตรวม โดยอยู่บนเงื่อนไขข้อบังคับของระบบ การแก้ปัญหา ED ได้มีความพยายามในการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหามากมายโดยหลัก ๆ แล้วสามารถแบ่งกลุ่มได้เป็น 2 กลุ่ม คือ วิธีการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical method) และวิธีเมต้า-ฮิวริสติกส์ (Meta-Heuristics) วิธีการทางคณิตศาสตร์นั้น เป็นวิธีการแบบเดิมซึ่งอาศัยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ยกตัวอย่าง เช่น การทำซ้ำแบบแลมด้า (Lambda Iteration) เป็นวิธีอาศัยหลักการเท่ากันของต้นทุนที่เพิ่มขึ้น (Incremental

Cost) วิธีเกรเดียน (Gradient Method) วิธีนิวตัน (Newton's Method) วิธีการประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน ส่วนของเส้นตรง (Piecewise Function) แต่วิธีเหล่านี้เป็นเพียงการหาค้นหาคำตอบเฉพาะถิ่น (local search) เท่านั้น อีกทั้งยังไม่สามารถพิจารณาข้อจำกัดของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย และเมื่อไม่นานมานี้ได้มีความพยายามในการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการสมัยใหม่ โดยการเลียน การพฤติกรรมของพืช สัตว์ หรือพัฒนาการของสิ่งใดสิ่งหนึ่งในธรรมชาติ วิธีการใหม่นี้เรียกว่าวิธีการ เมต้า-ฮิวริสติกส์ ตัวอย่าง เช่น การจำลองการอบเหนียวของโลหะ (Simulated Annealing: SA) (Ismail Ziane, Farid Benhamida, Yacine Salhi and AmelGraa, 2015) ที่แก้ปัญหา ED ด้วยการ จำลองการอบเหนียวของโลหะ โดยเลียนแบบการลดลงของอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิที่ลดลงต่ำสุด, การค้นหาแบบตาบู่ (Tabu Search: TS) (Bakhta Naama, Hamid Bouzeboudja, Ahmed Allali, 2013) เป็นวิธีการแก้ปัญหา ED ด้วยกลยุทธ์ในการป้องกันการกลับมาที่คำตอบเดิมโดยจะจดจำ คำตอบที่ผ่านมาไว้และป้องกันไม่ให้เกิดการค้นหาคำตอบกลับมาที่คำตอบเดิม วิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) (N. Javidtash, A. Davodi, M. Hakimzadeh and A. Roozb, 2014) เป็นการแก้ปัญหา ED โดยเลียนแบบวิธีการทางพันธุกรรม เช่น การคัดเลือกสายพันธุ์ การสืบพันธุ์ (Reproduction) การผสมยีน (Crossover) กกับการกลายพันธุ์ (Mutation) และนำไปประเมินความ เหมาะสมด้วยฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function), วิธีฝูงมด (Ant Colony Optimization: ACO) (Pirmahamad Jamalbhai Vasoala, Chinmay Y. Jani, Vasim H. Ghanchi and Parth Harshad Kumar, 2014) วิธีนี้เลียนแบบการเดินทางเพื่อหาอาหารของมดที่ใช้ระยะทางที่สั้นที่สุด ด้วยการปล่อยฟีโรโมน ในเส้นทางที่มีฟีโรโมนมากที่สุดจะเป็นเส้นทางที่ใกล้ที่สุดนั่นเอง, วิธีอนุภาค กลุ่ม (Particle Swarm Optimization: PSO) (K. Srikanth and V. HariVamsi, 2016) วิธีนี้เป็นการ แก้ปัญหา ED โดยจะเลียนแบบการหาอาหารของฝูงสัตว์ เช่น ฝูงปลา ฝูงนก วิธีแบบฝูงผึ้ง (Bee Colony Optimization: BCO) (Dinu Calin Secui, 2015), (Takeang C. and Khamsan W., 2016) วิธีนี้เป็นการแก้ปัญหา ED ที่เลียนแบบการหาอาหารของฝูงผึ้ง แหล่งอาหารที่มีน้ำผึ้งมากที่สุดจะ เปรียบได้กับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดนั่นเอง วิธีการเหล่านี้สามารถที่จะให้คำตอบที่เป็น global ได้ แต่ทุกวิธีที่กล่าวมายังคงมีปัญหที่สามารถแก้ไขได้ นั่นคือทุกวิธีอาจจะลู่เข้าหาคำตอบได้ช้า และให้คำตอบที่หลงเข้าไปเป็นคำตอบที่เป็น local ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม ซึ่งมีความแตกต่างกัน ในวิธีเมต้า-ฮิวริสติกส์ที่กล่าวมา มีวิธีการหนึ่ง นั่นคือวิธีการหาคำตอบ ที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง วิธีนี้คิดค้นโดย Karaboga ในปี 2005 (D. Karaboga, 2005) ได้รับแรง บันดาลใจจากพฤติกรรมการหาอาหารแบบอัจฉริยะของฝูงผึ้ง เป็นวิธีที่มีโครงสร้างง่าย ใช้ตัวแปร ไม่มาก ในงานวิจัยนี้จะมีการแบ่งฝูงผึ้งออกเป็น 2 ฝูง ประกอบด้วย Scout Bees และ Employed Bees ฝูงผึ้งทั้งหมดจะมีการจัดการตนเองอย่างชาญฉลาด และแบ่งแรงงานออกเพื่อปฏิบัติงาน เช่น ค้นหาอาหาร แบ่งปันข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งอาหารเป็นต้น ตำแหน่งของแหล่งอาหารนั้น

จะหมายถึงทางออกที่เป็นไปได้สำหรับปัญหาที่ต้องการหาคำตอบ จำนวนน้ำหวานของแหล่งอาหารจะสอดคล้องกับคุณภาพและความถูกต้องของคำตอบ อย่างไรก็ตาม วิธีการแบบฝูงผึ้งเมื่อนำมาใช้แก้ปัญหา ED พบว่ายังมีข้อบกพร่องบางอย่างที่ขัดขวางประสิทธิภาพการทำงานของมัน แม้จะเป็นวิธีการที่ดีในการค้นหาคำตอบ แต่ในขณะเดียวกันการลู่เข้าหาคำตอบกลับเป็นไปอย่างช้า ๆ และคำตอบที่ได้ก็มีโอกาสที่จะเป็นคำตอบแบบ local

ดังนั้นการเร่งความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบ และหลีกเลี่ยงคำตอบที่เป็น local จึงกลายเป็นเป้าหมายที่สำคัญในการวิจัยในครั้งนี้ โดยการวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาการเคลื่อนไหวของฝูงโดยใช้วิธีการค้นหาแบบท้องถิ่น (local search) ที่เรียกว่าวิธีการอัตราส่วนสีทอง (Golden Section Ratio) (Press WH., Teukolsky SA., Vetterling WT. and Flannery BP., 2007) เพื่อนำมาใช้แก้ปัญหา ED ให้สามารถเร่งความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบ และได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อปรับปรุงกระบวนการของ BCO อัลกอริทึมให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

2.2 เพื่อป้องกันคำตอบที่เป็น local ด้วยวิธีการอัตราส่วนสีทองในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

3. ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch Problem)

การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบสแตติก เป็นการวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อบังคับต่าง ๆ ของระบบโดยมีฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) (All J. Wood and Bruce F. Wollenberg, 1996) ดังสมการที่ (1)

$$\text{Minimize : } TC = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (1)$$

โดยที่ TC คือ ต้นทุนรวมในการผลิตกำลังไฟฟ้า i คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i , N คือจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบทั้งหมด, $F_i(P_i)$ คือ ต้นทุนของเชื้อเพลิงการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

3.1 ลักษณะของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โดยทั่วไปฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ (Smooth Cost) และแบบไม่เรียบ (Non-Smooth Cost) ในส่วนของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเรียบนั้น

จะมีลักษณะของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันกำลังสอง (Single Quadratic Function) (All J. Wood and Bruce F. Wollenberg, 1996) ดังสมการที่ (2)

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (2)$$

โดยที่ a , b และ c คือสัมประสิทธิ์ราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า P คือกำลังไฟฟ้าจ่ายออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i

3.2 เงื่อนไขบังคับ (Constraint) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1) ข้อจำกัดกำลังไฟฟ้าสมดุลของระบบ (Power Balance Constraint) คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับผลรวมของความต้องการปริมาณไฟฟ้า (Demand) กับกำลังสูญเสียรวมในระบบส่งจ่าย (Power Losses) ดังสมการที่ (3) และสมการที่ (4) (All J. Wood and Bruce F. Wollenberg, 1996)

$$\sum_{i=1}^N (P_i) = P_D + P_{loss} \quad (3)$$

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j + \sum_{j=1}^N B_{0j} P_j + B_{00} \quad (4)$$

โดยที่ P_i คือ กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i , P_D คือกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการ, P_{loss} คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่ง B_{ij} , B_{0i} และ B_{00} คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียของสายส่ง

2) ข้อจำกัดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Rating Constraint) (All J. Wood and Bruce F. Wollenberg, 1996) คือ กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละเครื่องต้องอยู่ในขีดจำกัดกำลังการผลิตต่ำสุดและสูงสุดดังสมการที่ (5)

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (5)$$

โดยที่ $P_{i,min}$ และ $P_{i,max}$ คือกำลังการผลิตต่ำสุดและสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

4. วิธีการดำเนินการ

ในการดำเนินงาน ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน คือศึกษาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งและปรับปรุงกระบวนการของวิธีฝูงผึ้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยวิธีฝูงผึ้ง (Economic Dispatch Problem Using Bee Colony Optimization) (Takeang C. and Khamsan W., 2016)

วิธีการหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีฝูงผึ้ง เป็นวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่เลียนแบบพฤติกรรมกรรมการหาน้ำหวานของผึ้ง โดยผึ้งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ผึ้งสอดแนม (Scout Bee)

และผึ้งงาน (Employee Bee) เพื่อค้นหาคำตอบ ในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ของฝูงผึ้ง ประกอบด้วยจำนวนผึ้งสอดแนม n ค่าที่ดีที่สุดจำนวนเท่ากับ m ค่าที่ดีที่สุดเท่ากับ e และกำหนดค่าของจำนวนผึ้งงานจำนวน n_{ep} ตัว ให้เข้าไปค้นหาอย่างละเอียดที่ e และกำหนดค่าของจำนวนผึ้งงานจำนวน n_{sp} ตัว ให้ไปค้นหาในส่วนของ $m-e$

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มค่าเริ่มต้นของระบบให้ผึ้งสอดแนม โดยค่าที่สุ่มนั้นจะต้องอยู่ในเงื่อนไขต่าง ๆ ที่กำหนด เช่น Power Balance Constraint และ Operating Limit Constraint โดยใช้สมการที่ (6)

$$P_i = P_{i,\min} + ((P_{i,\max} - P_{i,\min}) \times \text{rand}(0,1)) \quad (6)$$

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินผลของคำตอบจากผึ้งสอดแนม โดยนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาเรียงคำตอบจากน้อยไปหามากจำนวน n ค่า ซึ่งก็คือมีจำนวนเท่ากับจำนวนผึ้งสอดแนมที่ส่งออกไปหาแหล่งน้ำหวานจำนวน n ตัว

ขั้นตอนที่ 4 เลือกคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน m คำตอบ หลังจากประเมินค่าคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ซึ่งขณะนี้จะได้ค่าของคำตอบทั้งหมด n คำตอบและมีการเรียงลำดับไว้ จากนั้นเลือกค่าของคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน m คำตอบ ซึ่งคำตอบที่ได้จะนำไปพิจารณาในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 แบ่งคำตอบออกเป็น 2 ชุดคือคำตอบที่ดีที่สุด e คำตอบจากจำนวน m และคำตอบที่ตรงลงมาจากจำนวน $m-e$ เพื่อจะได้กำหนดจำนวนผึ้งงานในการเข้าไปค้นหาคำตอบต่อไปตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีการกำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 6 ให้ผึ้งงานออกหาน้ำหวานรอบ ๆ แหล่งที่เลือกไว้ คือ e และ $m-e$ โดยผึ้งงานเข้าไปหาคำตอบบริเวณโซนของคำตอบสองกลุ่มที่ได้แบ่งไว้ในขั้นตอนที่ 5 โดยผึ้งงานจำนวน n_{ep} ตัว ไปค้นหาคำตอบรอบ ๆ e และให้ผึ้งงานจำนวน n_{sp} ตัว ออกไปหาคำตอบรอบ ๆ $m-e$ ในขั้นตอนนี้การเคลื่อนที่ของฝูงผึ้งงานจากแหล่งอาหารเดิมไปยังแหล่งอาหารใหม่จะเป็นไปตามสมการที่ 7

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (7)$$

เมื่อ v_{ij} คือตำแหน่งอาหารใหม่ x_{ij} คือแหล่งอาหารปัจจุบัน, x_{kj} เป็นแหล่งอาหารจากการสุ่มเลือกจากประชากร, ϕ_{ij} เป็นองค์ประกอบตัวคูณจากการ random มีค่า $-1 \leq \phi_{ij} \leq 1$ ซึ่งจะทำให้การ random ใหม่ทุกครั้งถูกรอบการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 7 ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการหาคำตอบพื้นที่ใกล้เคียงจากทั้งสองแหล่งคือผึ้งงานที่เข้าค้นหาคำตอบจากจำนวนคำตอบที่ดีที่สุด e และผึ้งงานที่เข้าค้นหาคำตอบจาก $m-e$ คำตอบ ซึ่งการประเมินจะเป็นการนำข้อมูลของคำตอบมาเปรียบเทียบกันและเลือกเอาคำตอบที่ดีที่สุด หรือคำตอบที่ใกล้เคียงกับเงื่อนไขที่กำหนดมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบเกณฑ์เพื่อหยุดทำงาน ถ้าเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ได้ตั้งไว้เป็นจริง ให้แสดงคำตอบที่เหมาะสมที่สุด มิฉะนั้นให้กลับไปขั้นตอนที่ 2

4.2 การปรับปรุงการค้นหาเฉพาะถิ่นโดยใช้อัตราส่วนทองคำในวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง

การปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งโดยใช้วิธีการค้นหาเฉพาะถิ่นที่ชื่อว่าอัตราส่วนสีทองนั้น วิธีนี้ได้ถูกนำมาใช้ในโครงสร้างพื้นฐานของการค้นหาแบบฝูงผึ้ง โดยคำตอบที่ได้จากวิธีฝูงผึ้งอาจเป็นคำตอบเฉพาะถิ่น และการเข้าสู่คำตอบก่อนจะถึงคำตอบที่ดีที่สุด วิธีการของอัตราส่วนสีทองจะช่วยให้การปรับปรุงการเข้าสู่คำตอบ โดยการปรับสมการการเคลื่อนไหวของฝูงผึ้ง ทำให้ได้คำตอบที่เป็น global วิธีการที่เสนอนี้เรียกว่า “การปรับปรุงการค้นหาเฉพาะถิ่นโดยใช้อัตราส่วนทองคำในวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง” (Improvement Local Search using Golden Section Ratio in Bee Colony Optimization: ILS-GSR-BCO) ในอัลกอริธึมที่เสนอจะแทนที่แหล่งอาหารในเบื้องต้น (สมการที่ 7) โดยใช้สมการที่ 8

$$v_{ij} = x_{ij} + F_z (x_{ij} - x_{kj}) \quad (8)$$

เมื่อ F_z คือองค์ประกอบตัวคูณเพื่อปรับค่าการสร้างแหล่งอาหารใหม่ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า a และ b โดยในการสร้างแหล่งอาหารใหม่จะถูกมองว่าเป็นขั้นตอนที่กำหนดไม่ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบตัวคูณ F_z องค์ประกอบตัวคูณเพื่อการปรับขนาดนี้เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องควบคุมเพื่อรับประกันแหล่งอาหารที่มีคุณภาพสูง ที่มีบทบาทสำคัญในฝูงผึ้งรุ่นต่อไป วิธีการค้นหาเฉพาะถิ่นถูกนำไปใช้กับ F_z เพื่อควบคุมองค์ประกอบตัวคูณซึ่งจะทำให้รับประกันได้ว่าแหล่งอาหารที่ดีมีประสิทธิภาพสูง สามารถทำได้โดยลดฟังก์ชัน $f(F_z)$ ในพื้นที่ตัดสินใจ $[-1, 1]$ ($-1 \leq \phi_{ij} \leq 1$) จากสมการที่ 7 ความหมายของปัจจัยเชิงลบคือการผกผันของทิศทางการค้นหา หากการค้นหาในทิศทางลบส่งผลให้ได้ค่าบวกที่สอดคล้องกันจะถูกกำหนดให้เป็นแหล่งอาหารสำหรับฝูงผึ้งรุ่นต่อไป

อัตราส่วนสีทองหรือการค้นหาส่วนสีทองจะถูกนำไปใช้ในการกำหนดองค์ประกอบตัวคูณเพื่อให้ได้แหล่งอาหารที่มีคุณภาพ โดยจะสร้างจุดสองจุดเพื่อกำหนดช่วงของการประมวลผลคือ $[a = -1, b = 1]$ โดยอัตราส่วนสีทองคำนวณได้จากสมการที่ 9

$$\delta = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \quad (9)$$

ค่าของ F_z คำนวณได้จากสมการที่ 10 – 11

$$F_z^1 = b - \frac{b - a}{\delta} \quad (10)$$

$$F_z^2 = a + \frac{b - a}{\delta} \quad (11)$$

ค่าที่ได้จากการประเมินค่าของ $f(F_Z^1)$ และ $f(F_Z^2)$ จะถูกนำมาเปรียบเทียบ และถ้า $f(F_Z^1) < f(F_Z^2)$ จะแทนค่า F_Z^2 ด้วย b และขั้นตอนนี้จะถูกทำซ้ำในขอบเขตการค้นหาที่น้อยกว่า a และ b

5. ผลการทดสอบ

การปรับเปลี่ยนการเคลื่อนไหวของฝูงผึ้งในการวิจัยในครั้งนี้ ทำให้เกิดการแกว่งของคำตอบ คือช่วงต่ำสุดและสูงสุดของคำตอบมีช่วงแคบลง เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอ นั้น จะทำให้การเคลื่อนไหวของฝูงผึ้งเป็นไปอย่างมีแบบแผน ทำให้ค้นหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ

กรณีศึกษาที่ 1 กรณีศึกษานี้เป็นระบบง่าย ๆ ที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เครื่อง และมีความต้องการใช้ไฟฟ้า 150 MW ข้อมูลระบบแสดงในตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของระบบดังอ้างอิง (Kumar, C. and Alwarsamy, T., 2012)

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 1

Unit	$P_{i,min}$	$P_{i,max}$	a_i	b_i	c_i
1	10	85	200	7.0	0.008
2	10	80	180	6.3	0.009
3	10	70	140	6.8	0.007

กรณีศึกษาที่ 2 ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อน 6 เครื่อง 26 บัส และสายส่ง 46 เส้น มีความต้องการกำลังไฟฟ้า 1263 MW คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องแสดงดังตารางที่ 2 และมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียในสายส่งดังอ้างอิง (Khamasawang, S. and Jiriwibhakorn, S., 2009)

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 2

Unit	a_i	b_i	c_i	$P_{i,min}$	$P_{i,max}$
1	0.0070	7.00	240	100	500
2	0.0095	10.0	200	50	200
3	0.0090	8.50	220	80	300
4	0.0090	11.0	200	50	150
5	0.0080	10.5	220	50	200
6	0.0075	12.0	190	50	120

5.2 ผลการจำลองสถานการณ์และการเปรียบเทียบผล

ในการจำลองใช้โปรแกรม MATLAB คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ Intel(R) Core(TM) i5 2.30 GHz แรม 8 GB บนระบบปฏิบัติการ Windows 7 ทำการรันจำนวน 100 รอบ แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณีศึกษา แต่ละกรณีศึกษาแบ่งการเปรียบเทียบผลออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีฝูงผึ้งแบบดั้งเดิม (BCO) กับวิธีที่นำเสนอ และส่วนที่ 2 เปรียบเทียบผลของคำตอบกับวิธีการแบบอื่น โดยกรณีศึกษาที่ 1 ได้ผลการจำลองดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 กรณีศึกษาที่ 2 ได้ผลดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างวิธี BCO และวิธี ILS-GSR-BCO กรณีศึกษาที่ 1

Method	Best cost	Average cost	Max. cost	Average iteration
BCO	1597.51	1597.92	1600.54	627
ILS-GSR-BCO	1597.48	1597.51	1597.56	256.8

จากตารางที่ 3 วิธี BCO จะมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 1597.51 และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1600.54 ในขณะที่วิธีการที่นำเสนอนั้นให้ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 1597.48 และค่าสูงสุดที่ 1597.57 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของคำตอบทำให้ค่าเฉลี่ยของคำตอบของวิธีการที่นำเสนอมีผลดีกว่า เนื่องจากค่าต่ำสุดและสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกัน ในส่วนของการหาค่าตอบวิธี BCO มีจำนวนรอบเฉลี่ยอยู่ที่ 627 รอบ ในขณะที่วิธีการที่นำเสนอมีจำนวนรอบเฉลี่ยอยู่ที่ 256.8 รอบ ซึ่งแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าวิธีการที่นำเสนอลู่เข้าหาค่าตอบได้อย่างรวดเร็ว โดยมีความเร็วเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 59 และค่าของคำตอบยังแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการจัดสรรกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องกรณีศึกษาที่ 1

Units	Conventional method	BCO	ILS-GSR-BCO
P_1	33.47	31.61	32.91
P_2	64.10	65.54	64.51
P_3	55.10	55.21	54.92
P_T	152.34	152.35	152.34
P_L	2.34	2.35	2.34
T_C	1599.97	1597.51	1597.48

จากตารางที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีแบบดั้งเดิม (Saadat, H., 1999) และวิธี BCO จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอมีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมอยู่ที่ 1597.48 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า

วิธีที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองวิธี จึงถือได้ว่าวิธีการที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ของคำตอบเป็นไปในทางที่ดี ทำให้เชื่อได้ว่าวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ใช้ได้ผลจริง

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบระหว่างวิธี BCO และวิธี ILS-GSR-BCO กรณีศึกษาที่ 2

Method	Best cost	Average cost	Max. cost	Average iteration
BCO	15439.88	15441.69	15445.54	438.5
ILS-GSR-BCO	15439.51	15440.38	15441.47	145.9

จากตารางที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบผลการหาคำตอบของค่าใช้จ่ายรวมในการผลิต ในกรณีศึกษาที่ 2 โดยวิธี BCO มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 15439.88 และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 15445.54 ในขณะที่วิธีการที่นำเสนอนั้นให้ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 15439.51 และค่าสูงสุดที่ 15441.47 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของคำตอบทำให้ค่าเฉลี่ยของคำตอบของวิธีการที่นำเสนอดีกว่า เนื่องจากค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกัน ในส่วนของการหาคำตอบวิธี BCO มีจำนวนรอบเฉลี่ยอยู่ที่ 438.5 รอบ ในขณะที่วิธีการที่นำเสนอมีจำนวนรอบเฉลี่ยอยู่ที่ 145.9 รอบ มีความเร็วเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 33.27 และมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งแบบดั้งเดิม

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบการจัดสรรกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่อง กรณีศึกษาที่ 2

Units	HLBCO	MSA	BCO	ILS-GSR-BCO
P ₁	449.03	450.13	447.63	451.34
P ₂	172.48	174.80	175.58	173.76
P ₃	258.05	256.97	257.77	257.61
P ₄	137.72	139.72	136.42	137.45
P ₅	166.52	162.72	162.35	163.72
P ₆	91.37	90.72	95.35	91.24
P _T	1275.16	1275.07	1275.11	1275.12
P _L	12.16	12.07	12.10	12.12
T _C	15439.63	15439.54	15439.88	15439.51

จากตารางที่ 6 เป็นผลของการหาคำตอบของวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีผสมผสานแลมด้ากับวิธีฝูงผึ้ง (HLBCO) (Khamseen, W. and Chiraphon Takeang, C., 2016) วิธีการปรับเปลี่ยนวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยการจำลองการอบเหนียว (MSA) (Takeang, C., et al. 2017) และวิธีแบบฝูงผึ้ง (BCO) จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอมีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมอยู่ที่ 15439.51

ซึ่งมีค่าน้อยกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสามวิธี จึงถือได้ว่าวิธีการที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ของคำตอบเป็นไปในทางที่ดี ทำให้เชื่อได้ว่าวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ใช้ได้ผลจริง

6. สรุปผลการวิจัย

การแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยวิธีปรับปรุงกระบวนการพื้นฐานของวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งโดยใช้วิธีอัตราส่วนของค่า ซึ่งเป็นการค้นหาเฉพาะถิ่น ในกรณีศึกษาที่ 1 ประกอบด้วยเครื่องกำเนิด 3 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 2 ที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิด 6 เครื่อง และพิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากสายส่งและฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนที่มีสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธี BCO แบบดั้งเดิมจะเห็นได้ว่าวิธีที่นำเสนอนั้นให้ค่าของคำตอบที่ดีกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบกับโดยระยะทางช่วงต่ำสุดและสูงสุดของคำตอบมีความใกล้เคียงกัน สามารถกล่าวได้ว่าคำตอบที่ได้จะไม่หลุดไปเป็นคำตอบเฉพาะถิ่น และค่าเฉลี่ยของคำตอบมีค่าใกล้เคียงกับค่าของคำตอบที่ต่ำที่สุดอีกประเด็นหนึ่ง คือความเร็วในการหาคำตอบ วิธีการที่นำเสนอให้ผลค่อนข้างชัดเจนว่าการหาคำตอบและกระบวนการประเมินผลมีความเร็วกว่าวิธีการ BCO แบบดั้งเดิม ในส่วนที่ 2 ได้ทำการเปรียบเทียบกับวิธี การคำนวณแบบดั้งเดิม วิธี HLBCO วิธี MSA และวิธี BCO วิธีการที่นำเสนอให้ค่าของคำตอบที่ดีกว่าอันเนื่องมาจากองค์ประกอบตัวคูณที่ควบคุมให้ฝูงผึ้งหาคำตอบได้ดีกว่าเดิม ซึ่งค่าที่ได้นี้เป็นที่ยอมรับได้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตกำลังงานไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพได้

7. เอกสารอ้างอิง

- Bakhta Naama, Hamid Bouzeboudja, Ahmed Allali. (2013). Solving the Economic Dispatch Problem by Using Tabu Search Algorithm, **TerraGreen 13 International Conference 2013 - Advancements in Renewable Energy and Clean Environment**, Energy Procedia 36, pp. 694-701.
- Chiraphon Takeang and Wanchai Khamsan, (2016). Solving Economic Dispatch Problem of a Thermal Power Plant Using Bee Colony Optimization Technique, **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**, 9(2), 1-10. (in Thai)
- Chiraphon Takeang, Wanchai Khamsan and Apinan Aurasopon. (2017). Modified simulated annealing Optimization for Solving Economic Dispatch Problem with

Ramp Rate Limit and Prohibited Operating Zone, **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**, 10(2), 1-10. (in Thai)

- C.Kumar and T.Alwarsamy, (2012). "Solution of Economic Dispatch Problem using Differential Evolution Algorithm," **International Journal of Soft Computing and Engineering**, Volume-1, Issue-6, pp. 236-241.
- Dinu Calin Secui. (2015). A new modified bee colony algorithm for the economic dispatch problem, **Energy Conversion and Management, Elsevier**, pp.43-62.
- Hardiansyah, Junaidi, Yohannes MS. (2012). Solving Economic Load Dispatch Problem Using Particle Swarm Optimization Technique, **I.J. Intelligent Systems and Applications**, November, pp. 12-18.
- H. Saadat, (1999). Power system Analysis, **McGraw-hill companies**.
- Ismail Ziane, Farid Benhamida, Yacine Salhi and AmelGraa. (2015). Combine Dynamic Economic/Emission Dispatch Using Simulated Annealing Solution, **International Conference on Systems and Control**, Sousse, Tunisia, pp. 302-309.
- K. Srikanth and V. HariVamsi. (2016). Partical Swarm Optimization Technique for Dynamic Economic Dispatch. **Internation Journal of Research in Engineering and Technology**, vol. 5, issue 5, pp. 460-466.
- N. Javidtash, A. Davodi, M. Hakimzadeh and A. Roozb. (2014). Genetic Algorithm for Solving Non-Convex Economic Dispatch Problem. **International Journal of Mathematical, Computational, Statistical, Natural and Physical Engineering**. vol. 8, no. 5, pp.866-869.
- Pirmahamad Jamalbhai Vasovala, Chinmay Y. Jani, Vasim H. Ghanchi and Parth Harshad Kumar. (2014). Application of Ant colony Optimization technique in Economic Load Dispatch Problem for IEEE-14 Bus System. **International Journal for Scientific Research & Development**, vol. 2, issue 02, pp. 990-994.
- Simona Dinu, Ioan Odagescu, Maria Moise. (2011). Environmental Economic Dispatch Optimization using Modified Genetic Algorithm. **International Journal of Computer Applications**, vol.20, April, pp.7-14.
- S. Khamsawang and S. Jiriwibhakorn. (2009). Solving the Economic Dispatch Problem using Novel Particle Swarm Optimization, **World Academy of Science, Engineering and Technology**, vol.3, 2009, pp.1053-1058.
-

Wanchai KHAMSEN, Chiraphon TAKEANG. (2016) Hybrid of Lamda and Bee Colony Optimization for Solving Economic Dispatch,” **PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY**, pp.220-223.

Industrial Technology
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

การหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการทางโลจิสติกส์ กรณีศึกษาการ จัดลำดับเส้นทางขนส่ง และกระบวนการทำงาน

Logistics Operations Optimization in Case Study to Transport Routing and Production Scheduling

ณัฐญา ล่อเจริญศักดิ์^{1*}, พีรพล สวัสดิ์ताल², นคร ไชยวงศ์ศักดิ์³, ประเวศ อนันเอื้อ⁴, ขวัญเรือน สิ้นณรงค์⁵,
วัชร วัฒนารวี⁶, ชยากร พุทธกำเนิด⁷ และเสกสรรค์ วินยางค์กุล⁸

Nuttaya Lorjalarnsak^{1*}, Peerapon Sawattaan², Nakorn Chaiwongsakda³, Prawet Anan-uea⁴,
Kwanruen Sinnarong⁵, Watchara Watanarawee⁶, Chayakorn Putakamnerd⁷ and Seksan Winyangkul⁸

^{1*,2,3,4,5,6,7,8}วิศวกรรมโลจิสติกส์ และการจัดการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

80 หมู่ 9 ถนนพหลโยธิน ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100 โทรศัพท์ 08 6604 6288

^{1*,2,3,4,5,6,7,8}Logistic Engineering and Management, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University

80 Soi 9, Tambon Ban Du, Amphoe Mueang, Chiang Rai 57100 E-mail : seksanwin@yahoo.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาแบบจำลองของปัญหาในทางโลจิสติกส์โดยปรับปรุงจากทฤษฎีที่มีอยู่ และนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาการดำเนินการในทางโลจิสติกส์อย่างเหมาะสม โดยการประยุกต์รวมทฤษฎีที่มีอยู่แล้วจำนวน 3 ทฤษฎี คือ ทฤษฎีแบ่งกลุ่ม (Cluster analysis : CA) ทฤษฎีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential evolution optimization: DEO) และทฤษฎีกำหนดการแบบพลวัต (Dynamic Programming : DP) ผู้วิจัยนำแบบจำลองนี้มาใช้ในการแก้ไขปัญหาการดำเนินงานทางโลจิสติกส์ จำนวน 2 ปัญหา คือ 1) การจัดลำดับเส้นทางขนส่ง ตัวอย่างการขนส่งนมโรงเรียน และสินค้า 2) การจัดลำดับกระบวนการทำงาน ตัวอย่างการจัดลำดับงานของร้านรับทำป้าย

ผลการวิจัยโดยการประยุกต์รวมทฤษฎีทั้ง 3 ทฤษฎี ในการแก้ไขปัญหาในการประมวลผลหาคำตอบของการจัดลำดับเส้นทางขนส่ง เมื่อนำระยะทางที่ได้จากการวิจัยมาเปรียบเทียบกับระยะทางเดิม ระหว่างก่อนทำวิจัย วิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรง และวิธีการรวมระหว่าง 3 ทฤษฎี ซึ่งผู้วิจัยได้วิเคราะห์ออกเป็นสองรูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 เมื่อแบ่งกลุ่มข้อมูลได้ ทำการจัดเรียงข้อมูลภายในกลุ่ม และค่อยเชื่อมต่อระหว่างกลุ่ม รูปแบบที่ 2 เมื่อแบ่งกลุ่มข้อมูลได้ จะทำการเชื่อมระหว่างกลุ่มข้อมูลที่จะจัดเรียงกับจุดต้นก่อนแล้วค่อยจัดเรียงข้อมูลภายในกลุ่ม ซึ่งแต่ละรูปแบบสามารถลดระยะทางจากเดิมได้ในการขนส่งนมโรงเรียน และสินค้า สามารถลดระยะทางรวมลงจากก่อนทำวิจัย และได้เส้นทางรวมที่สั้นกว่าวิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรงโดยระยะทางลดลงคิดเป็นร้อยละ 17.57 และวิธีระบบอาณานิคมคิดโดยระยะทางลดลงคิดเป็นร้อยละ 22.77 ส่วนการจัดลำดับกระบวนการทำงานร้าน

ปายพบว่าเวลาเฉลี่ยของงานในระบบของการทำงานน้อยกว่าวิธีการอื่น ๆ โดยเวลาลดลงคิดเป็นร้อยละ 3.59

คำสำคัญ : การแบ่งกลุ่ม, การวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง, กำหนดการแบบพลวัต, การจัดลำดับเส้นทาง การขนส่ง, การจัดลำดับกระบวนการทำงาน

Abstract

This research was aimed to develop a model of problems in logistics, Improved from existing theories and applied to solve problems in logistics. Applying a combination of theories, there are already 3 theories: Cluster analysis (CA). Differential evolution optimization (DEO) and Dynamic Programing (DP), the researcher used this model to solve two problems of logistics operation: 1) Transportation routing of school milks and products 2) Production Scheduling Example of Job Sequence Label shop.

The results of this research to applying a combination of 3 theories, Processing of transit response to distance from the research to compare with the original distance before doing research, Linear programming methods and the method of combining the 3 theories, which the researcher has analyzed in 2 forms: 1) segmenting data. Defragment the group. And the connection between 2) Divided into groups make a connection between the data groups that are arranged with the first point and then sort the data within the group. Each form can reduce the distance from the original transport of milk in schools. And shipping companies In Chiang Rai Can reduce the total distance from the pre-research and a shorter overall path than linear programming and ant colony system, distance decreased by 17.57% and 22.77%, Production Scheduling example of Job Sequence Label shop found that the average time of work in the system of work was less than other methods time was reduced by 3.59%.

Keywords : Cluster Analysis, Differential evolution optimization, Dynamic Programing, Transport Routing, Production Scheduling

1. บทนำ

ในการดำเนินธุรกิจหรือดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ จำเป็นต้องมีระบบการบริหารจัดการที่ดี มีการตัดสินใจที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง ให้ผลลัพธ์ตามเป้าหมายของผู้ประกอบการและเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า อาทิ ระบบการจัดการโลจิสติกส์เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการ

ของลูกค้าได้ตามเวลาที่กำหนดและประหยัดต้นทุน การจัดลำดับลูกค้าเพื่อให้เกิดผลประโยชน์สูงสุดต่อองค์กร การจัดลำดับการทำงานเพื่อให้ได้ทำงานที่สำคัญกว่าก่อน การจัดตารางวางแผนการผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ต้นทุนต่ำกว่า การจัดช่วงเวลาเพื่อให้เหมาะสมกับงาน เป็นต้น โดยเฉพาะในระบบการจัดการโลจิสติกส์ ยังคงมีปัญหามากมาย ไม่ว่าจะเป็นปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ ปัญหาการจัดส่งสินค้าให้ตรงตามเวลา (On time delivery problem) ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling salesman problem : TSP) ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (Transportation routing problem) (Mayacheaw, P., 2014) อย่างไรก็ตาม ได้มีผู้ที่นำเสนอเครื่องมือเพื่อช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับปัญหาต่างๆ ด้วยหลากหลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic) และวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristic) การศึกษาวิจัยในเรื่องของทฤษฎีในการแบ่งกลุ่ม การจัดลำดับข้อมูล ให้ง่ายต่อการหาคำตอบ ซึ่งปัจจุบันด้วยความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จะเห็นได้ว่าข้อมูลเป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์หาคำตอบต่าง ๆ เพื่อนำมาพิจารณาตัดสินใจวินิจฉัยหรือทำนายเหตุการณ์บนพื้นฐานของเหตุและผลการจัดกลุ่มข้อมูล เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยวิเคราะห์ข้อมูล (Arunchote, C., et al, 2013) เป็นการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนโดยพิจารณาความคล้ายของข้อมูล ได้มีการศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มมากมายหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งวิธีพื้นฐานที่สามารถเข้าใจง่าย คือ การจัดกลุ่มแบบเคมีน (K-mean) แต่เนื่องจากปัญหาในการหาคำตอบเกิดความยุ่งยากซับซ้อน จึงต้องใช้ทฤษฎีอื่น ๆ เข้ามาร่วมในการหาคำตอบของคำตอบ (Phalakan, B., 2014) ซึ่งทฤษฎีที่น่าสนใจมีอยู่หลากหลายไม่ว่าจะเป็นวิธีการเมตาฮิวริสติก เป็นวิธีการที่ออกแบบมาเพื่อหาคำตอบที่ดี (a good solution) สำหรับปัญหาที่ต้องการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการแก้ปัญหา ซึ่งวิธีการเมตาฮิวริสติกที่จะนำมาใช้หาคำตอบในวิจัยเรื่องนี้ ได้แก่ วิธีการการวิวัฒนาการ ซึ่งวิธีการการวิวัฒนาการนี้มีหลักการเบื้องต้นคือ อนุญาตให้คำตอบที่ได้จากการพัฒนาคำตอบเบื้องต้นมีการวิวัฒนาการตนเองสู่คำตอบในแต่ละรุ่น ด้วยกระบวนการกลายพันธุ์และแลกเปลี่ยนองค์ประกอบ (Paitakaso, R., 2014) และทฤษฎีกำหนดการพลวัต ซึ่งเป็นกระบวนการในการแก้ไขปัญหาคับซ้อนโดยการแบ่งปัญหาให้เป็นปัญหาย่อยที่สามารถแก้ได้ง่ายกว่า คุณสมบัติพื้นฐานของปัญหาที่จะใช้กำหนดการพลวัตได้คือจะต้องมีปัญหาย่อยที่ทับซ้อนกัน (overlapping subproblem) และโครงสร้างย่อยที่เหมาะสมที่สุด (optimal substructure) ปัญหาที่ใช้กำหนดการพลวัตในการแก้ปัญหาจะใช้เวลาแก้รวดเร็วกว่าการแก้ปัญหาโดยตรงเป็นอย่างมาก หลักสำคัญของกำหนดการพลวัต จำเป็นที่จะต้องแก้ปัญหาที่เล็กกว่า (ปัญหาย่อย) และนำคำตอบของปัญหาย่อยเหล่านั้นมารวมกันเป็นคำตอบของปัญหาใหญ่

ผู้วิจัยพบว่าทั้งวิธีฮิวริสติกส์ และวิธีเมตาฮิวริสติกส์ ดังกล่าวนั้น จะสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมในสถานะที่กำหนดเฉพาะของแต่ละวิธีเท่านั้น ถ้ามีจำนวนข้อมูลที่หลากหลายหรือมีจำนวนรูปแบบของปัญหาที่มากจะทำให้การคำนวณมีความยุ่งยากซับซ้อน โดยโปรแกรมจะทำ

การคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสมจากทุกจำนวนข้อมูลหรือทุกรูปแบบปัญหา ซึ่งในแต่ละปัญหาอาจจะใช้วิธีการ หรือโปรแกรมที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบค่อนข้างมาก ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสมของรูปแบบปัญหาทางโลจิสติกส์ ถ้ามีจำนวนข้อมูลของปัญหาหลายชุด แบบจำลองนี้จะทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลก่อนในขั้นตอนแรก เพื่อให้ง่ายต่อการแบ่งกลุ่มข้อมูล โดยจะไม่มีหาคำนวณข้อมูลซ้ำอีก (Paiboolworachet, J. and Kulvanich, N., 2014) การหาคำตอบโดยการแก้ปัญหาจากกลุ่มเล็กไปยังกลุ่มใหญ่ เพื่อให้การคำนวณหาคำตอบง่ายและเร็วขึ้น และสามารถหาคำตอบของปัญหาได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ผู้วิจัยจะนำแบบจำลองนี้มาใช้ในการแก้ไขปัญหาการดำเนินงานทางโลจิสติกส์จำนวน 2 ปัญหา คือ การจัดลำดับเส้นทางการขนส่งซึ่งใช้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) และการจัดลำดับการทำงาน โดยจะใช้การศึกษาในเรื่อง การจัดเส้นทางการขนส่งนมโรงเรียน การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า และการแก้ปัญหาการจัดลำดับกระบวนการทำงานร้านทำปาย เป็นการวิเคราะห์ และสร้างตัวแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหา เข้ามาช่วยวิเคราะห์ เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด ของการประยุกต์รวมทฤษฎีที่มีอยู่แล้วจำนวน 3 ทฤษฎีซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับผลของวิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรงในการจัดเส้นทางการขนส่งนมโรงเรียน และเปรียบเทียบกับวิธีอาณานิคม และวิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรงในการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า เพื่อใช้เป็นเส้นทางในการขนส่งและการจัดลำดับงานที่มีความเหมาะสม ซึ่งการเลือกเส้นทางการขนส่ง และการจัดลำดับงานที่เหมาะสมส่งผลต่อต้นทุนที่ลดลงและช่วยเพิ่มความสามารถในการสร้างผลกำไรให้กับบริษัทเพิ่มขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 พัฒนาแบบจำลองของปัญหาในทางโลจิสติกส์โดยปรับปรุงจากทฤษฎีที่มีอยู่ในการแก้ไขปัญหา การจัดลำดับเส้นทางการขนส่ง และกระบวนการทำงาน

2.2 นำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาการดำเนินการในทางโลจิสติกส์เพื่อลดระยะทาง และเวลา ในกรณีศึกษาการจัดลำดับเส้นทางการขนส่ง กระบวนการทำงาน และทำการเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองของปัญหาในทางโลจิสติกส์ที่เหมาะสมโดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีการจัดกลุ่ม (CA) การวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DEO) และ การกำหนดการแบบพลวัต (DP) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาการดำเนินงานทางโลจิสติกส์ ได้แก่ 1. การจัดลำดับเส้นทางในรูปแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) และปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing

Problems :VRP) กรณีศึกษาการจัดลำดับเส้นทาง การขนส่งนมโรงเรียน และการขนส่งสินค้า

2. การจัดลำดับการทำงาน กรณีศึกษาการทำงานการจัดลำดับงานของร้านทำป้าย

ในการศึกษาเรื่องการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการทางโลจิสติกส์ โดยวิธีการรวมระหว่าง การแบ่งกลุ่ม (CA) การวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DEO) และกำหนดการแบบพลวัต (DP) ซึ่งจะแบ่งขั้นตอนการคำนวณออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้ ขั้นตอนแรก แบ่งปัญหาออกเป็นกลุ่มใหญ่หลาย ๆ กลุ่ม โดยพยายามให้สิ่งที่อยู่ภายในกลุ่มเดียวกันมีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Jirasirilerd K., et al. 2015) ขั้นตอนที่ 2 จัดปัญหาย่อยภายในกลุ่มให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละกลุ่ม โดยใช้ทฤษฎีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DEO) ในการหาคำตอบ ขั้นตอนที่ 3 หาวิธีเชื่อมคำตอบจากกลุ่มใหญ่แต่ละกลุ่มที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดไว้ด้วยกันโดยใช้ทฤษฎีกำหนดการแบ่งพลวัต (DP) ในการหาคำตอบโดยมีสมมติฐานคือ การสร้างแบบจำลองของปัญหาในทางโลจิสติกส์โดยปรับปรุงจากทฤษฎีที่มีอยู่ได้ โดยสามารถลดความซับซ้อนของขั้นตอนการคำนวณหาคำตอบของปัญหาลง และสามารถนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาการดำเนินการในการแก้ปัญหาทางโลจิสติกส์ได้อย่างเหมาะสม และมีประชากร กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ปัญหาการจัดลำดับเส้นทางขนส่งและกระบวนการทำงาน ที่มีอยู่ในพื้นที่จังหวัดเชียงราย โดยกลุ่มตัวอย่างจะกำหนดจากลักษณะของรูปแบบปัญหาการดำเนินการ ได้แก่ การพิจารณาเส้นทางในการขนส่ง และลำดับของการทำงาน โดยมีการสร้าง และการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัยโดยมี ขั้นตอนการคำนวณโดยรวมของระบบจากทฤษฎีที่มีอยู่ และแผนการดำเนินงานวิจัย โดยมีรายละเอียดตามลำดับ ดังต่อไปนี้ เครื่องมือวิจัย โดยการศึกษาแบบความสัมพันธ์ โดยเปรียบเทียบแบบจำลองของปัญหาในทางโลจิสติกส์ที่ได้การสร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัย โดยการพัฒนางานวิธีการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการทางโลจิสติกส์

ขั้นตอนแนวคิดการออกแบบ/พัฒนาในการทำวิจัย ซึ่งแสดงรายละเอียดของการดำเนินงานดังนี้

1. ศึกษาค้นคว้าและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับ ทฤษฎีการแบ่งกลุ่ม ทฤษฎีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง และทฤษฎีกำหนดการแบ่งพลวัต
2. หาวิธีในการพัฒนาแบบจำลองในการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการทางโลจิสติกส์
3. สร้างแบบจำลองของปัญหาทางโลจิสติกส์
4. ทดสอบแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยการนำไปหาคำตอบของปัญหาทางโลจิสติกส์
5. ประเมินผลการใช้งานของแบบจำลองที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ใช้เพียงวิธีการใดวิธีการหนึ่งจากทฤษฎีการแบ่งกลุ่ม ทฤษฎีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง และทฤษฎีกำหนดการแบ่งพลวัต
6. ปรับปรุงแก้ไขรูปแบบของวิธีการหาคำตอบให้เหมาะสม
7. สรุปและเสนอแนะผลการวิจัยของการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการทางโลจิสติกส์

3.1 ขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลอง

การคำนวณโดยรวมของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เริ่มต้นโดยป้อนข้อมูลนำเข้า (Input) ของปัญหาทางโลจิสติกส์ เช่น เส้นทางขนส่ง
- 2) ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่ม ๆ ด้วยวิธีแบ่งกลุ่ม
- 3) นำข้อมูลแต่ละกลุ่มที่ถูกแบ่งด้วยวิธีแบ่งกลุ่ม มาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้

ผลต่าง

- 4) ตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 หากยังไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุดให้กลับไปเริ่มขั้นตอนที่ 2 ใหม่

- 5) เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดแล้วจากขั้นตอนที่ 3 แล้ว จะทำการรวมกลุ่มคำตอบของแต่ละกลุ่มเข้าด้วยกันด้วยวิธีกำหนดการแบ่งพลวัต

- 6) ตรวจสอบผลการรวมกลุ่มจากขั้นตอนที่ 5 หากยังไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุดให้กลับไปเริ่มในขั้นตอนที่ 3 ใหม่

- 7) เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดจากขั้นตอนที่ 5 แล้ว ให้แสดงผลการหาคำตอบ และจบขั้นตอนการคำนวณ

3.2 การพัฒนาทฤษฎีสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการทางโลจิสติกส์

ในการจัดลำดับข้อมูล การทำงาน ช่วงเวลา การเรียนการสอน รวมไปถึงด้านการขนส่ง ซึ่งเป็นปัญหาในทางโลจิสติกส์นั้น มีวิธีการในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด และใช้ระยะเวลา น้อยลงจากวิธีปกติ ซึ่งทางผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาในการหาคำตอบจากที่ได้กล่าว มาแล้วข้างต้น โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาในรูปแบบของการใช้การวิเคราะห์กลุ่มโดยขั้นตอนการวิเคราะห์ ของวิธี K-Means มี 4 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นที่ 1 จัดกลุ่มข้อมูลเป็น k กลุ่ม ซึ่งมีการแบ่งได้โดยแบ่งอย่างสุ่ม หรือแบ่งด้วยผู้ศึกษาเองขั้นที่ 2 คำนวณหาจุดกึ่งกลางกลุ่มของแต่ละกลุ่ม เช่น จุดกลางกลุ่มของกลุ่ม ที่ C คือ X_c ขั้นที่ 3 มีวิธีการพิจารณา 2 แบบ โดยจะคำนวณลักษณะคือ แบบที่ 1 คำนวณหา ระยะห่างจากแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่มของทุกกลุ่มและจะพิจารณาย้ายหน่วยไปยังกลุ่มที่มี ระยะห่างต่ำสุด แบบที่ 2 คำนวณระยะห่างกำลังสองของแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่มที่หน่วยนั้นอยู่ โดยให้ ESS (Error Sum Square) เท่ากับระยะห่างกำลังสองของแต่ละหน่วยไปยังจุดกลางกลุ่ม ดังสมการที่ 1

$$ESS = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_{C(i)}) (x_i - \bar{x}_{C(i)}) \quad (1)$$

โดยที่ $C_{(i)}$ คือ กลุ่มของหน่วยที่ i

ESS คือ ผลบวกของระยะห่างจากแต่ละหน่วยในกลุ่มไปยังจุดกลางกลุ่มรวมทุกกลุ่ม กลุ่มใดที่มีค่า ESS ต่ำ แสดงว่าหน่วยที่อยู่ในกลุ่มนั้นมีความคล้ายคลึงกัน

กระบวนการของวิธีการวิวัฒนาการ (DEO) โดยใช้ผลต่างมีขั้นตอนโดยทั่วไปคล้ายกับวิธีการวิวัฒนาการตามปกติ คือ มีลำดับขั้นดังนี้ 1. สร้างประชากรของคำตอบเริ่มต้น 2. ประเมินค่าฟิตเนสฟังก์ชันหรือค่าสมการเป้าหมายของเวกเตอร์เป้าหมาย 3. ผลิตประชากรรุ่นใหม่ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้วนซ้ำจนครบกำหนดเงื่อนไขการหยุด

1. สร้างมิวแทนต์เวกเตอร์ ด้วยวิธีการการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ (mutation) ซึ่งสมการที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดแสดงดังสมการที่ 2

$$V_{m,n,G} = X_{r_1,n,G} + F(X_{r_2,n,G} - X_{r_3,n,G}) \quad (2)$$

โดยที่ m คือจำนวนเวกเตอร์ในแต่ละรุ่น n คือ พิกัดของเวกเตอร์ (vector dimension) G คือรอบในการวนซ้ำเช่นรอบที่ 1 2 และ 3 เป็นต้นและ r_1, r_2 และ r_3 คือเวกเตอร์ที่ทำการสุ่มเลือกมา 3 เวกเตอร์ F คือ แฟคเตอร์ในการขยายผลต่าง (scaling factor) $V_{m,n,G}$ คือมิวแทนต์เวกเตอร์สำหรับเวกเตอร์ที่ m พิกัดของเวกเตอร์ m ในรอบทำการวนซ้ำที่ G และ $X_{r_1,n,G}$ คือเวกเตอร์เป้าหมายซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่สุ่มเป็นลำดับแรก ในพิกัดที่ n ในรอบที่ G ส่วน $X_{r_2,n,G}$ และ $X_{r_3,n,G}$ เป็นเวกเตอร์เป้าหมายที่สุ่มเป็นลำดับที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ดังนั้นค่ามิวแทนต์เวกเตอร์ของเวกเตอร์ที่ m พิกัด n ในรอบที่ G จะมีค่าเท่ากับ ค่าในพิกัดของเวกเตอร์เป้าหมายที่ r_1 พิกัด n ในรอบที่ G รวมกับผลต่างของค่าในพิกัดของเวกเตอร์เป้าหมายที่ r_2 และ r_3 ที่คูณกับค่าแฟคเตอร์การขยายผลต่าง F เรียบร้อยแล้ว

2. การสร้างไทรอัลเวกเตอร์ ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ (recombination) แสดงได้ในสมการที่ 3

$$U_{m,n,G} = \begin{cases} V_{m,n,G} & (\text{rand}_{mn} \leq CR \text{ or } D_m = D_{m,\text{rand}}) \\ X_{m,n,G} & (\text{other}) \end{cases} \quad (3)$$

โดยที่ $U_{m,n,G}$ คือไทรอัลเวกเตอร์ของเวกเตอร์ที่ m พิกัด n ในรอบที่ G , rand_{mn} คือเลขสุ่มจำนวนจริงที่อยู่ในช่วง $[0,1]$ ของเวกเตอร์ที่ m พิกัด n ค่า CR คืออัตราการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัด (crossover rate) D_m คือตำแหน่งพิกัดของเวกเตอร์ m และ $D_{m,\text{rand}}$ คือเลขจำนวนเต็มสุ่มของเวกเตอร์ที่ m ที่มีค่าตั้งแต่ $[1,N]$ เมื่อ N คือขนาดของเวกเตอร์ และ ดังนั้นค่าไทรอัลเวกเตอร์ที่ m ตำแหน่งที่ n ในรอบที่ G ของการวนซ้ำจะมีเท่ากับมิวแทนต์เวกเตอร์หากเลขสุ่มของเวกเตอร์ที่ m พิกัดที่ n มีค่าน้อยกว่าค่า CR หรือ เมื่อเลขสุ่ม $D_{m,\text{rand}}$ เท่ากับตำแหน่งพิกัด D_m

3. เลือกเวกเตอร์เป้าหมายในรอบถัดไป ด้วยการคัดเลือกเวกเตอร์ (selection) สามารถแสดงได้ในสมการที่ 4

$$U_{m,n,G+1} = \begin{cases} V_{m,n,G}(f(U_{m,n,G}) \leq X_{m,n,G}) \\ X_{m,n,G}(\text{other}) \end{cases} \quad (4)$$

เมื่อ $U_{m,n,G+1}$ คือเวกเตอร์เป้าหมายที่ m พิกัดที่ n ในรอบที่ $G+1$ จะมีค่าเท่ากับ เวกเตอร์ที่มีค่าฟิตเนสฟังก์ชันดีกว่าระหว่างค่าเวกเตอร์เป้าหมายและไทรอัลเวกเตอร์รอบที่ G กระบวนการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับปัญหาตัวเลขจำนวนจริง

กำหนดการแบบพลวัต DP การแก้ปัญหาแบบแบ่งเพื่อเป็นการแก้ปัญหาจากบนลงล่าง (Top-down approach) การแก้ปัญหาขนาดใหญ่โดยการแบ่งย่อยเป็นปัญหามิติขนาดเล็ก ในขณะที่วิธีการพลวัตจะแก้ปัญหาจากล่างขึ้นบน (Bottom-up approach) ซึ่งโดยทั่วไปเราจะเริ่มแก้ปัญหาขนาดเล็กก่อนแล้วจึงมารวมกันจนกระทั่งได้คำตอบของปัญหาจริง การเขียนขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาแบบกำหนดการพลวัต ส่วนใหญ่ใช้หลักการดังนี้

1. กำหนดลักษณะของโครงสร้างของผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด
2. นิยามความสัมพันธ์เวียนเกิดของผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด
3. คำนวณค่าโดยใช้วิธีการจากล่างขึ้นบน (Bottom-up approach)
4. สร้างคำตอบจากค่าที่คำนวณได้

การคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากสมการที่ 5 ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$L_{tm}^* = \text{Min} \{L_{tm}^* - 1, k + R_{km}\} + F_{tm} \quad (5)$$

โดยที่

L_{tm}^* คือ ค่าความไม่สมดุลต่ำสุดของการจัดโซนแบบ m ที่เวลา t

k คือ หมายเลขการจัดโซนในแต่ละช่วงเวลา

R_{km} คือ ค่าชดเชยความไม่สมดุลในการสับเปลี่ยนจากการจัดโซนแบบ k ไปสู่แบบ m

F_{tm} คือ ค่าความไม่สมดุลของการจัดโซนแบบ m ในช่วงเวลา t

เมื่อทำการรวม 3 ทฤษฎี เพื่อนำมาหาระยะทาง และกระบวนการทำงานที่ให้ค่าที่ดีที่สุดของปัญหาโดยมีหลักการวิเคราะห์ 2 แบบ คือ

รูปแบบที่ 1 เริ่มจากการแบ่งกลุ่มด้วยการแบ่งกลุ่ม แบบ K-means จากนั้นนำข้อมูลไปจัดเรียงเส้นทางด้วย DEO แล้วนำข้อมูลที่จัดเรียงได้ไปเชื่อมต่อระหว่างกันและเชื่อมต่อ ด้วย DP

รูปแบบที่ 2 เริ่มจากการแบ่งกลุ่มด้วยทฤษฎี CA แบบ K-means จากนั้นนำข้อมูลไปจัดเรียงเส้นทางด้วยทฤษฎี DEO และเชื่อมต่อระหว่างกันและเชื่อมต่อกันด้วยทฤษฎี DP พร้อมกันไป เนื่องจากการวิเคราะห์รูปแบบที่ 1 การจัดเรียงเส้นทางก่อนแล้วค่อยนำไปเชื่อมต่อกันระหว่าง

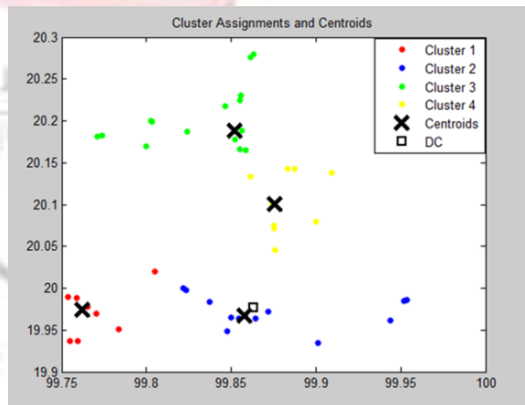
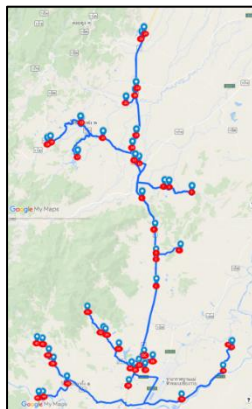
แต่ละ Cluster มีโอกาสที่จุดที่จะนำไปเชื่อมต่อระหว่างแต่ละ Cluster หรือเชื่อมต่อกับบริษัท อาจจะไม่ใช่ว่าจุดที่จะทำให้ระยะทางรวมของเส้นทางสั้นที่สุด ดังนั้นการวิเคราะห์รูปแบบที่ 2 จะทำการเชื่อมระหว่างกลุ่มข้อมูลที่จะจัดเรียงกับจุดต้นก่อนแล้วค่อยจัดเรียงข้อมูลภายในกลุ่ม ดังนี้ เชื่อมต่อ DC เข้ากับจุดต้นของ Cluster ก่อนหน้า นำข้อมูลจุดสุดท้ายของ Cluster ก่อนหน้ามาเชื่อมต่อ ที่จุดแรกของ Cluster ปัจจุบัน และนำจุดสุดท้ายของ Cluster ปัจจุบัน ไปเชื่อมต่อกับจุดแรกของ Cluster ถัดไปตามความเป็นไปได้ที่แต่ละ Cluster จะเชื่อมต่อได้ทั้งหมด จากนั้นทำการตั้งค่าการ Solver โดยใช้เงื่อนไขต่าง ๆ เหมือนกับการวิเคราะห์รูปแบบที่ 1

4. ผลการศึกษา

จากการศึกษาวิจัยการจัดเส้นทางขนส่งนมโรงเรียน และการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าในพื้นที่จังหวัดเชียงราย และการแก้ปัญหาการจัดลำดับกระบวนการทำงานร้านทำป้าย ได้ผลดังนี้

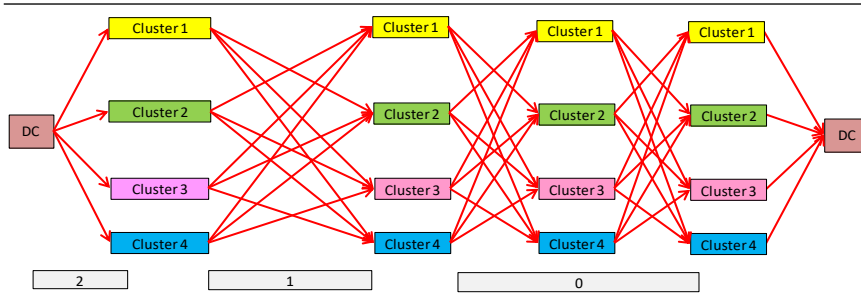
4.1 ผลการศึกษาการจัดเส้นทางของการขนส่ง

ผลการศึกษาการจัดเส้นทางของการขนส่งนมโรงเรียนเฉพาะนมจากข้อมูลเส้นทางและโรงเรียนต่าง ๆ โดยแสดงจุดเป็นหมายเลขต่าง ๆ แทนชื่อโรงเรียนโรงเรียนและศูนย์พัฒนาเด็กเล็กที่ต้องไปขนส่งนมโรงเรียนทั้งหมดตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์ ของสายเหนือและสายใต้ โดยจะทำการ Cluster เป็น 2 3 และ 4 กลุ่ม แสดงในภาพที่ 1



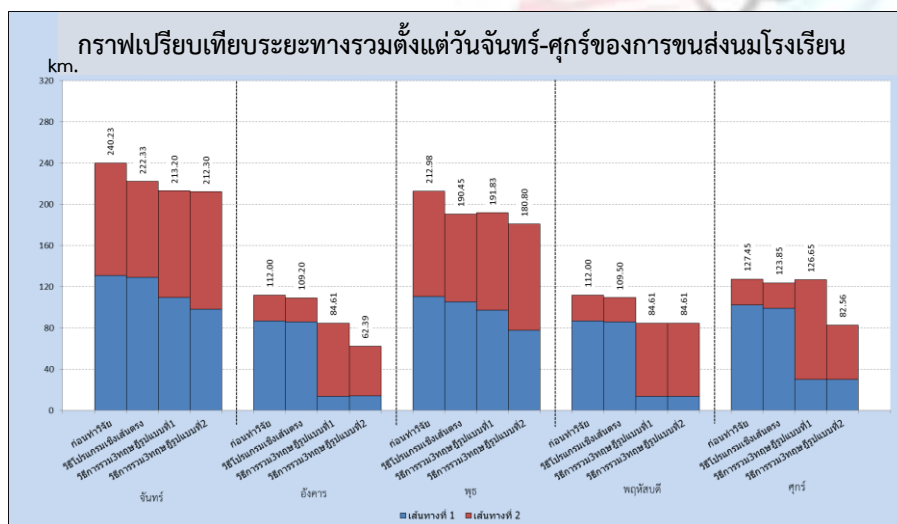
ภาพที่ 1 ตำแหน่งที่ต้องไปขนส่งนมทั้งหมดทั้งสายเหนือ และสายใต้ ผลการแบ่งกลุ่มข้อมูลลูกค้ากรณีแบ่งเป็น 4 Cluster

การแบ่งกลุ่ม 4 Cluster มีความเป็นไปได้ของจำนวนเส้นทางอยู่ 64 เส้นทาง ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งเส้นทางในแต่ละ Cluster ของแต่ละวันก็นำมาจัดกลุ่มด้วยทฤษฎีกำหนดการแบ่งพลวัต (Winyangkul, S., 2014) ใน Cluster 2 3 และ 4 กลุ่ม สามารถจัดกลุ่มให้เป็น 2 เส้นทางเนื่องด้วยรถที่ใช้ในการขนส่งมีทั้งหมด 2 คัน ให้มีระยะทางสั้นที่สุด



ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงการเชื่อมโยงเส้นทางด้วยวิธีการโปรแกรมพลวัตของการแบ่งกลุ่มแบบ 4 Cluster

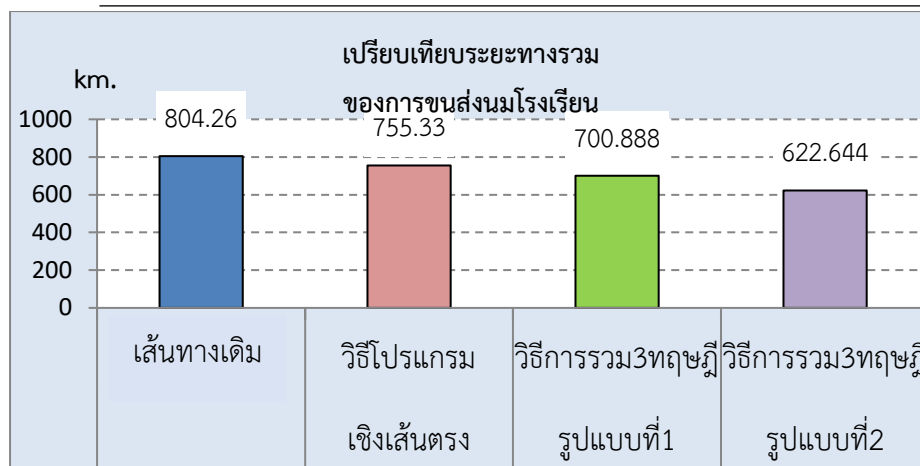
ในการจัดเส้นทางการขนส่งนมโรงเรียนเส้นทางที่ 1 โดยมีจุดที่ต้องส่งทั้งหมด 24 จุด และเส้นทางที่ 2 โดยมีจุดที่ต้องส่งทั้งหมด 20 จุด ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดระยะทางในการขนส่งแต่ละวันให้น้อยกว่าเดิมได้ ดังแสดงกราฟเปรียบเทียบในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะทางรวม ตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์ของการขนส่งนมโรงเรียน

จากภาพที่ 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะทางรวมในแต่ละวัน ตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์ ระหว่าง เส้นทางเดิมก่อนทำวิจัย วิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรง และวิธีการรวม 3 ฤกษ์โดยพิจารณาจากค่าระยะที่ได้รวมสั้นที่สุดโดยการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสม วันจันทร์ และพุธ $k=3$ วันอังคาร และศุกร์ $k=4$ และวันพฤหัสบดี $k=2$ จะเห็นได้ว่าระยะทางรวมของแต่ละวันจะมีระยะทางที่ลดลงค่อนข้างมากและเป็นที่พอใจของผู้วิจัย ซึ่งแต่ละวิธีสามารถลดระยะทางจากเดิม

สำหรับระยะทางรวมในการขนส่งนมทั้ง 5 วัน สามารถลดระยะทางลงได้ ดังแสดงในกราฟเปรียบเทียบในภาพที่ 4



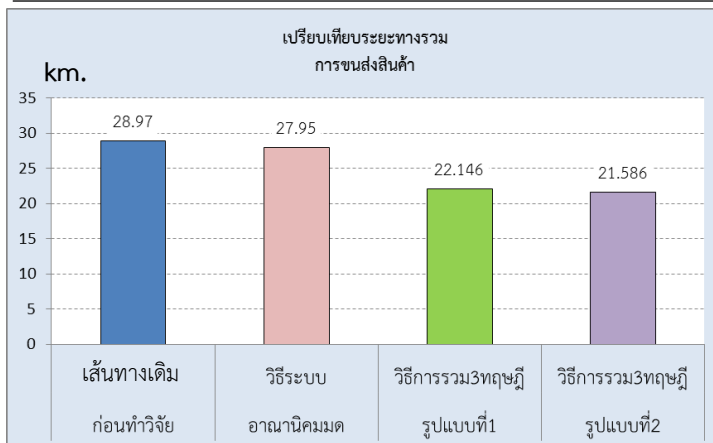
ภาพที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะทางรวมทั้งหมดของการขนส่งนมโรงเรียน

จากภาพที่ 4 เมื่อนำระยะทางที่ได้จากการศึกษามาเปรียบเทียบกับระยะทางเดิมในการขนส่งสินค้า ก่อนทำวิจัย และเปรียบเทียบกับการทำ วิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรง พบว่า

การวิเคราะห์รูปแบบที่ 1 สามารถลดระยะทางลงจากก่อนทำวิจัย เท่ากับ 84.242 กิโลเมตร และสามารถลดระยะทางลงจากวิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรงเท่ากับ 54.442 กิโลเมตร

การวิเคราะห์รูปแบบที่ 2 สามารถลดระยะทางลงจากก่อนทำวิจัย เท่ากับ 162.486 กิโลเมตร และสามารถลดระยะทางลงจากวิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรงเท่ากับ 132.686 กิโลเมตร

ผลการศึกษาในการจัดเส้นทางในการขนส่งสินค้าในจังหวัดเชียงรายผลการศึกษาพบว่าสามารถลดระยะทางในการขนส่งแต่ละวันให้น้อยกว่าเดิมได้เช่นกัน ดังแสดงกราฟเปรียบเทียบในภาพที่ 5 โดยแสดงการเปรียบเทียบระยะทางรวมของวันจันทร์และวันพฤหัสบดี ระหว่างเส้นทางเดิมก่อนทำวิจัย วิธีระบบอาณานิคม (Ant colony system) และวิธีการรวม 3 ทฤษฎี ของการขนส่งสินค้านั้นจะเห็นได้ว่ามีระยะทางรวมของแต่ละเส้นทางที่สั้นลง โดยผู้วิจัยมีวิธีการคิดและประมวลผลออกเป็น 2 รูปแบบ คือ จัดเส้นทางเป็น 3 เส้นทาง และจัดเส้นทางเป็น 4 เส้นทาง เนื่องจากจำนวนของรถในการขนส่งทั้งหมด 2 คัน ทำการขนส่ง 2 วัน คือ วันจันทร์ ช่วงเช้าและช่วงบ่าย และวันพฤหัสบดี ช่วงเช้าและช่วงบ่าย 4 เส้นทาง ส่วนนำมาจัดรวมของเส้นทางที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันสามารถนำสินค้าไปส่งได้โดยไม่เกินปริมาณบรรทุกเป็น 3 เส้นทาง ดังนี้



ภาพที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะทางรวม ของการขนส่งสินค้า

รูปแบบที่ 1 การจัดเส้นทางเป็น 4 เส้นทาง สามารถลดระยะทางรวมลงจากก่อนทำวิจัย 6.824 กิโลเมตร และสามารถลดระยะทางรวมลงจากวิธีระบบอาณานิคมเท่ากับ 5.804 กิโลเมตร

รูปแบบที่ 2 การจัดเส้นทางเป็น 3 เส้นทาง สามารถลดระยะทางรวมลงจากก่อนทำวิจัย 7.384 กิโลเมตร และสามารถลดระยะทางรวมลงจากวิธีระบบอาณานิคมเท่ากับ 6.364 กิโลเมตร

4.2 ผลการศึกษาการวิเคราะห์การแก้ปัญหาการจัดลำดับงาน

ในการจัดลำดับงานของร้านทำป้าย โดยการกระทำได้โดยการจัดงานใน 4 แบบ ดังต่อไปนี้ 1. First In First Out: FIFO (เข้าก่อนออกก่อน ดังแสดงในภาพที่ 6) 2. Shortage Processing Time: SPT (เวลาน้อยสุดทำก่อน) 3. Earliest Due Date: EDD (กำหนดส่งมอบเร็วสุดทำก่อน) และ 4. Longest Processing Time: LPT (เวลาทำงานมากที่สุดทำก่อน) โดยกระทำได้โดยการจัดงานใน 4 แบบ ดังต่อไปนี้

1. First In First Out: FIFO (เข้าก่อนออกก่อน) เป็นการจัดลำดับงานโดยให้ทำงานที่เข้ามาก่อนเป็นอันดับแรกและทำการงานที่เข้ามาทีหลังเป็นอันดับถัดไป

2. Shortage Processing Time: SPT (เวลาน้อยสุดทำก่อน) เป็นการจัดลำดับความสำคัญของการทำงานโดยให้ทำงานที่ใช้เวลาสั้นที่สุดก่อนแล้วจึงค่อยทำงานที่ใช้เวลามากเป็นลำดับถัดไป

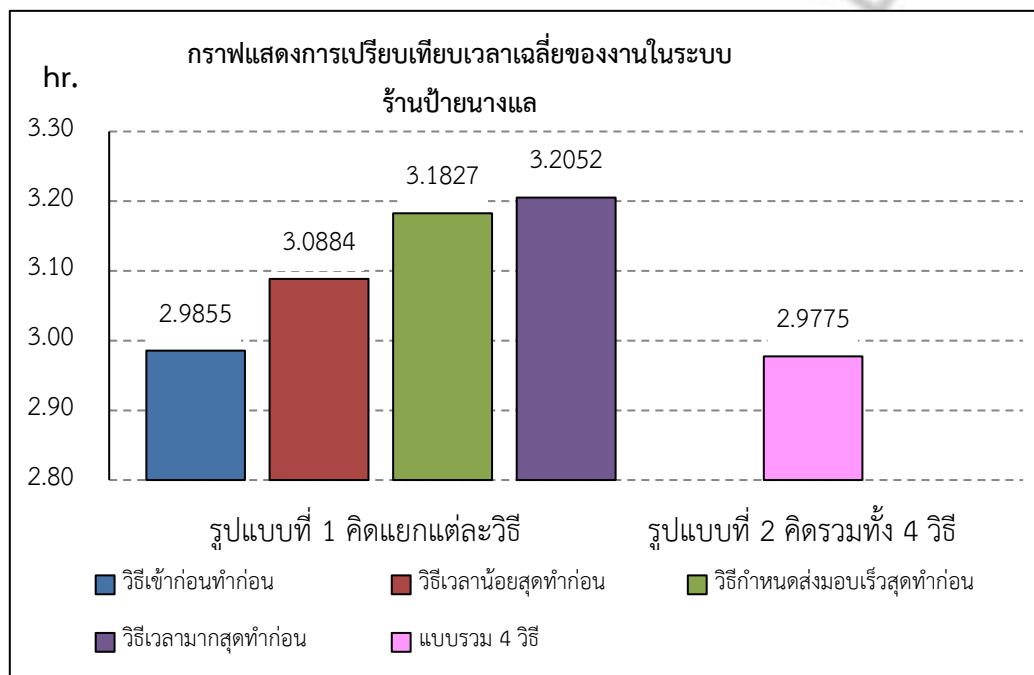
3. Earliest Due Date: EDD (กำหนดส่งมอบเร็วสุดทำก่อน) เป็นการจัดลำดับความสำคัญในการทำงานโดยให้ทำงานที่มีกำหนดส่งมอบเร็วที่สุดก่อนแล้วค่อยทำงานที่มีกำหนดส่งมอบช้ากว่าเป็นลำดับถัดไป

4. Longest Processing Time: LPT (เวลาทำงานมากที่สุดทำก่อน) เป็นการจัดลำดับความสำคัญในการทำงานโดยให้ทำงานที่ใช้เวลามากที่สุดเป็นอันดับแรกแล้วจึงค่อยทำงานที่ใช้เวลาน้อยกว่าเป็นอันดับถัดไป

ผลการศึกษพบว่าสามารถลดเวลาในการทำงานให้น้อยกว่าเดิมได้ ดังแสดงกราฟเปรียบเทียบในภาพที่ 7

	DAY1								DAY2								DAY3								DAY4								DAY5							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32								
รหัส	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2							
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0								
2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0								
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0								

ภาพที่ 6 แสดงการจัดสรรงานวิธีเข้าก่อนทำก่อน



ภาพที่ 7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยของงานในระบบของร้านทำป้าย

จากภาพที่ 7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยของงานในระบบ ร้านป๋ายนางแลนั้นจะเห็นว่าเวลาเฉลี่ยของงานในระบบรูปแบบที่ 2 คือการจัดสรรงานแบบรวมทั้ง 4 วิธี จะมีเวลาเฉลี่ยของงานในระบบที่น้อยกว่ารูปแบบที่ 1 คือ มีเวลาเฉลี่ยของงานในระบบน้อยกว่าวิธีเวลามากทำก่อนถึง 0.4469 ชั่วโมง มีเวลาเฉลี่ยของงานในระบบน้อยกว่าวิธีกำหนดส่งเร็วทำก่อนถึง 0.4244 ชั่วโมง มีเวลาเฉลี่ยของงานในระบบน้อยกว่าวิธีเวลาน้อยสุดทำก่อนถึง 0.3301 ชั่วโมง และมีเวลาเฉลี่ยของงานในระบบน้อยกว่าวิธีเข้าทำก่อนถึง 0.2272 ชั่วโมง

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยการจัดเส้นทางการขนส่งนมโรงเรียน การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า และการแก้ปัญหาการจัดลำดับกระบวนการทำงานร้านทำป้าย โดยการประยุกต์วิธีการรวม 3 ทฤษฎีวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จะสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมในสภาวะที่กำหนดเฉพาะของแต่ละวิธีเท่านั้น จากการวิเคราะห์จำนวนข้อมูลที่หลากหลายหรือมีจำนวนรูปแบบของปัญหาที่มากขึ้น จะทำให้การคำนวณมีความยุ่งยากซับซ้อน เมื่อนำหลักโดยการประยุกต์วิธีการรวม 3 ทฤษฎี มาทำการคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสม เพื่อให้ง่ายต่อการแบ่งกลุ่มข้อมูล โดยจะไม่มีจำนวนข้อมูลซ้ำอีก ซึ่งผลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง หาวิธีการแก้ปัญหา สร้างตัวแบบปัญหา ในการแก้ปัญหาและทำการเขียนคำสั่งในโปรแกรมเพื่อทำการแบ่งกลุ่มข้อมูล ประมวลผลทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำการวิเคราะห์หาคำตอบที่มีความเหมาะสม จากการประมวลผลของโปรแกรม และคำนวณหาคำตอบเป็นดังนี้

5.1 การจัดเส้นทางของการขนส่งนมโรงเรียน

เมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับระยะทางเดิมในการขนส่งนม ก่อนทำวิจัย และวิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรง สรุปได้ดังนี้ การศึกษารูปแบบที่ 1 สามารถลดระยะทางลงจากก่อนทำวิจัย เท่ากับ 84.242 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 10.73 และสามารถลดระยะทางลงจากวิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรงเท่ากับ 54.442 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 7.21 การศึกษารูปแบบที่ 2 สามารถลดระยะทางลงจากก่อนทำวิจัย เท่ากับ 162.486 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 20.70 และสามารถลดระยะทางลงจากวิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรงเท่ากับ 132.686 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 17.57

5.2 การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า

เมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับระยะทางเดิมก่อนการวิจัย และวิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรง สรุปได้ดังนี้ รูปแบบที่ 1 การจัดเส้นทางเป็น 4 เส้นทาง สามารถลดระยะทางรวมลงจากก่อนทำวิจัย 6.824 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 23.56 และสามารถลดระยะทางรวมลงจากวิธีระบบอาณานิคมลด เท่ากับ 5.804 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 20.77 รูปแบบที่ 2 การจัดเส้นทางเป็น 3 เส้นทาง สามารถลดระยะทางรวมลงจากก่อนทำวิจัย 7.384 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 25.49 และสามารถลดระยะทางรวมลงจากวิธีระบบอาณานิคมลดเท่ากับ 6.364 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 22.77

5.3 การแก้ปัญหาการจัดลำดับงาน

ผลการประมวลผลหาคำตอบการจัดลำดับงานของกระบวนการ เมื่อนำเวลาที่ได้ของทั้งสองรูปแบบมาเปรียบเทียบกันแล้ว พบว่าเวลาเฉลี่ยของงานในระบบของการทำงานรูปแบบที่ 2 มีเวลาเฉลี่ยของงานในระบบที่น้อยกว่ารูปแบบที่ 1 คือ มีเวลาเฉลี่ยของงานในระบบน้อยกว่าวิธีเวลามากทำก่อนเท่ากับ 0.4469 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 7.10 มีเวลาเฉลี่ยของงานในระบบน้อยกว่าวิธีกำหนดส่งเร็วทำก่อนเท่ากับ 0.4244 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 6.45 มีเวลาเฉลี่ยของงานในระบบน้อยกว่าวิธีเวลาน้อยสุดทำก่อนเท่ากับ 0.3301 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 3.59 และมีเวลาเฉลี่ยของงานในระบบน้อยกว่าวิธีเข้าทำก่อนเท่ากับ 0.2272 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 0.27

โดยภาพรวมแล้วสามารถแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่ดีขึ้น สามารถลดระยะทางให้เหลือน้อยลง และมีการแก้ปัญหาการจัดลำดับงานที่ดีขึ้น โดยเป็นไปตามเงื่อนไขด้านระยะทางในการขนส่ง และเวลาในการทำงานดังนั้นจากการศึกษาในครั้งนี้ผลที่ได้จึงเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้คือ พัฒนาแบบจำลองของปัญหาในทางโลจิสติกส์ และนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาการดำเนินการในทางโลจิสติกส์ได้อย่างเหมาะสม

6. เอกสารอ้างอิง

- Arunchote, C., Kritkharuehart, S., and Charoensuk, O. (2013). A Cluster Analysis of Professional Nurses based on Perception of Magnet Hospital Characteristics of Government Hospitals in Bangkok Metropolis, **Journal of The Royal Thai Army Nurses**, 14(3), 22-30. (in Thai)
- Jirasirilerd, K., Paitakaso R and, Mayacheaw, P. (2015). Solving an simple assembly line balancing problem by differential evolution : a case study of garment industry, **Journal of Princess Naradhiwas University** Vol 7 No.1 (Jan-April) 2015. pp. 153-164. (in Thai)
- Mayacheaw, P. (2014). Solving Location Problem, **Journal of Princess Naradhiwas University**, 6(1), 132-145. (in Thai)
- Phalakan, B. (2014). The Problem Prioritization Methods in the Community Processes: Lesson Learned from Theory to Practice of Nursing Students at Boromarajonani College of Nursing, Sanpasithiprasong, **Nursing Journal of the Ministry of Public Health**, 24(1), 1-11. (in thai)
- Paitakaso, R. (2014). **Differential Evolution Algorithm**, [online]. Retrieved 10, Feb, 2017, Web site::www.ubu.ac.th/~pitakaso/1302476/new_doc/ch01_s.pdf
- Paiboolworachat, J. and Kulvanich N. (2014). **Comparison of Clustering Algorithms for Mixtures of Gaussian Distribution**, [online]. Retrieved 28, January, 2017, from: <http://old.rmutto.ac.th/fileupload>. (in thai)
- Winyangkul, S. (2014). **Dynamic Programming**, lecturer note in optimization for Logistic Engineering, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University. (in thai)

การประยุกต์ใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ
การเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
An Application of FP-Growth Algorithm to Find Factors in
Choosing to Study in the Faculty of Industrial Technology
Lampang Rajabhat University

ณิชา นภาพร จงกะสิกิจ^{1*}

Nicha Naphaphon Jongkasikit^{1*}

^{1*}สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

โทรศัพท์ 08 9567 3394 E-mail : nicha_j@live.lpru.ac.th

^{1*}Software Engineering Lampang Rajabhat University 119 Moo 9, Chomphu Subdistrict, Muang District,
Lampang 52100, Tel. +668 9567 3394 E-mail: nicha_j@live.lpru.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย การประยุกต์ใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลสำหรับการวางแผน
ประชาสัมพันธ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยเป็นการนำเสนอในส่วนของ การประยุกต์ใช้เทคนิค
เหมืองข้อมูลเพื่อให้ทราบรูปแบบหรือคุณลักษณะ และปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาต่อในคณะ
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง โดยวิธีดำเนินการวิจัยคือเก็บรวบรวมข้อมูลจาก
กลุ่มตัวอย่าง 2 ส่วน คือข้อมูลพื้นฐานของนักศึกษาคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่ได้รับจาก
กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จำนวน 1,068 คน และข้อมูลด้านปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
กับการเข้าศึกษาต่อที่เก็บจากนักศึกษาปัจจุบันของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ชั้นปีที่ 1 – 3 จำนวน
334 คน จากนั้นจึงนำข้อมูลที่รวบรวมได้ไปทำการลดมิติข้อมูลโดยใช้เทคนิค Evolutionary
Selection และนำข้อมูลที่ลดมิติแล้วไปหาหาความสัมพันธ์ด้วยเทคนิค FP-Growth โดยผลการวิจัย
พบว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อ มีจำนวน 36 ปัจจัย และเมื่อนำปัจจัยที่
เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อไปสร้างกฎของความสัมพันธ์สามารถสร้างได้จำนวน 35 กฎ
โดยกฎที่ดีที่สุดเป็นความสัมพันธ์ระหว่างชื่อหลักสูตร ความนิยมของหลักสูตร และเนื้อหาสาระ
ของหลักสูตร มีค่าความเชื่อมั่นที่ 0.894 หรือ ร้อยละ 89.4

คำสำคัญ : เหมืองข้อมูล, ปัจจัยการศึกษาต่อ, การประชาสัมพันธ์

Abstract

This article is an introduction to the application of data mining techniques to
determine the factors and patterns that affect the choice of study in the Faculty of

Industrial Technology at Lampang Rajabhat University. The research method used was to collect data from two sample groups: 1) basic information of students from the Faculty of Industrial Technology received from the Educational Service Division of Lampang Rajabhat University (1068 students); 2) factors for choosing to study in the Faculty of Industrial Technology from present students in 1st - 3rd year (334 students). The collected data was reduced to dimension using the Evolutionary Selection technique and the FP-Growth technique was then applied to this dimensionless data. Data analysis revealed that there were 36 factors out of 57 factors. Regarding the deciding factors for further study, the rule of relationships consisted of 20 rules. The best rules were the relationship between the course titles, the popularity of the course, and the content of the course. The confidence was 0.894 or 89.4 per cent and support was 0.456 or 45.6 per cent.

Keywords : Data mining, education factors, public relations, selection, FP-Growth

1. บทนำ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เป็นหน่วยงานที่มีการจัดการเรียนการสอนทางด้านเทคโนโลยี โดยมีวิสัยทัศน์ในการเป็นแหล่งผลิตบัณฑิตที่มีคุณภาพตามมาตรฐานอุดมศึกษา ส่งเสริมงานวิจัยสร้างองค์ความรู้เพื่อก้าวสู่ความเป็นเลิศด้านวิชาการ พัฒนาภูมิปัญญาท้องถิ่น เป็นที่พึ่งพาของชุมชน มีสาขาที่เปิดสอนจำนวน 9 สาขา ซึ่งจากสถิติย้อนหลัง 5 ปี พบว่า นักศึกษามีจำนวนลดลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ในการดำเนินการเพื่อประชาสัมพันธ์ ทางคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้มีการดำเนินการที่หลากหลาย อาทิ การประชาสัมพันธ์ยังสถานศึกษาต่าง ๆ โดยอาจารย์ในแต่ละสาขาวิชา การออกบูธประชาสัมพันธ์ การประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อต่าง ๆ เช่น วิทยุ แผ่นพับประชาสัมพันธ์ เป็นต้น แต่ทว่าจำนวนนักศึกษาก็ยังลดลง

เหมืองข้อมูล (Data Mining) เป็นการใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่เก็บไว้ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยผ่านกระบวนการทางคอมพิวเตอร์ ในการค้นหารูปแบบ (Pattern) กฎเกณฑ์ (Rule) ของความสัมพันธ์ เพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้ที่ต้องการในการนำมาใช้ตัดสินใจ (Laokietkul, J. , 2015) โดยรูปแบบของข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์นั้นสามารถเป็นได้ทั้งข้อมูลแบบมีโครงสร้างและข้อมูลแบบไม่มีโครงสร้าง ซึ่งเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูลนั้น มีหลากหลาย อาทิ เทคนิคการค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association Rule) การแบ่งกลุ่มข้อมูล (Clustering) การจำแนกประเภทข้อมูล (Classification) และการประมาณค่าข้อมูล (Regression) เป็นต้น ทั้งนี้ในการใช้เทคนิคด้านเหมืองข้อมูลนิยมใช้กับการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกันเพื่อแก้ไขปัญหาใดปัญหาหนึ่ง อาทิ การใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการประเมินความรู้ และหาความถนัดเพื่อพัฒนาศักยภาพของนักศึกษา (Vonganansup, S.,

et al., 2016) การพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลังด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล (Limtrakul, P., et al., 2016) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเฝ้าระวัง โรคทางระบาดวิทยา ในปศุสัตว์โดยใช้การจัดกลุ่มแบบฟัซซี (Srimakorn, S., 2016)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเทคนิคด้านเหมืองข้อมูลมาใช้ในการวางแผนประชาสัมพันธ์รับนักศึกษาใหม่ของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยคาดหวังว่าจำนวนนักศึกษาของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมจะมีจำนวนที่มากขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

2.2 เพื่อหารูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตด้านประชากรที่ใช้ในการศึกษา

1) ข้อมูลของนักศึกษาที่เข้าศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ระหว่างปีการศึกษา 2554 – 2559 จากกองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จำนวน 1,068 คน

2) ข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมด้วยแบบสอบถามด้านปัจจัยในการเข้าศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จากนักศึกษาที่กำลังศึกษาในชั้นปีที่ 1 – 3 จำนวน 334 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในโครงการวิจัยนี้ได้แก่

1) แบบสอบถามปัจจัยในการเข้าศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

2) เครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ซอฟต์แวร์ RapidMiner Studio ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่นิยมใช้ในการทำเหมืองข้อมูล โดยมีจุดเด่นที่สามารถรองรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่เข้ากันได้ดี และมีรูปแบบการแสดงผลที่หลากหลาย อีกทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลมีเครื่องมือในลักษณะกราฟิกช่วยในการดำเนินงาน ซึ่งสามารถอำนวยความสะดวกในการทำงานได้เป็นอย่างมาก

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) ทำการวิเคราะห์ทางด้านสถิติ โดยใช้สถิติ การแจกแจงข้อมูลและร้อยละ

2) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล เพื่อจำแนกหาปัจจัยและความสัมพันธ์ของปัจจัยและคุณลักษณะที่เกี่ยวข้อง ของนักศึกษาที่เข้าศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

3.4 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาการจัดเก็บข้อมูลนักศึกษาในฐานะข้อมูลของมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง และจัดทำแบบสอบถามเพื่อเก็บรวบรวมความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกเข้าศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของข้อมูลพื้นฐานของนักศึกษาที่เข้าศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ระหว่างปีการศึกษา 2554 – 2559 จากกองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จำนวน 1,068 คน และส่วนของข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมด้วยแบบสอบถามด้านปัจจัยในการเข้าศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จากนักศึกษาที่กำลังศึกษาในชั้นปีที่ 1 – 3 จำนวน 334 คน ทั้งนี้สาเหตุที่จะต้องมีการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมจากนักศึกษาที่กำลังศึกษาในชั้นปีที่ 1 – 3 นั้น สาเหตุมาจากข้อมูลที่จัดเก็บโดยกองบริการการศึกษานั้น ไม่ได้มีการจัดเก็บประเด็นด้านปัจจัย หรือความคิดเห็นด้านการศึกษาต่อของนักศึกษาไว้ภายใน เป็นเพียงการเก็บข้อมูลพื้นฐาน อาทิ สถานศึกษาเดิม เกรดเฉลี่ย ที่อยู่ เป็นต้น

2) จัดเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล โดยมีกระบวนการในการจัดเตรียมข้อมูลดังนี้

2.1) สํารวจและตรวจสอบข้อมูล โดยมีการคัดกรองข้อมูลที่มีบางส่วนขาดหายไป อาทิ ไม่ปรากฏชื่อสถานศึกษาเดิม หรือมีความผิดปกติ อาทิ มีเกรดเฉลี่ยมากกว่า 4.0 หรือไม่สอดคล้องกัน อาทิ คำนวณค่าเฉลี่ยไม่ตรงกับเพศจัดเก็บ

2.2) ทำการลดรูปข้อมูล โดยใช้วิธีการในการลดมิติของข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้อง อาทิ ชื่อบิดา ชื่อมารดา ชื่อผู้ปกครอง หมายเลขโทรศัพท์ เป็นต้น

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	sex	year	program	old_degree	old_school	grad	occup_parent	fam_income
2	ชาย	3	โยธา	ปวช.	เทคนิคลำปาง	3	ธุรกิจส่วนตัว	ต่ำกว่า 10,000
3	ชาย	2	โยธา	ปวช.	เทคนิคลำปาง	2.24	รับจ้างทั่วไป	10,001 - 20,000
4	ชาย	2	โยธา	ปวช.	อ้อมฮาร์ฟิทยา	2.69	รับจ้างทั่วไป	10,001 - 20,000
5	ชาย	2	โยธา	ปวช.	เทคนิคลำปาง	2.67	เกษตรกร	ต่ำกว่า 10,000
6	หญิง	2	คอมพิวเตอร์	ปวช.	อาชีวศึกษาลำปาง	2.61	ธุรกิจส่วนตัว	10,001 - 20,000
7	ชาย	3	คอมพิวเตอร์	ปวช.	การอาชีพจอมทอง	2.22	รับราชการ	20,001 - 30,000
8	ชาย	3	คอมพิวเตอร์	ปวช.	การอาชีพจอมทอง	2.43	เกษตรกร	ต่ำกว่า 10,000
9	หญิง	3	คอมพิวเตอร์	ปวช.	เทคโนโลยีหมู่บ้านครูภาคเหนือ	3.29	รับจ้างทั่วไป	ต่ำกว่า 10,000
10	ชาย	2	โยธา	ปวช.	เทคนิคลำปาง	3.47	รับจ้างทั่วไป	20,001 - 30,000
11	ชาย	1	พลังงาน	ปวช.	อ้อมฮาร์ฟิทยา	3	รับจ้างทั่วไป	10,001 - 20,000
12	ชาย	3	พลังงาน	ปวช.	ลำปางพาณิชยการและเทคโนโลยี	2.4	ธุรกิจส่วนตัว	10,001 - 20,000
13	ชาย	2	การผลิต	ปวช.	เทคนิคลำปาง	2.61	รับจ้างทั่วไป	30,001 - 40,000
14	ชาย	2	การผลิต	ปวช.	แจ้ห่มวิทยา	2.54	ธุรกิจส่วนตัว	ต่ำกว่า 10,000
15	ชาย	2	การผลิต	ปวช.	แลมบูเทค	2.91	พนักงานรัฐวิสาหกิจ	10,001 - 20,000
16	ชาย	2	การผลิต	ปวช.	เทคนิคลำปาง	2.61	ธุรกิจส่วนตัว	10,001 - 20,000
17	หญิง	2	มาตริทยา	ปวช.	อาชีวศึกษาลำปาง	2.61	รับจ้างทั่วไป	10,001 - 20,000
18	ชาย	3	ไฟฟ้า	ปวช.	นวมินทรราชินีแม่ฮ่องสอน	2.5	ธุรกิจส่วนตัว	10,001 - 20,000
19	ชาย	1	ไฟฟ้า	ปวช.	ประจักษ์ศิลปาคม	2.61	รับจ้างทั่วไป	ต่ำกว่า 10,000
20	ชาย	1	ไฟฟ้า	ปวช.	เทคนิคแพร่	2.61	รับจ้างทั่วไป	ต่ำกว่า 10,000
21	หญิง	3	ซอฟต์แวร์	ปวช.	การอาชีพจอมทอง	2.9	รับจ้างทั่วไป	ต่ำกว่า 10,000
22	ชาย	3	ซอฟต์แวร์	ปวช.	การอาชีพจอมทอง	2.52	รับจ้างทั่วไป	ต่ำกว่า 10,000
23	ชาย	2	การผลิต	ปวช.	แจ้ห่มวิทยา	2.57	เกษตรกร	ต่ำกว่า 10,000
24	ชาย	4	คอมพิวเตอร์	ปวส.	เทคนิคลำปาง	3	รับจ้างทั่วไป	10,001 - 20,000

ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างข้อมูลก่อนการจัดเตรียมข้อมูล

2.3) ทำการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งจะมีการแปลงข้อมูล โดยทำการแบ่งแยกลักษณะประจำ เช่น เพศ แบ่งออกเป็น Male และ Female ในส่วนของ Male กรณีที่ข้อมูลนั้นเป็นเพศชายจะกำหนดเป็นเลข 1 หากเป็นเพศหญิงจะกำหนดเป็นเลข 0 เป็นต้น

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Male	Female	M6	Vol	Hvol	Farm	Cus	Owner	Gov	GP	Private	Other	In_Low	In_Med	In_High
306	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
307	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
308	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
309	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
310	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
311	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
312	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
313	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
314	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
315	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
316	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
317	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
318	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
319	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
320	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
321	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
322	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
323	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
324	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
325	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
326	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
327	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
328	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
329	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างข้อมูลภายหลังการจัดเตรียม

3) วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามและฐานข้อมูล เพื่อค้นหารูปแบบหรือคุณลักษณะ และปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง โดยเทคนิคที่นำมาใช้แบ่งออกเป็น

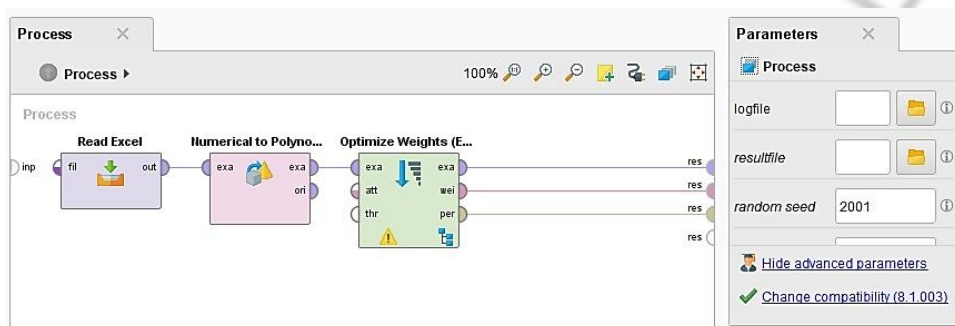
3.1) การวิเคราะห์เชิงสถิติ โดยใช้การแจกแจงข้อมูล หากการค่าร้อยละ โดยมีข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลพื้นฐานของนักศึกษา ซึ่งมีตัวอย่างในการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติตามประเภทของสถานศึกษาเดิมของนักศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงประเภทของสถานศึกษาเดิมของนักศึกษา

ประเภทสถานศึกษา	จำนวน (คน)	ร้อยละ (%)
1. โรงเรียนรัฐบาลประเภท สามัญ	465	43.54
2. โรงเรียนรัฐบาลประเภทอาชีวศึกษา	258	24.16
3. โรงเรียนรัฐบาลประเภทการศึกษาสงเคราะห์	25	2.34
4. การศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัย (กศน.)	51	4.78
5. โรงเรียนเอกชนประเภท สามัญ	55	5.15
6. โรงเรียนเอกชนประเภทอาชีวศึกษา	182	17.04
7. โรงเรียนเอกชนประเภทการศึกษาสงเคราะห์	6	0.56
8. อื่น ๆ เช่น จากมหาวิทยาลัยอื่น	26	2.43
รวม	1,068	100

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่านักศึกษาของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมาจากโรงเรียนมัธยมศึกษาของรัฐบาล เป็นส่วนใหญ่ รองลงมาคือโรงเรียนอาชีวศึกษาของรัฐ

3.2) การระบุปัจจัยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลสำหรับการประชาสัมพันธ์ ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Evolutionary Selection ที่มีกระบวนการในการทำงานโดยการสุ่มปัจจัยมาจัดเป็นชุดแล้วทำการคำนวณค่าน้ำหนักหากปัจจัยที่นำมาคำนวณส่งผลให้น้ำหนักที่สูงขึ้นจะเก็บไว้ แต่หากปัจจัยที่นำมาคำนวณให้ผลของค่าน้ำหนักที่ต่ำลงจะตัดปัจจัยนั้นทิ้งไป ทั้งนี้สามารถแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม RapidMiner Studio ได้ดังภาพที่ 3

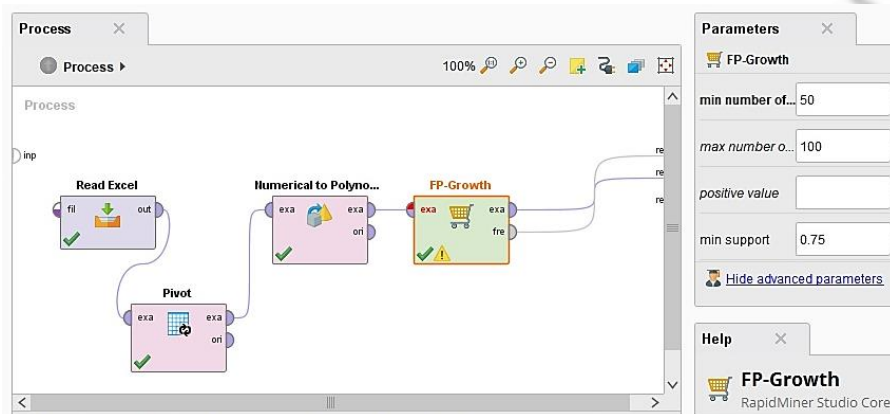


ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างการใช้โปรแกรม RapidMiner Studio ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค Evolutionary Selection

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อลดมิติของข้อมูลด้วยโปรแกรม RapidMiner Studio

ลำดับที่	ปัจจัย	ค่าน้ำหนัก
1	เพศชาย	0.632
2	สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย	0.572
3.	บิดามารดามีอาชีพทำการเกษตร	0.490
4	รายรับในครอบครัวอยู่ในระดับปานกลาง	0.405
5	การรับทราบข่าวการสมัครรับนักศึกษาจากครอบครัว	0.373
6	การรับทราบข่าวสารจากเว็บไซต์มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง	0.431
7	การรับทราบข่าวสารจากเอกสารประชาสัมพันธ์	0.000
8	การรับทราบข่าวสารจากรุ่นพี่	0.643
9	ตำแหน่งที่ตั้งของสถานศึกษามีผลต่อการตัดสินใจเลือกศึกษาต่อ	0.788
10	รายได้ของบิดามารดามีผลต่อการตัดสินใจเลือกศึกษาต่อ	0.662

3.4) สร้างหากฎความสัมพันธ์ของปัจจัย เมื่อทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องจากกระบวนการลดมิติข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จึงนำไปทำการหากฎความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านั้นด้วยเทคนิค FP-Growth ซึ่งมีกระบวนการทำงานที่แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 จะทำการสร้าง FP-tree โดยจะทำการคำนวณหาค่า Support ของรูปแบบปัจจัย ที่มีความยาวตั้งแต่ 1 ปัจจัยขึ้นไป และนำมาจัดเรียงข้อมูลตามค่า support จากมากไปน้อย และขั้นตอนที่ 2 คือการสร้างรูปแบบของปัจจัยที่สัมพันธ์กันจาก FP-tree ที่สร้างขึ้นในขั้นตอนแรก



ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างการใช้โปรแกรม RapidMiner Studio ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค FP-Growth

FrequentItemSets (FP-Growth)		AssociationRules (Create Association Rules)		
No. of Sets: 82	Size	Support	Item 1	Item 2
Total Max. Size: 3	1	0.661	Rest	
Min. Size: 1	1	0.658	Farm	
Max. Size: 3	1	0.631	Media	
Contains Item:	1	0.622	popular	
Update View	1	0.607	teacher_info	
	1	0.601	knowledge	
	1	0.529	senior1	
	1	0.520	In_Med	
	1	0.505	friend	
	1	0.402	LPRU	
	2	0.505	Teacher	Family
	2	0.556	Teacher	content
	2	0.529	Teacher	program_name
	2	0.517	Teacher	Rest

ภาพที่ 5 แสดงผลลัพธ์จากการใช้โปรแกรม RapidMiner Studio ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค FP-Growth

4. ผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ทราบรูปแบบหรือคุณลักษณะและปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง นั้น เมื่อทำการลดมิติของข้อมูลด้วยเทคนิค Evolutionary Selection ทำให้สามารถลดมิติของข้อมูลจากเดิม 57 ปัจจัย เหลือเพียง 36 ปัจจัย ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างของมิติข้อมูล 10 อันดับแรกที่มีค่าน้ำหนักของปัจจัยสูงสุดเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงตัวอย่าง 10 อันดับ ของปัจจัยที่มีค่าน้ำหนักสูงสุด

ลำดับที่	ปัจจัย	ค่าน้ำหนัก
1	ค่าเล่าเรียน	1.000
2	บิดามารดาทำธุรกิจส่วนตัว	0.984
3	บิดามารดาเป็นพนักงานรัฐวิสาหกิจ	0.952
4	ต้องทำงานพิเศษหารายได้ระหว่างเรียน	0.915
5	การแนะนำของครูแนะแนวมีผลต่อการตัดสินใจเลือกศึกษาต่อ	0.887
6	เป็นเพศหญิง	0.877
7	กิจกรรมยามว่างทำสิ่งอื่น ๆ นอกเหนือจาก อ่านหนังสือ เล่นอินเทอร์เน็ต ท่องเที่ยว ออกกำลังกาย พักผ่อน ทบพวนบทเรียน	0.821
8	รับทราบข่าวสารการประชาสัมพันธ์โดยการออกประชาสัมพันธ์โดยคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	0.807
9	ตำแหน่งที่ตั้งของมหาวิทยาลัยมีผลต่อการเลือกตัดสินใจ	0.788
10	เนื้อหาสาระของหลักสูตร	0.784

เมื่อได้ปัจจัยที่ต้องการแล้วจึงนำมาใช้ประกอบการหากฎความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง โดยการหากฎความสัมพันธ์ (Association Rules)

(FP-Growth) AssociationRules (Create Association Rules)					
No.	Premises	Conclusion	Support	Confidence	Conviction
31	Media, popular	program_name	0.420	0.859	2.213
32	content, teacher_info	program_name	0.420	0.864	2.300
33	popular	content	0.538	0.865	2.065
34	program_name, teacher_info	Media	0.429	0.867	2.770
35	Media, teacher_info	program_name	0.429	0.867	2.342
36	popular, teacher_info	program_name	0.399	0.875	2.498
37	Media, popular	content	0.429	0.877	2.276
38	program_name, knowledge	content	0.411	0.878	2.293
39	Teacher, popular	content	0.417	0.880	2.322
40	popular, teacher_info	Media	0.402	0.882	3.119
41	program_name, Media	content	0.453	0.888	2.499
42	program_name, popular	content	0.456	0.894	2.638

ภาพที่ 6 แสดงค่าความเชื่อมั่น ค่าสนับสนุน และค่าสหสัมพันธ์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำมาสร้างเป็นกฎที่เกี่ยวข้องกับการเลือกศึกษาต่อ สามารถสร้างกฎความสัมพันธ์ได้ 35 กฎ ตัวอย่างเช่น

1) [popular] --> [content] (confidence : 0.865) สามารถอธิบายกฎได้ว่าหากนักศึกษาที่เลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมีความเห็นว่าหลักสูตรเป็นที่นิยม แสดงว่าเนื้อหาสาระของรายวิชาในหลักสูตรมีผลต่อการตัดสินใจ โดยมีค่าความเชื่อมั่น 0.865 หรือร้อยละ 86.5

2) [Media,popular] -->[program_name] (confidence : 0.859) สามารถอธิบายกฎได้ว่าหากนักศึกษาที่เลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมได้รับการประชาสัมพันธ์จากช่องทางต่าง ๆ และหลักสูตรมีความนิยมจะเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม แสดงว่าชื่อหลักสูตรมีผลต่อการตัดสินใจ โดยมีค่าความเชื่อมั่น 0.859 หรือร้อยละ 85.9

3) [popular,teacher_info] -->[program_name] (confidence : 0.875) สามารถอธิบายกฎได้ว่าหากนักศึกษาที่เลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเห็นว่าหลักสูตรเป็นที่นิยม และได้รับการแนะนำจากอาจารย์แนะแนว แสดงว่าชื่อหลักสูตรมีผลต่อการตัดสินใจ โดยมีค่าความเชื่อมั่นที่ 0.875 หรือร้อยละ 87.5

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการดำเนินการวิจัยที่มีเป้าหมายเพื่อค้นหาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง และเพื่อหารูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

โดยการวิเคราะห์ข้อมูล จากข้อมูลพื้นฐานของนักศึกษาที่ได้รับจากกองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง และจากการรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามด้านปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกศึกษาต่อที่สำรวจจากนักศึกษาปัจจุบัน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) ในการค้นหาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมด้วยเทคนิคการลดมิติของข้อมูลแบบ Evolutionary Selection พบว่าปัจจัยที่ได้จากการสำรวจจำนวน 57 ปัจจัย มีเพียง 36 ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกตัดสินใจเข้าศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอย่างแท้จริง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จะเกี่ยวเนื่องกับค่าใช้จ่ายในการศึกษาต่อ การรับทราบข่าวสารการเปิดรับสมัครเรียน และอิทธิพลของบุคคลแวดล้อมของนักศึกษาเป็นหลัก

2) ในการหารูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้นำปัจจัยที่ได้จากการลดมิติข้อมูลด้วยเทคนิค Evolutionary Selection แล้วจำนวน 36 ปัจจัย มาทำการวิเคราะห์เพื่อหากฎของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้วยเทคนิค FP-Growth พบว่า มีกฎความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้สำหรับการเลือกตัดสินใจในการเข้าศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมจำนวน 35 กฎ โดยมีกฎที่มีค่าความเชื่อมั่นสูงสุดที่ 5 อันดับ ได้แก่

2.1) [program_name, popular] --> [content] (confidence : 0.894) สามารถอธิบายกฎได้ว่าหากนักศึกษาที่เลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมชื่อของหลักสูตรและหลักสูตรมีความนิยมจะเลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม แสดงว่าเนื้อหาของหลักสูตรมีผลต่อการตัดสินใจ โดยมีค่าความเชื่อมั่น 0.894 หรือ ร้อยละ 89.4

2.2) [program_name, Media] --> [content] (confidence: 0.888) สามารถอธิบายกฎได้ว่าหากนักศึกษาที่เลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้รับทราบชื่อหลักสูตรและได้รับสื่อประชาสัมพันธ์ แสดงว่าเนื้อหาของหลักสูตรมีผลการตัดสินใจ โดยมีค่าความเชื่อมั่น 0.888 หรือ ร้อยละ 88.8

2.3) [popular, teacher_info] --> [Media] (confidence: 0.882) สามารถอธิบายกฎได้ว่าหากนักศึกษาที่เลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มีความเห็นว่าหลักสูตรเป็นที่นิยม และได้รับข้อมูลเกี่ยวกับอาจารย์ประจำหลักสูตร แสดงว่ารูปแบบของเอกสารประชาสัมพันธ์ของหลักสูตรมีผลการตัดสินใจ โดยมีค่าความเชื่อมั่น 0.882 หรือ ร้อยละ 88.2

2.4) [Teacher, popular] --> [content] (confidence: 0.880) สามารถอธิบายกฎได้ว่าหากนักศึกษาที่เลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้รับข้อมูลหลักสูตรจากอาจารย์แนะแนว และมีความเห็นว่าหลักสูตรเป็นที่นิยม แสดงว่าเนื้อหาของหลักสูตรมีผลการตัดสินใจ โดยมีค่าความเชื่อมั่น 0.880 หรือ ร้อยละ 88.0

2.5) [program_name, knowledge] → [content] (confidence: 0.878) สามารถอธิบายกฎได้ว่าหากนักศึกษาที่เลือกศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้รับทราบชื่อหลักสูตร และมีความรู้พื้นฐานที่เหมาะสมกับหลักสูตร แสดงว่าเนื้อหาของหลักสูตรมีผลการตัดสินใจโดยมีค่าความเชื่อมั่น 0.878 หรือ ร้อยละ 87.8

ทั้งนี้จากการดำเนินงานวิจัย เพื่อค้นหาปัจจัย และความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกศึกษาต่อของนักศึกษาในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง พบว่าในความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีค่าความเชื่อมั่นสูงนั้น ส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่าชื่อของหลักสูตร และเนื้อหาของการเรียนการสอนมีผลต่อการเลือกศึกษาต่อ ทั้งนี้ส่วนหนึ่งมีเรื่องของรูปแบบสื่อประชาสัมพันธ์เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นในแนวทางของการประชาสัมพันธ์การเข้าศึกษาต่อในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ควรเน้นไปในด้านของชื่อหลักสูตร และรูปแบบของสื่อประชาสัมพันธ์ อีกทั้งประเด็นหนึ่งที่มองข้ามไม่ได้คือ การที่หลักสูตรนั้นเป็นที่นิยม ก็ส่งผลต่อการเลือกศึกษาต่อเช่นกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการ คณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ที่ช่วยให้ข้อเสนอแนะ คำติชม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางและนักศึกษาคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่ให้ข้อมูล ความคิดเห็นเพื่อนำมาใช้ในการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- Laokietkul, J. (2015). **Introduction to Data Mining**. Bangkok : Chandrakasem Rajabhat University. (in Thai)
- Limtrakul, P and Jaroenpuntaruk, V and Pompatcharapong, W. (2016). Development of a Model to Predict Cassava Yield Using Data Mining. **Veridian E-Journal, Science and Techonolgy Silpalorn University**, 3(3), 15 - 36. (in Thai)
- Srimakorn, S. (2016). A Decision Support System for Epidemiological surveillance in Livestock Using Fuzzy C-means Clustering. **Inductrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**, 9(2), 85 – 93. (in Thai)
- Vonganansup, S and Yampaka, T and Moosika, O.(2016). Applied Data Mining Techniques to Analize Pre-Test and Skill-test for increased student potential. **Rajamangala University of Technology Tawan-ok Social Science Journal**. 5(1),12-19. (in Thai)

การจำลองสถานการณ์เพื่อวางแผนในการเติมเต็ม ของหน่วยจ่ายผ้ากลาง โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ Simulation of Replenishment Planning for the Central Supply Laundry Department in Songklanagarind Hospital

นิติพัฒน์ เหล่ามงคลชัยศรี^{1*}, วณัฐพงษ์ คงแก้ว² และนิกร ศิริวงศ์ไพศาล³

Nitipat Laomongkholsaisri^{1*}, Wanatchapong Kongkaew² and Nikorn Sirivongpaisal³

^{1*,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่

จังหวัดสงขลา 90112 E-mail : nitipat.laomongkholsaisri@gmail.com โทรศัพท์ 08 3190 3977

^{1*,2,3} Master of Engineering Program in Logistics and Supply Chain Engineering, Department of Industrial Engineering,
Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Kho Hong, Hat Yai, Songkhla, 90112

E-mail : nitipat.laomongkholsaisri@gmail.com, Tel. +668 3190 3977

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ประยุกต์รูปแบบการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอระหว่างการเติมเต็มแบบต่อเนื่องและการเติมเต็มแบบตามระยะเวลาที่กำหนดของหน่วยจ่ายผ้ากลางภายในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ด้วยการจำลองสถานการณ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในคลังของหอผู้ป่วยและลดจำนวนเที่ยวในการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของหน่วยจ่ายผ้ากลาง ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอรูปแบบการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอจำนวน 2 แนวทาง และมีเงื่อนไขการให้บริการที่ระดับการให้บริการร้อยละ 99 โดยแนวทางที่ 1 ได้แบ่งกลุ่มลำดับความสำคัญแบบ ABC และมีเพียงกลุ่ม A ที่ใช้รูปแบบการเติมเต็มแบบต่อเนื่อง ส่วนกลุ่มลำดับความสำคัญอื่น ๆ (B และ C) จะใช้รูปแบบการเติมเต็มแบบตามระยะเวลาที่กำหนด สำหรับแนวทางที่ 2 ทุกกลุ่มลำดับความสำคัญจะใช้รูปแบบการเติมเต็มแบบตามระยะเวลาที่กำหนด จากผลการทดลองด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์ พบว่า แนวทางที่ 2 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ได้ โดยมีปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของทุกประเภททั้งหมด 1,398 ผืนต่อวัน ลดลงจากปริมาณการจัดเก็บในสภาพปัจจุบัน 562 ผืนต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 28.67 และมีจำนวนเที่ยวในการเติมเต็ม 86 เที่ยวต่อเดือน ลดลงจากจำนวนเที่ยวในสภาพปัจจุบัน 34 เที่ยวต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 28.33

คำสำคัญ : การขนส่ง, การจำลองสถานการณ์, สินค้าคงคลัง, การเติมเต็ม, โรงพยาบาลสงขลานครินทร์

Abstract

Using the simulation technique, this research applied two replenishment models: 1) continuous review policy; and 2) periodic review policy, to the Central Supply Laundry

Department (CSLD) in Songklanagarind Hospital. The objective of this study was to reduce the inventory of fabrics in the medical wards and the number of trips to replenish the fabrics supported by the CSLD. In this research, two replenishment scenarios were presented according to a 99% service level. The first scenario classified all fabric using the ABC method. The continuous review policy was then applied to all fabrics in the A group while the fabrics in the other groups (B and C) were replenished using the periodic review policy. In the second scenario all fabrics were replenished using the periodic review policy. Using the simulation technique, it was found that the second scenario was the most promising implementation method in this hospital case. In this scenario, 1,471 pieces in the daily fabric inventory could be reduced by 489 pieces (a decrease of 24.95 per cent), compared with the current situation. Conversely, there was an increase in the number of monthly trips of 76.67 per cent (from 92 trips to 212 trips).

Keywords : Transportation, Simulation, Inventory, Replenishment, Songklanagarind Hospital

1. บทนำ

ปัจจุบันโรงพยาบาลสงขลานครินทร์เป็นโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยระดับตติยภูมิขั้นสูง (Super tertiary care) และเป็นศูนย์กลางทางการแพทย์ของรัฐที่ใหญ่ที่สุดในภาคใต้ สามารถรองรับผู้ป่วยได้ 853 เตียง ให้บริการรักษาพยาบาลผู้ป่วยนอก ผู้ป่วยใน ผู้ป่วยอุบัติเหตุและฉุกเฉินในสาขาต่าง ๆ ทำให้ต้องมีการจัดการทางด้านการบริการ เพื่อยกระดับความสามารถในการให้บริการภายในโรงพยาบาลให้มีประสิทธิภาพ (Kritchanchai, D., and et al., 2016) โดยทางโรงพยาบาลเป็นองค์กรที่มีผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์หลากหลายประเภท เช่น ยาเวชภัณฑ์ อุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ และเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ เป็นต้น ซึ่งเป็นทรัพยากรที่สำคัญและมีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อชีวิตผู้เข้ารับบริการทางการแพทย์ ทั้งนี้ปริมาณสินค้าส่งผลกระทบต่อโรงพยาบาล ในแง่ของเงินทุนที่ใช้ไปในการสำรองสินค้าให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้รับบริการ หากมีการสำรองสินค้าคงคลังไว้มาก แม้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้รับบริการได้ดี แต่ในขณะเดียวกันปริมาณสินค้าคงคลังที่มาก ย่อมส่งผลกระทบต่อโรงพยาบาลในแง่ของการเสียโอกาสในการนำเงินทุนไปหมุนเวียน เสียค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้า ดังนั้น การบริหารระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสมให้สามารถตอบสนองความต้องการของผู้รับบริการในต้นทุนที่เหมาะสมนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งของโรงพยาบาลในภาวะปัจจุบัน (Maneeniam, U., 2009)

เครื่องแต่งกายและสิ่งทอถือเป็นกลุ่มหนึ่งในอุปกรณ์เครื่องใช้และวัสดุทางการแพทย์หลากหลายประเภทที่ทางโรงพยาบาลต้องมีการจัดการในคลัง เพื่อให้สามารถตอบสนอง

ต่อความต้องการของผู้รับบริการในต้นทุนที่เหมาะสมได้ นับว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งของโรงพยาบาล ปัจจุบันทางโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ มีหน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ คือ หน่วยจ่ายผ้ากลางมีปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในคลังที่เหมาะสมคิดเป็นร้อยละ 45 ของเครื่องแต่งกายและสิ่งทอทั้งหมด ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอไปยังจุดสำหรับใช้งาน โดยมีจุดสำหรับใช้งานเครื่องแต่งกายและสิ่งทอทั้งหมด 3 แห่ง ได้แก่ หอผู้ป่วย มีปริมาณในการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในคลังที่เหมาะสมคิดเป็นร้อยละ 35 ของผ้าทั้งหมด ภาควิชา มีปริมาณในการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในคลังที่เหมาะสมคิดเป็นร้อยละ 10 ของผ้าทั้งหมด และหน่วยงานอื่น ๆ มีปริมาณในการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในคลังที่เหมาะสมคิดเป็นร้อยละ 10 ของผ้าทั้งหมด จึงจะมีสภาพคล่องในการหมุนเวียนการใช้งาน ซึ่งมาจากการกำหนดร่วมกันของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แต่ในสภาพปัจจุบันหอผู้ป่วยมีปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในคลังเพิ่มมากขึ้นเป็นร้อยละ 45 ในขณะที่หน่วยจ่ายผ้ากลางมีปริมาณผ้าในคลังเหลือเพียงร้อยละ 30 ทำให้ขาดสภาพคล่องในการหมุนเวียน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

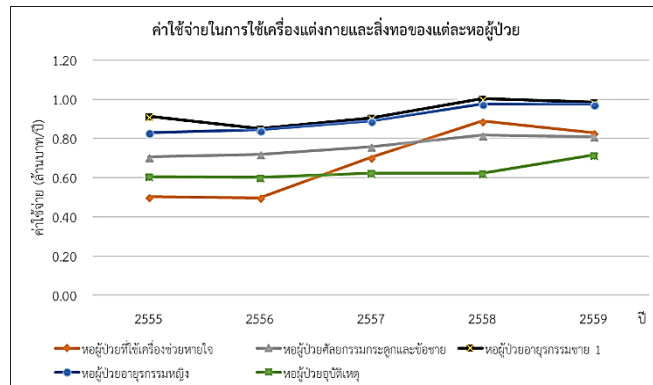
- 2.1 เพื่อลดปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในคลังของหอผู้ป่วย
- 2.2 เพื่อลดจำนวนเที่ยวในการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของหน่วยจ่ายผ้ากลาง

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาข้อมูลรายงานการเบิก - จ่ายเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของหน่วยจ่ายผ้ากลางย้อนหลังเป็นระยะเวลา 1 ปี ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2558 จนถึง เดือนตุลาคม พ.ศ.2559 และเก็บข้อมูลจากการสำรวจการเบิก - จ่ายเครื่องแต่งกายและสิ่งทอจากสภาพปัจจุบัน (เดือนมกราคม พ.ศ.2560 จนถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2560) เพื่อนำมาเปรียบเทียบข้อมูลการเบิก - จ่ายเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของในอดีตและสภาพปัจจุบันว่ามีแนวโน้มของข้อมูลใกล้เคียงกัน โดยในปัจจุบันหน่วยจ่ายผ้ากลางมีช่วงเวลานำ 3 ชั่วโมง (ระยะเวลาตั้งแต่สั่งจนกระทั่งหอผู้ป่วยได้รับเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ) และมีจำนวนเที่ยวในการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอจำนวน 1 เที่ยวต่อวันต่อหอผู้ป่วย หรือ 30 เที่ยวต่อเดือนต่อหอผู้ป่วย

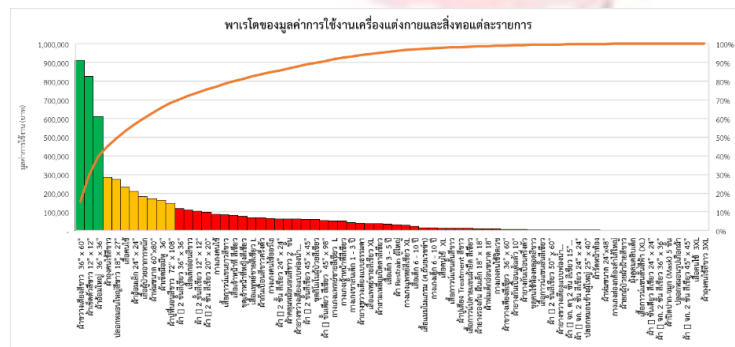
3.2 การกำหนดกลุ่มประชากรตัวอย่าง จากการศึกษาข้อมูลค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องแต่งกายและสิ่งทอของแต่ละหอผู้ป่วยจากจำนวน 40 หอผู้ป่วย พบว่า หอผู้ป่วยอายุรกรรมชาย 1 และหอผู้ป่วยอายุรกรรมหญิง มีค่าใช้จ่ายเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของแต่ละหอผู้ป่วยสูงที่สุดมาเป็นอันดับ 1 และอันดับ 2 ดังภาพที่ 1 ซึ่งทั้ง 2 หอผู้ป่วย มีลักษณะการใช้งานเครื่องแต่งกายและสิ่งทอที่คล้ายคลึงกัน จึงนำหอผู้ป่วยทั้งสองมาเป็นกรณีศึกษาในการศึกษาข้อมูลปริมาณการจัดเก็บของแต่ละหอผู้ป่วย

เพื่อลดปัญหาปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอที่เหลือในคลังในแต่ละวัน เนื่องจากหอผู้ป่วยอายุรกรรมยังมีอีก 2 หอผู้ป่วย คือ หอผู้ป่วยอายุรกรรมชาย 2 และหอผู้ป่วยอายุรกรรมทั่วไป จึงนำมาศึกษาด้วย



ภาพที่ 1 ค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องแต่งกายและสิ่งทอของแต่ละหอผู้ป่วย

หลังจากได้หอผู้ป่วยที่นำมาศึกษาแล้ว จึงนำประเภทของเครื่องแต่งกายและสิ่งทอจากหอผู้ป่วยทั้งหมดมาจัดกลุ่มลำดับความสำคัญ ABC analysis (Jaitwijitra, C., 2004), (Suntivong, C., 2003), (Lalitaporn, P., 2006) ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มจากมูลค่าการใช้งานเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ ของแต่ละชนิดจากหอผู้ป่วยทั้งหมดที่ทำการเบิก - จ่าย เช่น ผ้าขาวเตียงสีขาว 36" x 60" มีมูลค่าการใช้งาน 910,469 บาท คิดเป็นร้อยละ 15.50 และอยู่ในกลุ่มลำดับความสำคัญ A ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 พาเรโตของมูลค่าการใช้งานเครื่องแต่งกายและสิ่งทอแต่ละรายการจากหอผู้ป่วยทั้งหมด

3.3 การออกแบบรูปแบบการเติมเต็ม ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบรูปแบบการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอที่สอดคล้องกับสภาพการทำงานภายในโรงพยาบาล แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีการเติมเต็มอย่างต่อเนื่อง (Continuous review policy) หรือ (r,R) policy และกรณีการเติมเต็มตามระยะเวลาที่กำหนด (Periodic review policy) หรือ (R,T) policy (Lalitaporn, P., 2006) โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบัน (เดือนมกราคม พ.ศ.2560 จนถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2560) และเลือกใช้วิธีการทดสอบการแจกแจงทางสถิติของข้อมูลด้วยวิธีโคโมโกรอฟ-สมอร์นอฟ

(Kolmogorov-Smirnov test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีการแจกแจงแบบปกติ ดังตารางที่ 1 และเพื่อป้องกันปัญหาที่จะทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสที่เครื่องแต่งกายและสิ่งทอจะไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการ อีกทั้งในปัจจุบันทางหน่วยจ่ายผ้ากลางมีระดับการให้บริการอยู่ที่ประมาณร้อยละ 99 ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดระดับการให้บริการที่ร้อยละ 99

ตารางที่ 1 การแจกแจงและพารามิเตอร์ของข้อมูลความต้องการเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของแต่ละหอผู้ป่วย

หอผู้ป่วย	ผ้าขาวเตียงสีขาว 36" x 60"			ผ้าเช็ดตัวสีขาว 12" x 12"		
	การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์		การแจกแจง	ค่าพารามิเตอร์	
		ค่าเฉลี่ย (ผืนต่อวัน)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ผืนต่อวัน)		ค่าเฉลี่ย (ผืนต่อวัน)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ผืนต่อวัน)
อายุรกรรมหญิง	ปกติ	250.00	89.20	ปกติ	102.00	8.96
อายุรกรรมทั่วไป	ปกติ	71.90	23.60	ปกติ	72.30	15.00
อายุรกรรมชาย 1	ปกติ	198.00	44.00	ปกติ	173.00	69.40
อายุรกรรมชาย 2	ปกติ	42.50	6.72	ปกติ	86.50	8.45

1) กระบวนการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของหน่วยจ่ายผ้ากลางแบบการเติมเต็มอย่างต่อเนื่องหรือนโยบายแบบ (r,R) เมื่อเครื่องแต่งกายและสิ่งทอลดลงจนถึงจุดเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ (Reorder point) จะมีการเติมเต็ม โดยในการเติมเต็มแต่ละครั้งจะมีปริมาณการเติมที่เท่ากัน สามารถคำนวณหาจุดเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ (r) ได้จากสมการ (1) และปริมาณที่ควรจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในหอผู้ป่วยสูงสุด (R) ได้จากสมการ (2) และปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอสํารองในหอผู้ป่วย (ss) ได้จากสมการ (3) (Lalitaporn, P., 2006) เพื่อให้เหมาะสมกับปริมาณการใช้งานของแต่ละหอผู้ป่วย จากข้อมูลในอดีต พบว่า ปริมาณการใช้เครื่องแต่งกายและสิ่งทอมีพฤติกรรมการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้น สมการในการคำนวณจึงใช้การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

$$\sigma = 1 - \bar{\sigma} = \frac{S_D L \left(\frac{r - \mu}{S_D} \right)}{Q} \quad (1)$$

$$R = r + Q \quad (2)$$

$$r = ss + \mu_\tau \quad (3)$$

σ : โอกาสที่เครื่องแต่งกายและสิ่งทอไม่เพียงพอต่อการบริการ

$\bar{\sigma}$: ระดับการให้บริการ

S_D	:	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการของเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ
R	:	ปริมาณที่ควรจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในหอผู้ป่วยสูงสุด
r	:	จุดเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ
μ_τ	:	ค่าเฉลี่ยความต้องการเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในช่วง τ
τ	:	ช่วงเวลาเตรียมและจัดส่งเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ (ช่วงเวลานำ (ชั่วโมง))
$L\left(\frac{r-\mu}{S_D}\right)$	:	ความสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอไม่เพียงพอต่อความต้องการ
Q	:	ปริมาณเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในแต่ละครั้ง
ss	:	ปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอสำรองในหอผู้ป่วย

การคำนวณหาปริมาณการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในแต่ละครั้ง (Quantity, Q) สามารถคำนวณได้จากสมการ (4) (Jaitwijitra, C., 2004)

$$Q = \sqrt{\frac{2SD}{H}} \quad (4)$$

Q	:	ปริมาณเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในแต่ละครั้ง
S	:	ต้นทุนในการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ
D	:	ปริมาณความต้องการใช้งานเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ
H	:	ต้นทุนในการถือครองเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ

2) กระบวนการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของหน่วยจ่ายผ้ากลางแบบการเติมเต็มตามระยะเวลาที่กำหนดหรือนโยบายแบบ (R,T) ในขั้นตอนแรกจะมีการกำหนดช่วงเวลาในการเติมเต็มของแต่ละครั้ง ซึ่งในการเติมเต็มแต่ละครั้งจะมีปริมาณในการเติมเต็มที่ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอที่เหลืออยู่ในหอผู้ป่วย กระบวนการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของหน่วยจ่ายผ้ากลางแบบการเติมเต็มตามระยะเวลาที่กำหนด สามารถคำนวณหาปริมาณที่ควรจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในหอผู้ป่วยสูงสุด (R) ได้จากสมการ (5) และปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอสำรองในหอผู้ป่วย (ss) ได้จากสมการ (6) (Lalitaporn, P., 2006) ซึ่งเป็นการคำนวณที่ใช้การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ดังนี้

$$\sigma = 1 - \bar{\sigma} = \frac{SL\left(\frac{R-\mu}{S}\right)}{Td} \quad (5)$$

$$R = \mu_{T+\tau} + ss \quad (6)$$

- σ : โอกาสที่เครื่องแต่งกายและสิ่งทอไม่เพียงพอต่อการบริการ
 $\bar{\sigma}$: ระดับการให้บริการ
 S : ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการของเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ
 R : ปริมาณที่ควรจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในหอผู้ป่วยสูงสุด
 T : รอบเวลาในการตรวจสอบปริมาณคงคลัง
 τ : ช่วงเวลาเตรียมและจัดส่งเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ (ช่วงเวลานำ (ชั่วโมง))
 $\mu_{T+\tau}$: ค่าเฉลี่ยความต้องการเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในช่วง $T + \tau$
 d : ปริมาณความต้องการที่คาดหวังของเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ
 $L\left(\frac{R-\mu}{S}\right)$: ความสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอไม่เพียงพอต่อความต้องการ
 SS : ปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอสำรองในหอผู้ป่วย

3.4 การพัฒนาตัวแบบจำลองการเติมเต็ม ในการพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์ในครั้งนี้ ใช้การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel โดยจำลองสถานการณ์จากข้อมูลในข้างต้น เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการเติมเต็มที่สุดคล้อยกับกรณีศึกษาทั้งหมด 2 รูปแบบ คือ การเติมเต็มอย่างต่อเนื่อง และการเติมเต็มตามระยะเวลาที่กำหนด

1) การจำลองสถานการณ์การเติมเต็มแบบต่อเนื่อง เมื่อคำนวณหาปริมาณที่ควรจัดเก็บสูงสุดในคลังและจุดเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอแล้ว จึงจำลองสถานการณ์การเติมเต็มแบบต่อเนื่อง เพื่อพิจารณาสถานการณ์ที่เครื่องแต่งกายและสิ่งทอจะไม่เพียงพอต่อการบริการ และวิเคราะห์หาจำนวนเที่ยวในการเติมเต็มในแต่ละเดือน โดยใช้แผ่นคำนวณ (Spreadsheet) ซึ่งในแต่ละแผ่นคำนวณจะแสดงข้อมูลปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในแต่ละชั่วโมงที่ใช้กันไป และมีตัวแปรในการตัดสินใจ คือจุดเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ (Reorder Level) และปริมาณที่ควรจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในหอผู้ป่วยสูงสุด (Maximum Inventory) ดังแสดงในภาพที่ 3 แบบจำลองเวลาในการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอด้วยนโยบายแบบ (r,R)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Reorder Level	12	Pieces											
2	Order Qty	204	Pieces											
3	Max Inventory	216	Pieces											
4	Lead Time	3	Hour											
5	Sum Demand	2970.0	Pieces											
6	Sum Lost Sales	41.0	Pieces											
7	Service Level	99%												
8	Transportation	14	Trip											
9														
10	Day	Hour (1)	Hour (2)	Units Rc	Begin Inv.	Demand(Day)	Percentage	Demand (hour)	End Inv.	New Level	Lost Sales	Order?	Lead Time	Recpt Day
11		16	1	0.0	216.0	102.0	1.51	2.0	214.0	214.0	0.0	No		
12		17	2	0.0	214.0	102.0	1.83	2.0	212.0	212.0	0.0	No		
13		18	3	0.0	212.0	102.0	1.51	2.0	210.0	210.0	0.0	No		
14		19	4	0.0	210.0	102.0	1.61	2.0	208.0	208.0	0.0	No		
15		20	5	0.0	208.0	102.0	1.60	2.0	206.0	206.0	0.0	No		
16		21	6	0.0	206.0	102.0	1.73	2.0	204.0	204.0	0.0	No		
17		22	7	0.0	204.0	102.0	2.03	2.0	202.0	202.0	0.0	No		
18		23	8	0.0	202.0	102.0	1.51	2.0	200.0	200.0	0.0	No		
19		24	9	0.0	200.0	102.0	1.83	2.0	198.0	198.0	0.0	No		
20		1	10	0.0	198.0	102.0	0.54	1.0	197.0	197.0	0.0	No		
21		2	11	0.0	197.0	102.0	0.43	0.0	197.0	197.0	0.0	No		
22		3	12	0.0	197.0	102.0	0.66	1.0	196.0	196.0	0.0	No		
23		4	13	0.0	196.0	102.0	0.64	1.0	195.0	195.0	0.0	No		
24		5	14	0.0	195.0	102.0	31.88	33.0	162.0	162.0	0.0	No		

ภาพที่ 3 แบบจำลองเวลาในการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอด้วยนโยบายแบบ (r,R)

2) การจำลองสถานการณ์การเติมเต็มตามระยะเวลาที่กำหนด เมื่อคำนวณหาปริมาณที่ควรจัดเก็บสูงสุดในคลังและจุดเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอแล้ว จึงจำลองสถานการณ์การเติมเต็มแบบตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อพิจารณาสถานการณ์ที่เครื่องแต่งกายและสิ่งทอจะไม่เพียงพอต่อการบริการและวิเคราะห์หาจำนวนเที่ยวในการเติมเต็มในแต่ละเดือน โดยใช้แผ่นคำนวณ (Spreadsheet) ซึ่งในแต่ละแผ่นคำนวณจะแสดงข้อมูลปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในแต่ละชั่วโมงที่ใช้งานไป โดยมีตัวแปรในการตัดสินใจ คือ ปริมาณที่ควรจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในหอผู้ป่วยสูงสุด (Max Inventory) ดังแสดงในภาพที่ 4 แบบจำลองเวลาในการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอด้วยนโยบายแบบ (R,T)

7	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Max Inventory	110	Pieces										
2	Safety Stock	8											
3	Lead Time	3	Hour										
4	Sum Demand	3147.0	Pieces										
5	Sum Shortage	22.0	Pieces										
6	Service Level	99%											
7	Transportation	30	Trip										
8													
9	Day	Hour (1)	Hour (2)	Units R	Begin Inv.	Demand (Day)	Percentage	Demand (hour)	End Inv.	Shortage	Order?	Lead Time	Receipt Day
10		16	1	0.0	110.0	109.0	1.51	2.0	108.0	0.0	No		
11		17	2	0.0	108.0	109.0	1.83	2.0	106.0	0.0	No		
12		18	3	0.0	106.0	109.0	1.51	2.0	104.0	0.0	No		
13		19	4	0.0	104.0	109.0	1.61	2.0	102.0	0.0	No		
14		20	5	0.0	102.0	109.0	1.60	2.0	100.0	0.0	No		
15		21	6	0.0	100.0	109.0	1.73	2.0	98.0	0.0	No		
16		22	7	0.0	98.0	109.0	2.03	2.0	96.0	0.0	No		
17		23	8	0.0	96.0	109.0	1.51	2.0	94.0	0.0	No		
18		24	9	0.0	94.0	109.0	1.83	2.0	92.0	0.0	No		
19		1	10	0.0	92.0	109.0	0.54	1.0	91.0	0.0	No		
20		2	11	0.0	91.0	109.0	0.43	0.0	91.0	0.0	No		
21		3	12	0.0	91.0	109.0	0.66	1.0	90.0	0.0	No		
22		4	13	0.0	90.0	109.0	0.64	1.0	89.0	0.0	No		
23		5	14	0.0	89.0	109.0	31.88	35.0	54.0	0.0	No		
24		6	15	0.0	54.0	109.0	31.99	35.0	19.0	0.0	No		

ภาพที่ 4 แบบจำลองเวลาในการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอด้วยนโยบายแบบ (R,T)

3.5 การตรวจสอบความถูกต้องและทดสอบความสมเหตุสมผล ในขั้นตอนนี้เป็นการทวนสอบตัวแบบเพื่อให้มั่นใจว่าตัวแบบที่พัฒนาขึ้นมีพฤติกรรมที่สอดคล้องกับระบบการทำงานจริงที่ทำการศึกษา โดยการเปรียบเทียบกระบวนการทำงานบนตัวแบบในแผ่นคำนวณ (Spreadsheet) กับผังกระบวนการทำงานของระบบจริง การตรวจสอบการใส่สูตรคำนวณ และการเปรียบเทียบผลการจำลองบนแผ่นคำนวณกับข้อมูลที่ได้จากระบบจริง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการพัฒนาตัวแบบ สำหรับการทดสอบความสมเหตุสมผลของตัวแบบที่พัฒนาขึ้นจะทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติระหว่างข้อมูลจากระบบจริงกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง ด้วยวิธีการทดสอบแบบ t (Two-Sample t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อยืนยันว่าตัวแบบที่พัฒนาขึ้นมีความสมเหตุสมผลกับระบบจริง

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิจัยเพื่อลดปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในคลังของหอผู้ป่วยจากแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของหน่วยจ่ายผ้ากลางทั้งหมด 2 แนวทาง คือ การเติมเต็มแบบต่อเนื่อง (r,R) และการเติมเต็มแบบตามระยะเวลาที่กำหนด (R,T) โดยแนวทางการเติมเต็มแบบต่อเนื่อง ต้องทำการคำนวณหาปริมาณการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอก่อนที่จะคำนวณหาปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ และได้ปริมาณการเติมเต็มเครื่องแต่ง

กายและสิ่งทอในแต่ละครั้งของการเติมเต็มแบบต่อเนื่อง โดยมีต้นทุนในการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ (s) ราคา 20.47 บาทต่อการเติมเต็ม 1 เทียวย ต้นทุนในการถือครองเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของผ้าขาวเตี๋ยสีขาว 36" x 60" ราคา 0.45 บาทต่อผืนต่อวัน และต้นทุนในการถือครองเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของผ้าเช็ดตัวสีขาว 12" x 12" ราคา 0.10 บาทต่อผืนต่อวัน โดยกำหนดปริมาณความต้องการใช้งานเฉลี่ยมาใช้ในการคำนวณ ดังตารางที่ 2 ในส่วนของกาเติมเต็มแบบตามระยะเวลาที่กำหนดนั้น ไม่ต้องทำการคำนวณหาปริมาณการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในแต่ละครั้ง แต่ปริมาณการเติมเต็มจะขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้ใช้ไป

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณหาปริมาณการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในแต่ละครั้ง

หอผู้ป่วย	ผ้าขาวเตี๋ยสีขาว 36" x 60"		ผ้าเช็ดตัวสีขาว 12" x 12"	
	ความต้องการใช้งาน (D) (ผืนต่อวัน)	ปริมาณการเติมเต็ม (Q) (ผืนต่อวัน)	ความต้องการใช้งาน (D) (ผืนต่อวัน)	ปริมาณการเติมเต็ม (Q) (ผืนต่อวัน)
อายุรกรรมหญิง	250	151	102	204
อายุรกรรมทั่วไป	72	81	73	173
อายุรกรรมชาย 1	198	134	173	266
อายุรกรรมชาย 2	43	63	87	189

เมื่อได้ผลการคำนวณหาปริมาณการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอแล้ว จึงนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอที่เหมาะสม ซึ่งได้ผลการคำนวณปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของทั้ง 2 แนวทาง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอแบบ (r,R) และ (R,T) ของกลุ่มลำดับความสำคัญ A (หน่วย : ผืนต่อวัน)

หอผู้ป่วย	ผ้าขาวเตี๋ยสีขาว 36" x 60"					ผ้าเช็ดตัวสีขาว 12" x 12"				
	สภาพปัจจุบัน	(r,R)		(R,T)		สภาพปัจจุบัน	(r,R)		(R,T)	
		R	r	R	ss		R	r	R	ss
อายุรกรรมหญิง	550	223	72	390	140	140	216	12	110	8
อายุรกรรมทั่วไป	180	98	17	109	37	140	183	21	95	20
อายุรกรรมชาย 1	360	175	40	258	60	330	309	43	288	115
อายุรกรรมชาย 2	120	69	6	52	9	140	198	10	96	9

หมายเหตุ : เนื่องจากหอผู้ป่วยอายุรกรรมไม่มีการใช้ผ้าอ้อมใหญ่ 36" x 36" จึงไม่นำมาคำนวณ

จากตารางที่ 3 พบว่า ผ้าขาวเตี๋ยงสีขาว 36" x 60" ของหอผู้ป่วยอายุรกรรมหญิง อายุรกรรมทั่วไป อายุรกรรมชาย 1 และอายุรกรรมชาย 2 มีปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอสูงสุดในสภาพปัจจุบัน คือ 550 180 360 และ 120 ผืนต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอสูงสุดจากการคำนวณการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอแบบต่อเนื่อง (r,R) คือ 223 98 175 และ 69 ผืนต่อวัน ตามลำดับ ลดลงจากปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอสูงสุดในสภาพปัจจุบัน คือ 327 82 185 และ 51 ผืนต่อวัน ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 59.45 45.56 51.39 และ 42.50 ตามลำดับ ปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอสูงสุดจากการคำนวณการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอแบบตามระยะเวลาที่กำหนด (R,T) คือ 390 109 258 และ 52 ผืนต่อวัน ตามลำดับ ลดลงจากปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอสูงสุดในสภาพปัจจุบัน คือ 160 71 102 และ 68 ผืนต่อวัน ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 29.02 39.20 28.38 และ 57.05 ตามลำดับ

ผ้าเช็ดตัวสีขาว 12" x 12" ของหอผู้ป่วยอายุรกรรมหญิง อายุรกรรมทั่วไป อายุรกรรมชาย 1 และอายุรกรรมชาย 2 มีปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในสภาพปัจจุบัน คือ 140 140 330 และ 140 ผืนต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอจากการคำนวณการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอแบบต่อเนื่อง (r,R) คือ 216 183 309 และ 198 ผืนต่อวัน ตามลำดับ โดยหอผู้ป่วยอายุรกรรมหญิง อายุรกรรมทั่วไป และอายุรกรรมชาย 2 มีปริมาณจัดเก็บเพิ่มขึ้นจากปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในสภาพปัจจุบัน 76 43 และ 58 ผืนต่อวัน ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 54.29 30.71 และ 41.43 เนื่องจากต้นทุนในการถือครองเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของผ้าเช็ดตัวสีขาว 12" x 12" มีราคา 0.10 บาทต่อผืนต่อวัน ทำให้เมื่อคำนวณหาปริมาณการเติมเต็มในแต่ละครั้งมีปริมาณสูง ส่งผลให้ปริมาณการจัดเก็บเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย และในส่วนของหอผู้ป่วยอายุรกรรมชาย 1 มีปริมาณจัดเก็บลดลงจากปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในปัจจุบัน คือ 21 ผืนต่อวัน ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 6.36 ปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอจากการคำนวณการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอแบบตามระยะเวลาที่กำหนด (R,T) คือ 110 95 287 และ 96 ผืนต่อวัน ตามลำดับ ลดลงจากปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอสูงสุดในสภาพปัจจุบัน คือ 30 47 43 และ 44 ผืนต่อวัน ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 21.43 32.14 13.03 และ 31.43ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของทุกประเภทเฉพาะกลุ่มลำดับความสำคัญ A (ดังตารางที่ 4) พบว่า สภาพปัจจุบันมีปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของทุกประเภทเฉพาะกลุ่มลำดับความสำคัญ A จำนวน 1,960 ผืนต่อวัน โดยแนวทางที่ 1 มีปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของทุกประเภทเฉพาะกลุ่มลำดับความสำคัญ A จากการจำลอง 1,471 ผืนต่อวัน น้อยกว่าสภาพปัจจุบันที่ 489 ผืนต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 24.95 ส่วนแนวทางที่ 2 มีปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของทุกประเภทเฉพาะกลุ่มลำดับความสำคัญ A จากการจำลอง 1,398 ผืนต่อวัน น้อยกว่าสภาพปัจจุบันที่ 562 ผืนต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 28.67

ตารางที่ 4 ปริมาณเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของทุกประเภทเฉพาะกลุ่มลำดับความสำคัญ A

หอผู้ป่วย	สภาพปัจจุบัน (ผืนต่อวัน)	แบบ (r,R) (ผืนต่อวัน)	แบบ (R,T) (ผืนต่อวัน)
อายุรกรรมหญิง	690	439	500
อายุรกรรมทั่วไป	320	281	204
อายุรกรรมชาย 1	690	484	546
อายุรกรรมชาย 2	260	267	148
รวม	1,960	1,471	1,398

4.2 ผลการวิจัยเพื่อลดจำนวนเที่ยวในการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของหน่วยจ่ายผ้ากลาง เมื่อนำปริมาณที่ควรจัดเก็บที่ออกแบบไว้มาทำการจำลองสถานการณ์ในแผนคำนวณที่พัฒนาขึ้น ดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4 สำหรับนโยบายการเติมเต็มแบบต่อเนื่อง (r,R) จะประยุกต์ใช้กับกลุ่มลำดับความสำคัญ A เพียงเท่านั้น ในขณะที่การเติมเต็มแบบตามระยะเวลา (R,T) จะประยุกต์ใช้กับทุกกลุ่มลำดับความสำคัญในแนวทางที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 จำนวนเที่ยวในการเติมเต็ม

ลำดับ ความสำคัญของ เครื่องแต่งกาย และสิ่งทอ	สภาพปัจจุบัน (จำนวนเที่ยว ต่อเดือน)	แนวทางที่ 1		แนวทางที่ 2	
		รูปแบบการ เติมเต็ม	จำนวนเที่ยว ต่อเดือน	รูปแบบการ เติมเต็ม	จำนวนเที่ยว ต่อเดือน
ไม่มี	120				
A		(r,R)	156	(R,T)	30
B		(R,T)	40	(R,T)	40
C		(R,T)	16	(R,T)	16
รวม	120		212		86

จากตารางที่ 5 พบว่า จำนวนเที่ยวในการเติมเต็มของความต้องการใช้งานเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในสภาพปัจจุบันมีทั้งหมด 120 เที่ยวต่อเดือน ในขณะที่แนวทางที่ 1 กลุ่มลำดับความสำคัญ A ทำการเติมเต็มแบบต่อเนื่อง (r,R) มีจำนวนเที่ยว 156 เที่ยวต่อเดือน และกลุ่มลำดับความสำคัญ B และ C ทำการเติมเต็มแบบตามระยะเวลาที่กำหนด (R,T) มีจำนวนเที่ยว 40 และ 16 เที่ยวต่อเดือนตามลำดับ รวมจำนวนเที่ยวทั้งหมด 212 เที่ยวต่อเดือน สำหรับแนวทางที่ 2 กลุ่มลำดับความสำคัญ A B และ C ทำการเติมเต็มแบบตามระยะเวลาที่กำหนด มีจำนวนเที่ยว 30 40 และ 16 เที่ยวต่อเดือน

ตามลำดับ รวมจำนวนเที่ยวทั้งหมด 86 เที่ยวต่อเดือน โดยแนวทางที่ 1 มีจำนวนเที่ยวมากกว่าจำนวนเที่ยวในสภาพปัจจุบันร้อยละ 76.67 ส่วนแนวทางที่ 2 มีจำนวนเที่ยวลดลงจากจำนวนเที่ยวในสภาพปัจจุบันร้อยละ 28.33

จากผลการวิจัยการลดปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในคลังของหอผู้ป่วยและลดจำนวนเที่ยวในการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของหน่วยจ่ายผ้ากลางภายในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ สามารถขยายผลการวิจัยดังกล่าวได้โดยการนำเครื่องมือหรือวิธีการในการคำนวณในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับการจัดการคลังสินค้าของหอผู้ป่วยอื่น ๆ และยังสามารถขยายผลไปยังหน่วยงานอื่น ๆ ที่ต้องมีการจัดการสินค้าในคลัง นอกจากนี้ โรงพยาบาลอื่น ๆ ก็ยังสามารถนำแนวทางดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานของโรงพยาบาลนั้น ๆ เพื่อลดปริมาณการจัดเก็บสินค้าในคลังและลดจำนวนเที่ยวในการเติมเต็มของสินค้าคงคลังของหน่วยงานภายในโรงพยาบาลนั้น ๆ ได้

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 บทความนี้ศึกษารูปแบบการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของหน่วยจ่ายผ้ากลางระหว่างการเติมเต็มแบบต่อเนื่อง และการเติมเต็มของแบบตามระยะเวลาที่กำหนด สำหรับโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ด้วยการจำลองสถานการณ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอในคลังและลดจำนวนเที่ยวในการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของหน่วยจ่ายผ้ากลางประกอบไปด้วย หอผู้ป่วยอายุรกรรมหญิง หอผู้ป่วยอายุรกรรมทั่วไป หอผู้ป่วยอายุรกรรมชาย 1 และหอผู้ป่วยอายุรกรรมชาย 2 และแบ่งกลุ่มลำดับความสำคัญของเครื่องแต่งกายและสิ่งทอได้เป็น 3 กลุ่ม (A, B และ C) และนำเสนอแนวทางการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอได้ทั้งหมด 2 แนวทาง โดยการใช้การจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลเป็นเครื่องมือในการจำลองสถานการณ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ผล โดยในสภาพปัจจุบันมีปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของทุกประเภททั้งหมด 1,960 ผืนต่อวัน และมีจำนวนเที่ยวในการเติมเต็ม 120 เที่ยวต่อเดือน สำหรับแนวทางที่ 1 ในส่วนของกลุ่มลำดับความสำคัญ A จะใช้รูปแบบการเติมเต็มแบบต่อเนื่อง และกลุ่มลำดับความสำคัญ B และ C จะใช้รูปแบบการเติมเต็มแบบตามระยะเวลาที่กำหนด จากการจำลอง พบว่า มีปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของทุกประเภททั้งหมด 1,471 ผืนต่อวัน สามารถลดปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของหอผู้ป่วยลง 489 ผืนต่อวัน ลดลงร้อยละ 24.95 และมีจำนวนเที่ยวในการเติมเต็ม 212 เที่ยวต่อเดือน เพิ่มขึ้นร้อยละ 76.67 ส่วนแนวทางที่ 2 ทุกกลุ่มลำดับความสำคัญจะใช้รูปแบบการเติมเต็มแบบตามระยะเวลาที่กำหนด จากการจำลอง พบว่า มีปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของทุกประเภททั้งหมด 1,398 ผืนต่อวัน สามารถลดปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอของหอผู้ป่วยลง 562 ผืนต่อวัน ลดลงร้อยละ 28.67 และมีจำนวนเที่ยวในการเติมเต็ม 86 เที่ยวต่อเดือน ลดลงร้อยละ 28.33

5.2 จากการศึกษา พบว่า การจัดกลุ่มลำดับความสำคัญและรูปแบบการเติมเต็มเครื่องแต่งกายและสิ่งทอ มีความสัมพันธ์กับปริมาณการจัดเก็บเครื่องแต่งกายและสิ่งทอและจำนวนเที่ยวในการเติมเต็มซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการจัดการสินค้าคงคลัง และสอดคล้องกับงานวิจัยการจัดกลุ่มลำดับความสำคัญ ABC เพื่อลดต้นทุนและปริมาณสินค้าในการจัดการสินค้าคงคลัง (Taksana, T., 2013) การจัดการ ABC analysis ที่ถูกนำมาใช้ในการควบคุมวัสดุทางทันตกรรมในคลัง ภายในโรงพยาบาลบังคาลอร์ ประเทศอินเดีย (Gupta, N. & Krishnappa, P., 2016) และการจัดการสต็อกในแผนกเภสัชกรรมของโรงพยาบาล ซึ่งมีปัญหาที่ซับซ้อนเนื่องจากความไม่แน่นอนของความต้องการยาและความหลากหลายของข้อจำกัด (Jurado, I., and et al., 2016) การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลในกรณีเติมเต็มสินค้าร่วมกันภายใต้สถานการณ์สินค้ามีกำหนดวันหมดอายุ และการหมุนเวียนสินค้าแบบเข้าหลังออกก่อน (Supithak, W. and Puliwekhin, S., 2017)

5.3 ผลที่ได้จากงานวิจัยเรื่องการจำลองสถานการณ์เพื่อวางแผนในการเติมเต็มของหน่วยจ่ายฝักกลาง โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ สามารถนำแนวทางไปประยุกต์ใช้ในส่วนอื่น ๆ ภายในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ อาทิ ขยายผลไปยังหอผู้ป่วยหรือหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีการจัดการสินค้าประเภทอื่นในคลังสินค้า เช่น หน่วยงานเวชภัณฑ์ หน่วยจ่ายยา เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำแนวทางที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้ในส่วนอื่นของโรงพยาบาลอื่น ๆ ที่มีกระบวนการการทำงานที่คล้ายคลึงกับโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ และยังสามารถประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อลดปริมาณการจัดเก็บสินค้าคงคลังที่ไม่จำเป็นออกไปได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ในโครงการพัฒนาศักยภาพบุคลากร STEM (Science, Tecnology, Engineering, Mathematics) เพื่อการวิจัยและพัฒนาสำหรับภาคอุตสาหกรรม : STEM Workforce ประจำปี 2560 ผู้แต่งขอขอบคุณ รศ.นพ.เรืองศักดิ์ ลีธนาภรณ์ ผู้อำนวยการโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ นพ.ชนนท์ กองมล ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายโรงพยาบาล พญ.ดร.ภาสุรี แสงสุกวานิช ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิจัย และเจ้าหน้าที่หน่วยจ่ายฝักกลาง โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลและสถานที่ในการทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- Gupta, N. & Krishnappa, P. (2016). Inventory Analysis in a Private Dental Hospital in Bangalore, India. **Journal of Clinical and Diagnostic Resrarch**, IC10 - IC12.
- Jaitwijitra, C. (2004). **Operations Management**. Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University. (in Thai)

- Jurado, I., Maestre, J.M., Velarde, P., Martinezc, C. O., Fernández, I., Tejera, B. I., and del Prado, J.R. (2016). Stock management in hospital pharmacy using chance-constrained model predictive control. **Computers in Biology and Medicine**, 246 - 255.
- Kritchanchai, D., Muangchoo, S., Imdacha, P., Kittisuwan, P. (2016). **Healthcare Logistics**. Healthcare Supply Chain Excellence Centre. Mahidol University. (in Thai)
- Lalitaporn, P. (2006). **Production Planning and Control**. Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan). (in Thai)
- Maneeniam, U. (2009). **Importance of Logistics Management**. Retrieved April 10, 2016, from <http://logisticscorner.com/index.php> (in Thai)
- Suntivong, C. (2003). **Operations Management**. Bangkok: Prachumchang PrintingHouse. (in Thai)
- Supithak, W. and Puliwekhin, S. (2017). Determination of Joint Inventory Replenishment Policy using Simulation Model for the Retail System having Multiple Perishable Products and Last-in First-out Customer Behavior. **Thai Journal of Operations Research**, July - December 2017, 22-32 (in Thai)
- Taksana, T. (2013). **Inventory cost reduction using difference criteria ABC analysis**. Chiang Mai University. (in Thai)

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพของการสอนของอาจารย์

ด้วยการวิเคราะห์ฐานข้อมูลด้านวิชาการแบบหลายมิติ

Development of a Decision Support System for the Quality of Teaching using Academic Database and Multi-dimensional Analysis

ไพจิตร สุขสมบุญ^{1*} และนพนันท์ สุขสมบุญ²

Paijit Suksomboon^{1*} and Noppanun Suksomboon²

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ถ. ลำปาง-แม่ทะ ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100 โทร 0 5423 7399 โทรสาร 0 5432 7388 E-mail: paijit@lpru.ac.th

^{1,2}Software Engineering Program, Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University 119 Moo 9, Lampang-Meatha Road, Chompoo District, Muang Amphur, Lampang Province, 52100. Tel. +66 5423 7399 Fax. +66 5432 7388 E-mail: paijit@lpru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพการเรียนการสอนของนักศึกษาและอาจารย์แก่ผู้บริหาร เป็นการพัฒนาระบบการเรียนรู้ของนักศึกษา และหาประสิทธิภาพของระบบสนับสนุนการตัดสินใจดังกล่าว นำเสนอข้อมูลเชิงวิชาการแก่ผู้บริหาร เพื่อเป็นแนวทางพัฒนาระบบการสอนของอาจารย์ และนำไปปรับให้เกิดกระบวนการเรียนรู้ของนักศึกษาให้มีประสิทธิภาพ โดยกำหนดกลุ่มเป้าหมาย คือ นักศึกษา อาจารย์ และผู้บริหารของหน่วยจัดการศึกษา ใช้หลักการวิเคราะห์ฐานข้อมูลแบบหลายมิติ และใช้สถิติการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความแปรปรวน

ผลการวิจัยจำแนก 3 ประเด็น คือ 1) คุณภาพและความพึงพอใจของระบบสนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพการเรียนการสอนของอาจารย์จากกลุ่มผู้บริหารหน่วยจัดการศึกษา ในภาพรวมมีผลประเมินอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.44$, S.D. = 0.64) สารสนเทศมีความน่าเชื่อถือ วิเคราะห์ได้จากผลการประเมินที่มีค่าความแปรปรวนอยู่ในระดับต่ำ นอกจากนั้น ระบบมีความเร็วในการประมวลผลและรายงานผลสารสนเทศแก่คณาจารย์ได้ในแต่ละภาคการศึกษาได้มีประสิทธิภาพ แสดงว่าสารสนเทศของระบบที่ผ่านการวิเคราะห์สามารถนำมาสนับสนุนการตัดสินใจในคุณภาพการเรียนการสอนได้จริง 2) คุณภาพการสอนของอาจารย์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางในภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.14$, S.D. = 0.80) แสดงว่านักศึกษามีความพึงพอใจในคุณภาพสอนของอาจารย์ 3) ผลประเมินพบประเด็นที่นักศึกษาต้องการให้อาจารย์พัฒนามากที่สุด คือ พฤติกรรมอาจารย์ในเรื่องการพัฒนารูปแบบและวิธีการถ่ายทอดความรู้ รวมถึงจัดการเรียนการสอนเป็นขั้นตอนอย่างเหมาะสม และเข้าใจง่าย ด้านเทคนิคและการสอนในเรื่องให้นักศึกษาเข้ามามีส่วนร่วมในการ

กำหนดเกณฑ์มาตรฐานการประเมินผลการเรียนรู้ที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มเรียนที่อาจมีปัจจัยสภาพแวดล้อมหรือทักษะแตกต่างกัน สุดท้ายด้านการวัดและประเมินผลในเรื่องให้อาจารย์ชี้แจงวิธีการวัด และประเมินผลการเรียนรู้ในทุกครั้งและควรวัดและประเมินในรูปแบบที่หลากหลาย

คำสำคัญ : ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ, ฐานข้อมูลแบบหลายมิติ, เทคโนโลยีการวิเคราะห์ข้อมูล

Abstract

The aims of this research were to: 1) develop a decision support system for students and teachers to improve the quality of teaching and learning; 2) find the effectiveness of such a decision support system; 3) provide academic information to the administrators as a guideline for the development of the teaching process; 4) adjust the learning process of students so as to be effective. The target group consisted of students, teachers and administrators of the educational management. Multi-dimensional database analysis was carried out. The data were analyzed by means of percentage, mean, standard deviation, and variance.

The research findings are classified into 3 levels as follows: 1) the quality and satisfaction of the decision support system on the teaching quality of teachers from the administrators at the overall level was high ($x = 4.44$, $SD = 0.64$). The reliability of information, as well as the speeding up of the processing and reporting of information to faculty members in each semester was effective; 2) the teaching quality of the instructors at Lampang Rajabhat University was high ($x = 4.14$, $SD = 0.80$); 3) the results of the evaluation showed that the students most needed the teacher to develop further their teaching style and to model the teaching process. In terms of knowledge transfer, the teaching and learning process was appropriate and easy to understand. The technical and instructional aspects of students' participation in determining the appropriate learning assessment standards in each group of students may have different factors, environments or skills. Finally, in terms of measurement and evaluation, teachers should clarify how to measure and evaluate learning at all times and should measure and evaluate these in a variety of ways.

Keywords : Decision Support System, Multi-dimensions Database, Online Analysis Processing

1. บทนำ

(Sirirungtasri, P., 2014) การเปลี่ยนแปลงบริบทของสังคม วัฒนธรรม เศรษฐกิจ การเมือง การปกครอง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการสื่อสารปัจจุบัน บนโลกไร้พรมแดนที่เป็นไปอย่างต่อเนื่องรวดเร็วและรุนแรง การศึกษาเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาคุณภาพชีวิตมนุษย์และการพัฒนาประเทศที่เชื่อมโยงกันทั่วโลก ให้สามารถดำรงชีวิตท่ามกลางการเปลี่ยนแปลงนี้ได้อย่างยั่งยืน ทั้งที่เป็นการศึกษาในระบบ นอกกระบบและตามอัธยาศัย รวมทั้งการศึกษาตลอดชีวิต การจัดระบบการศึกษาที่สนองตอบความต้องการของบุคคล สังคม และประเทศชาติมากเท่าไร หมายถึงการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้ของผู้เรียนให้มีศักยภาพเพิ่มขึ้นเพียงนั้น บุคคลที่สำคัญที่สุดในกระบวนการพัฒนาการศึกษาและการพัฒนาการเรียนรู้ ก็คือ “ครู” (Grush and Costin, 1975) ให้ความเห็นว่าผู้ที่สอนอย่างมีประสิทธิภาพ ควรเป็นผู้ที่มีความสามารถและมีความกระตือรือร้นในด้านการเรียนการสอนเป็นคนซื่อสัตย์สุจริต น่าไว้วางใจ รักษาสัญญาที่ให้ไว้กับผู้เรียนเสมอเป็นคนที่เข้าใจผู้เรียนได้ดีควบคุมกิจกรรมในชั้นเรียนโดยการให้คำแนะนำปรึกษาชี้แจงวัตถุประสงค์และเปิดโอกาสให้มีการอภิปรายในชั้นเรียน สามารถควบคุมชั้นเรียนได้กระตุ้นให้ผู้เรียนกล้าที่จะแสดงความคิดเห็น ให้ความรู้ที่ทันสมัย ทันต่อความเปลี่ยนแปลงของวิทยาการ

กระบวนการประเมินของมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง กำหนดให้มีการเก็บข้อมูลในทุกปลายภาคการศึกษา ในทางปฏิบัติมักพบปัญหาของผลการประเมินที่ไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะนักศึกษาเกรงผลกระทบต่อเกรดผลการเรียน อีกทั้ง ผลประเมินการสอนไม่ได้ตอบโจทย์เนื่องจากเก็บเพียงครั้งเดียวปลายภาคการศึกษา จึงเป็นการสังเคราะห์ในสถานภาพปัจจุบันที่มีปัจจัยหลายประการทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์คุณภาพของกระบวนการเรียนการสอนตลอดทั้งภาคการศึกษาได้ ดังนั้น ผู้บริหารควรมีข้อมูลที่สามารถใช้พิจารณาคุณภาพการเรียนรู้ของนักศึกษา คุณภาพการสอนของอาจารย์เพื่อนำมาสนับสนุนการตัดสินใจในการพัฒนาด้านวิชาการ เพื่อให้มหาวิทยาลัยเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ที่แท้จริงได้

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับผู้บริหารเกี่ยวกับคุณภาพการเรียนการสอน โดยใช้ฐานข้อมูลเชิงมิติในด้านรายวิชา กลุ่มเรียน อาจารย์ และข้อคำถามวัดกระบวนการเรียนด้านความรู้ เทคนิค และวัดผลในแต่ละภาคการศึกษา เพื่อนำเสนอข้อมูลเชิงวิเคราะห์ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจแก่ผู้บริหารในการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้แก่นักศึกษา รวมถึงส่งเสริมให้เกิดคุณภาพอาจารย์ในด้านพัฒนากระบวนการเรียนการสอนให้เกิดคุณภาพการเรียนการสอน และเกิดความตระหนักในเรื่องคุณลักษณะที่ดีของครู และเกิดการสร้างลักษณะการสอนที่ดีได้อีกในอนาคตต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพการเรียนการสอนของนักศึกษาและอาจารย์แก่ผู้บริหาร เพื่อการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ของนักศึกษา
- 2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบสนับสนุนการตัดสินใจดังกล่าว

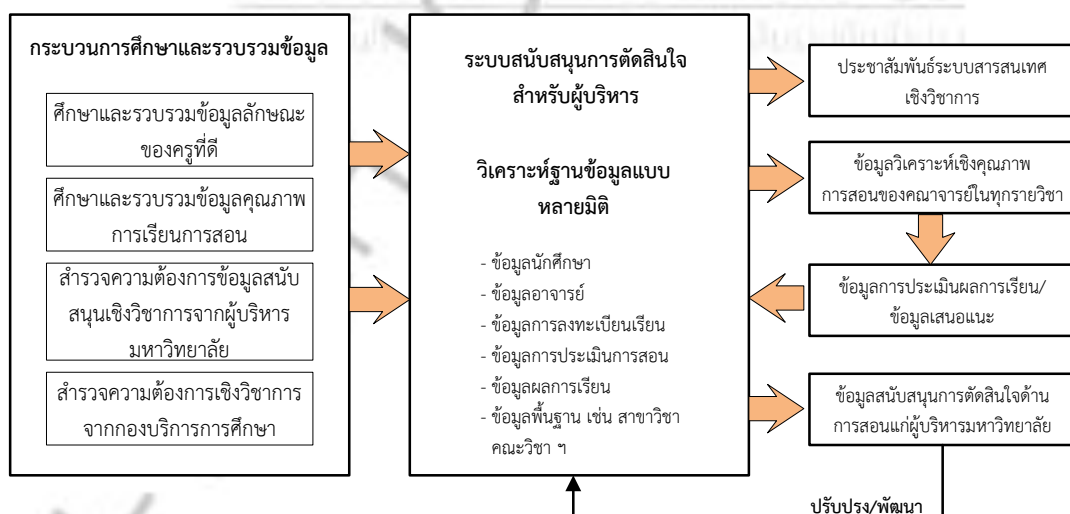
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การรวบรวมข้อมูล และจัดเตรียมข้อมูล

ในกระบวนการรวบรวมข้อมูลและเตรียมข้อมูล ดังนี้

- 1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลลักษณะของครูที่ดี และคุณภาพการเรียนการสอนที่เกิดจากประสิทธิภาพการสอนของอาจารย์ ในด้านสารสนเทศและฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนและอาจารย์ผู้สอน
- 2) สำรวจความต้องการข้อมูลสนับสนุนเชิงวิชาการจากกลุ่มผู้บริหารระดับคณะวิชาและกองบริการวิชาการ โดยมีหัวข้อประเมินผล 3 ด้าน คือ ด้านพฤติกรรมผู้สอน ด้านเทคนิคการสอน/ความเชี่ยวชาญ และด้านการวัดและประเมินผล
- 3) การเตรียมข้อมูล โดยใช้ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์มาจากรฐานข้อมูลของกองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางใน 3 ภาคศึกษา ได้แก่ 1/2560, 2/2560 และ 1/2561

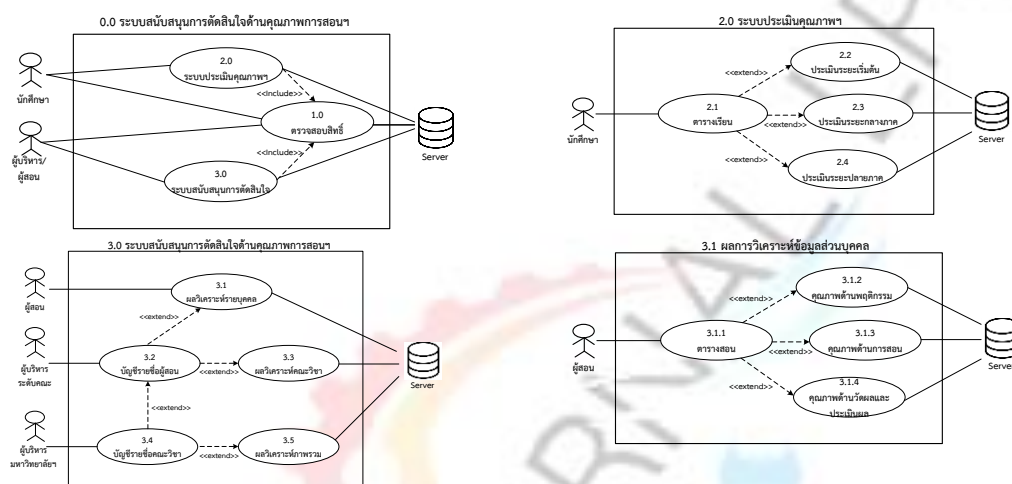
ตามแนวคิดการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านคุณภาพการเรียนการสอน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แนวคิดการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

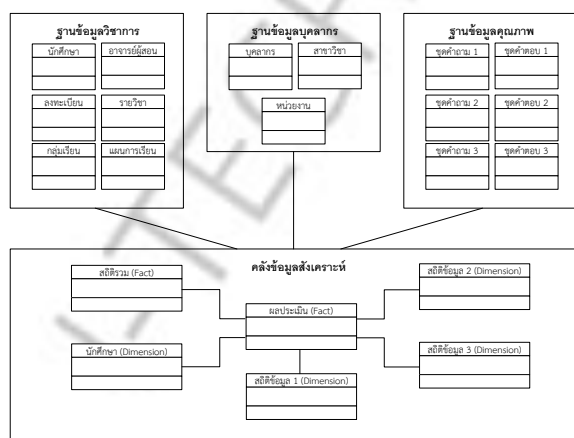
3.2 การวิเคราะห์ออกแบบระบบและฐานข้อมูลแบบหลายมิติ

ดำเนินการวิเคราะห์ออกแบบระบบ และสังเคราะห์สารสนเทศเพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศและระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านคุณภาพการเรียนการสอน โดยมี 2 ส่วนในการวิเคราะห์ ได้แก่ ระบบการประเมินคุณภาพ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านคุณภาพการเรียนการสอนสำหรับอาจารย์และผู้บริหารที่แสดงรูปแบบการวิเคราะห์และแสดงผลที่ต้องการ ทั้งนี้สามารถแสดงเป็นแผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

โดยระบบประกอบด้วยกลุ่มฐานข้อมูลที่สัมพันธ์กันเชิงมิติ ได้แก่ ฐานข้อมูลวิชาการ ฐานข้อมูลบุคลากร และฐานข้อมูลคุณภาพ ที่นำข้อมูลดิบมาสังเคราะห์สารสนเทศสำหรับแสดงผลสนับสนุนการตัดสินใจด้านคุณภาพการเรียนการสอนใน 3 ระดับ ได้แก่ คณะวิชา สาขาวิชา และอาจารย์ผู้สอน ทั้งนี้สามารถแสดงเป็นแผนภาพคลาส (Class Diagram) ดังภาพที่ 3

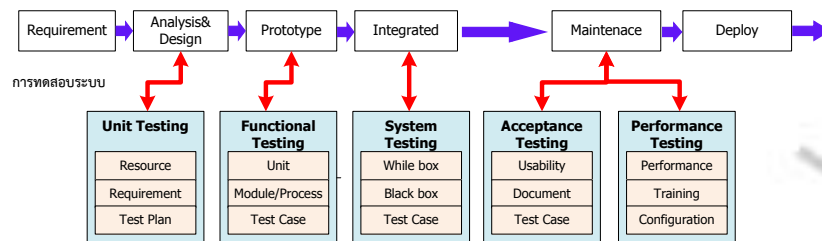


ภาพที่ 3 การออกแบบระบบฐานข้อมูลแบบหลายมิติ

3.3 การทดสอบระบบ

ในการทดสอบระบบงานนั้น ได้มีการแบ่งรูปแบบการทดสอบโดยตามหลักการของวิศวกรรมซอฟต์แวร์โดยจำแนกกระบวนการทดสอบเป็น 5 ระดับขั้น ทั้งนี้สามารถแสดงเป็นแผนภาพการทดสอบระบบ จนกระทั่งนำไปใช้งานจริง ดังภาพที่ 4

การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจคุณภาพการสอนอาจารย์



ภาพที่ 4 แนวทางการทดสอบระบบ

3.4 การพัฒนาระบบ

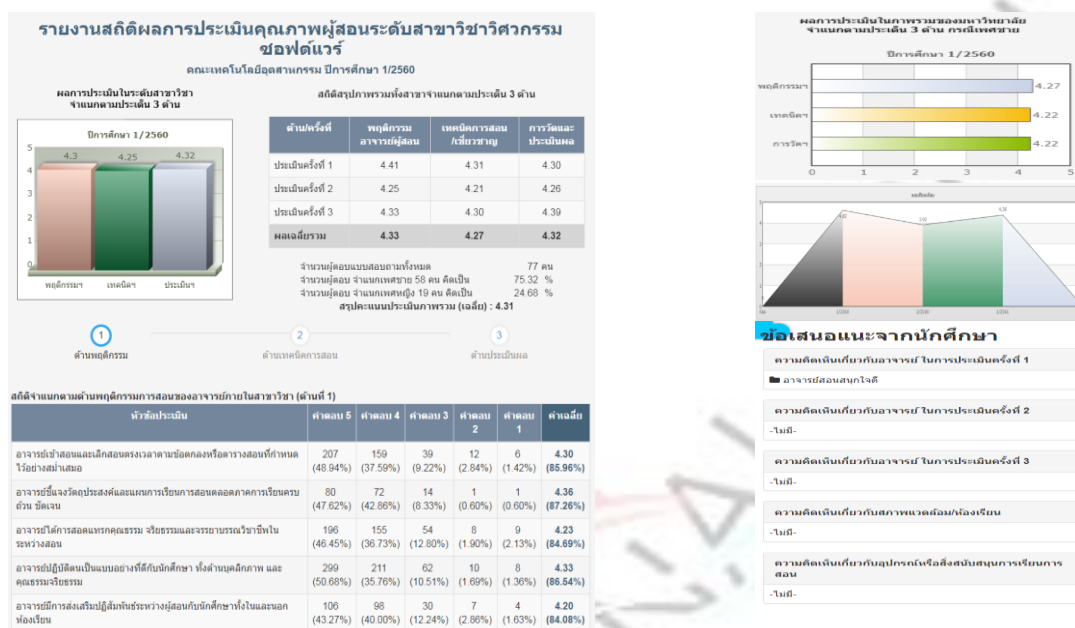
ในการพัฒนาระบบสารสนเทศและระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านคุณภาพการเรียนการสอนด้วยภาษา PHP และระบบจัดการฐานข้อมูล Microsoft SQL Server และประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์ฐานข้อมูลแบบหลายมิติ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การพัฒนาระบบสารสนเทศเก็บข้อมูลการประเมินคุณภาพการสอน

1) ประชาสัมพันธ์การรับข้อมูลการประเมินคุณภาพ ลักษณะ/รูปแบบการสอน ลักษณะ/รูปแบบการเรียนจากกลุ่มเป้าหมายตามกำหนดการและจำนวนครั้ง ผ่านระบบสารสนเทศ

2) ผลการวิเคราะห์ฐานข้อมูล แบบหลายมิติและนำเสนอระบบสนับสนุนการตัดสินใจแก่ผู้บริหาร ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ฐานข้อมูลแบบหลายมิติและนำเสนอระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

3) ดำเนินการติดตามผล ประเมินผลการใช้ข้อมูลสารสนเทศตามวัตถุประสงค์กับกลุ่มเป้าหมาย รวมถึงรับข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะ และประเด็นประโยชน์ด้านบุคคลที่ได้รับ

4) สรุปผลการดำเนินงานวิจัยโดยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยสถิติ และเผยแพร่แบบเฉพาะบุคคล นำเสนอบนเครือข่ายมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

4. ผลการวิจัย

จากการเก็บข้อมูลการประเมินคุณภาพการสอนของอาจารย์ผ่านระบบสารสนเทศใน 3 ภาคการศึกษา คือ 1/2560, 2/2560 และ 1/2561 และได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพผ่านระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านคุณภาพด้วยสถิติ สรุปได้ดังนี้

4.1 สรุปผลการประเมินคุณภาพการสอนของอาจารย์

เมื่อสิ้นสุดการประเมินคุณภาพการสอนของอาจารย์ใน 3 ภาคการศึกษาของกลุ่มนักศึกษา สามารถสรุปผลการประเมินคุณภาพจากนักศึกษา มีค่าเฉลี่ย 2,433 คนต่อภาคการศึกษา แสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นของผลวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือได้ สามารถจำแนกตามเพศ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนและร้อยละของประชากรกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามเพศ

นักศึกษา	1/2560		2/2560		1/2561	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
1. เพศชาย	785	29.23	654	31.49	665	26.21
2. เพศหญิง	1,901	70.77	1,423	68.51	1872	73.79
รวม	2,686	100.00	2,077	100.00	2,537	100.00

แสดงผลการประเมินคุณภาพการสอนของอาจารย์จำแนกตามคุณภาพ 3 ประเด็น
แสดงดังตาราง 2 - 4

ตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินคุณภาพการสอนจำแนกตามคุณภาพ 3 ประเด็นภาคการศึกษาที่ 1/2560

ภาคการศึกษาที่ 1/2560	จำแนกตามประเด็นประเมิน			เฉลี่ย	แปล ความหมาย
	พฤติกรรม	เทคนิค	ประเมินผล		
ระยะเริ่มต้น	4.3	4.17	4.18	4.22	ระดับมาก
ระยะปลายภาค	4.24	4.21	4.22	4.22	ระดับมาก
คะแนนเฉลี่ย	4.27	4.19	4.20	4.22	ระดับมาก

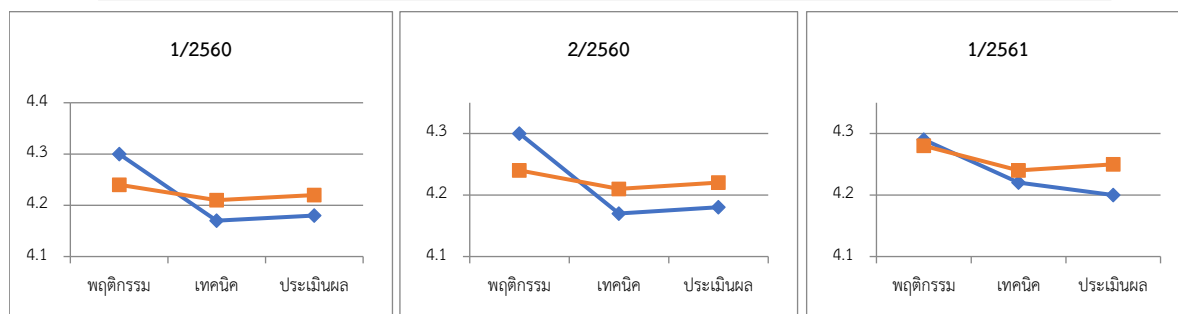
ตารางที่ 3 แสดงผลการประเมินคุณภาพการสอนจำแนกตามคุณภาพ 3 ประเด็นภาคการศึกษาที่ 2/2560

ภาคการศึกษาที่ 2/2560	จำแนกตามประเด็นประเมิน			เฉลี่ย	แปล ความหมาย
	พฤติกรรม	เทคนิค	ประเมินผล		
ระยะเริ่มต้น	2.58	4.23	4.22	3.68	ระดับมาก
ระยะปลายภาค	4.28	4.24	4.25	4.26	ระดับมาก
คะแนนเฉลี่ย	3.43	4.235	4.235	3.97	ระดับมาก

ตารางที่ 4 แสดงผลการประเมินคุณภาพการสอนจำแนกตามคุณภาพ 3 ประเด็นภาคการศึกษาที่ 1/2561

ภาคการศึกษาที่ 1/2561	จำแนกตามประเด็นประเมิน			เฉลี่ย	แปล ความหมาย
	พฤติกรรม	เทคนิค	ประเมินผล		
ระยะเริ่มต้น	4.29	4.22	4.2	4.24	ระดับมาก
ระยะปลายภาค	4.28	4.24	4.25	4.26	ระดับมาก
คะแนนเฉลี่ย	4.285	4.23	4.225	4.25	ระดับมาก

สถิติการประเมินผลสามารถวิเคราะห์ผลคุณภาพการสอนของอาจารย์เปรียบเทียบ 3 ภาค
การศึกษา ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลวิเคราะห์วิเคราะห์ผลคุณภาพการสอนของอาจารย์เปรียบเทียบ 3 ภาคการศึกษา

ทั้งนี้ การวิเคราะห์ความพึงพอใจในคุณภาพการสอนของอาจารย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ใน 3 ภาคการศึกษา จำแนกตามประเด็นทั้ง 3 ด้าน ดังนี้

1) ระดับผลความประเมินคุณภาพการสอนของอาจารย์ทั้งมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ด้านพฤติกรรมอาจารย์ที่มีคะแนนน้อยที่สุด 3 รายการ คือ อาจารย์แสดงถึงการยอมรับความสามารถ และวิธีการเรียนรู้ที่แตกต่างของนักศึกษาอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.24$, S.D. = 0.80) อาจารย์มีการส่งเสริมปฏิสัมพันธ์ระหว่างอาจารย์กับนักศึกษาทั้งในและนอกห้องเรียนอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.25$, S.D. = 0.80) และอาจารย์ได้มีการสอดแทรกคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพในระหว่างสอนอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.25$, S.D. = 0.79)

2) พบว่าระดับผลความประเมินคุณภาพการสอนของอาจารย์ ด้านเทคนิคและการสอนที่มีคะแนนน้อยที่สุด 3 รายการ คือ อาจารย์ให้นักศึกษามีส่วนร่วมในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานการประเมินผลการเรียนรู้ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.19$, S.D. = 0.81) อาจารย์กำหนดเกณฑ์การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ที่ชัดเจนและครอบคลุมทั้งกระบวนการและผลผลิตการเรียนรู้ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.21$, S.D. = 0.80) และอาจารย์ใช้สื่อการสอน/เทคโนโลยีสารสนเทศที่หลากหลาย น่าสนใจ ทันสมัย เหมาะสมกับเนื้อหา/กิจกรรมการเรียนรู้ที่กำหนดไว้ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.2$, S.D. = 0.81)

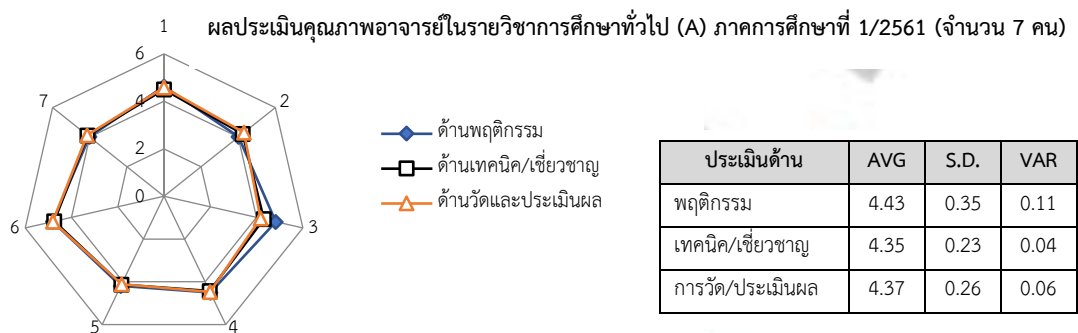
3) พบว่าระดับผลความประเมินคุณภาพการสอนของอาจารย์ทั้งมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ด้านการวัดและประเมินผล ที่มีคะแนนน้อยที่สุด 3 รายการ คือ อาจารย์ให้นักศึกษามีส่วนร่วมในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานการประเมินผลการเรียนรู้ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.19$, S.D. = 0.81) อาจารย์กำหนดวิธีวัดและประเมินผล ที่สอดคล้อง และครอบคลุมกับกิจกรรมการเรียนรู้ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.20$, S.D. = 0.89) และอาจารย์กำหนดเกณฑ์การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ที่ชัดเจน และครอบคลุมทั้งกระบวนการและผลผลิตการเรียนรู้ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.21$, S.D. = 0.80)

4.2 สรุปผลการประเมินคุณภาพของเครื่องมือระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

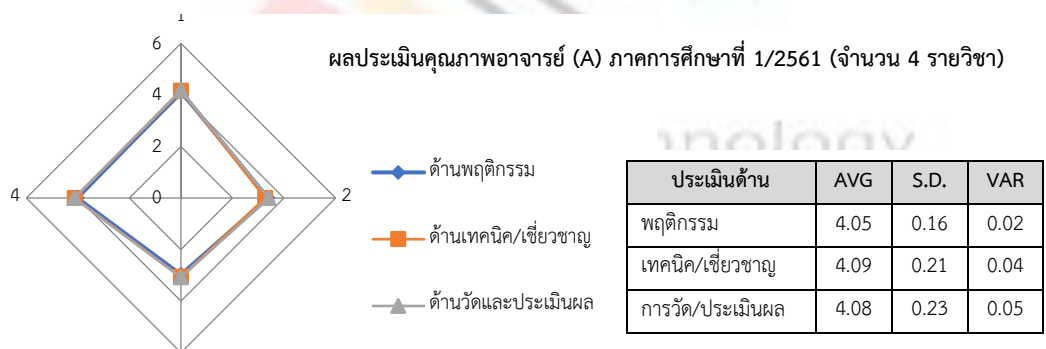
1) ความพึงพอใจในคุณภาพเครื่องมือ จากรายงานผลสารสนเทศเชิงสถิติแก่ผู้บริหาร โดยกำหนดสิทธิในการเข้าระบบ 4 ระดับ ได้แก่ ระดับผู้บริหารมหาวิทยาลัย ระดับคณบดี

ระดับประธานสาขาวิชา และระดับอาจารย์ มีการวัดผลเครื่องมือให้ผลวิเคราะห์ตรงตามวัตถุประสงค์ของการพัฒนา โดยมีด้านคุณภาพของข้อมูลและประโยชน์ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.53$, S.D. = 0.53) รองลงมาด้านการออกแบบระบบ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.90) และด้านเสถียรภาพของระบบ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.35$, S.D. = 0.56)

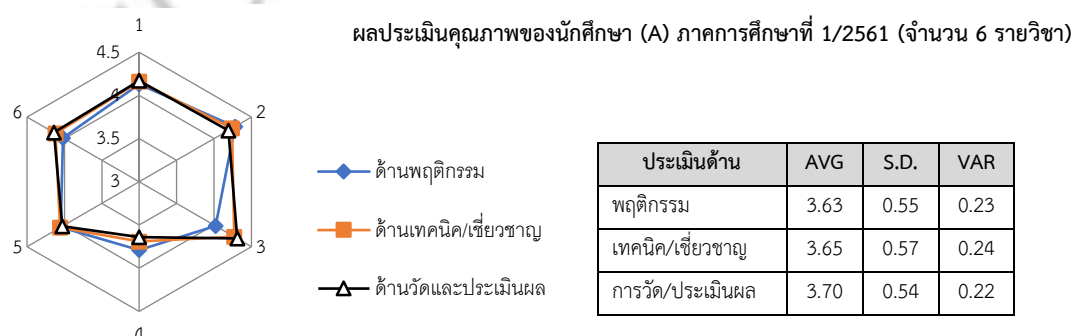
2) ความน่าเชื่อถือของผลที่ได้รับจากเครื่องมือ จากการวิเคราะห์ผลจากมิติของการประเมินคุณภาพพิจารณาจากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษา สุ่มรายวิชาการศึกษาทั่วไป และสุ่มอาจารย์ที่สัมพันธ์กับการสอนรายวิชาและนักศึกษาดังกล่าว ในภาคการศึกษาที่ 1/2561 ดังภาพที่ 8 - 10



ภาพที่ 8 ผลประเมินคุณภาพคุณภาพอาจารย์ทุกคนในรายวิชาการศึกษาทั่วไป



ภาพที่ 9 ผลประเมินคุณภาพจากการสุ่มตัวอย่างอาจารย์ในทุกรายวิชาที่รับผิดชอบ



ภาพที่ 10 ผลประเมินคุณภาพอาจารย์ทุกคนที่สอนกลุ่มตัวอย่างนักศึกษา

จากการวิเคราะห์ผลจากมิติของการประเมินที่พิจารณาหลายด้านจากภาพที่ 8 แสดงผลการประเมินในรายวิชาการศึกษาทั่วไป 1 รายวิชา มีการกำหนดอาจารย์จำนวน 7 คน ในภาคการศึกษาที่ 1/2561 ได้ผลการประเมินคุณภาพโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.38$, S.D. = 0.28) ส่วนภาพที่ 9 แสดงผลการประเมินจากการสุ่มตัวอย่างอาจารย์ 1 คนที่รับผิดชอบ 4 รายวิชาในภาคการศึกษาที่ 1/2561 ได้ผลการประเมินคุณภาพโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.07$, S.D. = 0.20) ส่วนภาพที่ 10 แสดงผลการประเมินจากการสุ่มตัวอย่างนักศึกษา 1 กลุ่มที่ประเมินอาจารย์ ในรายวิชาที่ลงทะเบียนจำนวน 6 รายวิชา ในภาคการศึกษาที่ 1/2561 ได้ผลการประเมินคุณภาพ โดยเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.66$, S.D. = 0.55) จึงสามารถวัดประสิทธิภาพของเครื่องมือ จากการวิเคราะห์ผลจากมิติของการประเมินคุณภาพพิจารณาจากสุ่มตัวอย่าง ซึ่งมีค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานและค่าความแปรปรวนที่พบในการประเมินแต่ละด้านอยู่ในระดับต่ำ แสดงให้เห็นว่าการ ประเมินส่งผลที่ไม่แตกต่าง ทำให้ผลประเมินมีความน่าเชื่อถือ แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบ สนับสนุนการตัดสินใจนี้

3) ความเร็วในการประมวลผลสารสนเทศ และการรายงานผลประเมินคุณภาพ ของอาจารย์ โดยปกติการประเมินคุณภาพการสอนของอาจารย์อยู่ในระบบหลังบ้าน ซึ่งได้จัดเก็บโดย เจ้าหน้าที่ของคณะ และประมวลผลแบบเอกสารจัดส่งให้คณาจารย์รายบุคคลเพื่อรับทราบผลประเมิน ซึ่งอาจใช้ระยะเวลานาน เกิดความผิดพลาด และเอกสารสูญหาย ส่วนระบบสนับสนุนการตัดสินใจ สำหรับผู้บริหารเกี่ยวกับคุณภาพการเรียนการสอนนี้ ได้ผ่านการใช้ระบบและรายงานผลที่ผ่านมา 3 ภาคการศึกษา โดยมีการกำหนดช่วงเวลาประเมิน และช่วงเวลาการเข้ารับทราบผลประเมิน หลังจากสอบปลายภาคและวัดผลการเรียนแล้วเสร็จ โดยระบบสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ และแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบสนับสนุนการตัดสินใจนี้

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพการเรียนการสอน ของนักศึกษาและอาจารย์แก่ผู้บริหาร สำหรับการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ของนักศึกษา โดยระบบ ถูกสร้างเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจแก่ผู้บริหารหรือผู้ที่เกี่ยวข้องหลากหลายแนวทาง อาทิ (Suwanavichanee, R. & Maneerat, P., 2017) การพัฒนาระบบรายงานรูปแบบหลายมิติเพื่อ สนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และ (Mahathanasin, P. & Jiravichitchai, N., 2015) ระบบคลังข้อมูลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับประปาส่วนภูมิภาค โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ฐานข้อมูลแบบหลายมิติ ในการดำเนินการพัฒนาระบบและติดตามผล ประเมินคุณภาพและความพึงพอใจของระบบสนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพการเรียน การสอนของนักศึกษาและอาจารย์ จากผู้บริหารมีค่าคะแนนเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.44$,

S.D. = 0.64) แสดงถึงเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านคุณภาพการสอนของอาจารย์ได้อีกทั้งระบบสนับสนุนการตัดสินใจนี้มีความน่าเชื่อถือ วิเคราะห์จากผลการประเมินที่มีค่าความแปรปรวนอยู่ในระดับต่ำ นอกจากนั้น ระบบมีความเร็วในการประมวลผลและรายงานผลสารสนเทศแก่คณาจารย์ได้ในแต่ละภาคการศึกษาได้มีประสิทธิภาพ

ส่วนด้านข้อมูลเชิงวิเคราะห์ถึงคุณภาพการสอนของอาจารย์สามารถวิเคราะห์ระดับมหาวิทยาลัย จากนักศึกษาที่เข้าประเมินคุณภาพการสอนของอาจารย์ทุกคนในภาคการศึกษาที่ 1/2560, 2/2560 และ 1/2561 จำนวนเฉลี่ย 2,433 คนต่อภาคการศึกษา ได้จำแนกคุณภาพการสอน 3 ด้าน พบว่านักศึกษา มีระดับความพึงพอใจในคุณภาพการสอนของอาจารย์ในภาพรวมทั้งมหาวิทยาลัยอยู่ในระดับมาก โดยมีความพึงพอใจในประเด็นด้านเทคนิคและความเชี่ยวชาญ และประเด็นด้านการวัดและประเมินผลของอาจารย์ มากที่สุด รองลงมาประเด็นด้านพฤติกรรมของอาจารย์

สำหรับการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพการเรียนการสอนของอาจารย์ ให้ผู้บริหารรับทราบข้อเท็จจริงเกี่ยวกับการเรียนการสอนของอาจารย์ ภายในคณะและมหาวิทยาลัย และคาดหวังให้เกิดการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ของนักศึกษา ในอนาคตได้จริงจากอาจารย์ที่ได้เกิดความตระหนักในเรื่องคุณลักษณะที่ดีของครู และพัฒนาคุณลักษณะการสอนที่ดีขึ้นจากการพิจารณาผลการวิเคราะห์ผลของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Ma-oon, R., 2016) ตามพันธกิจหลักที่สำคัญของสถาบันอุดมศึกษาหรือ มหาวิทยาลัยในฐานะที่เป็นชุมปัญญาของสังคม ที่เป็นพันธกิจที่ยอมรับในระดับสากล

ทั้งนี้ทีมพัฒนาได้นำผลการประเมินมาสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพการเรียนการสอนของอาจารย์ โดยผ่านการวิเคราะห์ข้อมูล และแสดงรายงานผลการประเมินแก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง 4 ระดับ ได้แก่ ระดับผู้บริหารมหาวิทยาลัย ระดับคณบดี ระดับประธานสาขาวิชา และระดับอาจารย์ ตามลำดับสิทธิ์ระดับสูง-ต่ำ ดังเช่น กำหนดให้สิทธิ์ระดับสูงสุด สามารถเข้าติดตามผลคุณภาพการสอนของอาจารย์เชิงลึกได้ระดับล่างได้ตามขั้นบันได เป็นต้น ดังนั้น ผู้ใช้ระบบสามารถนำผลมาพิจารณาถึงประเด็นทั้งด้านพฤติกรรมของอาจารย์ ด้านเทคนิคและการสอน และด้านการวัดและประเมินผล รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ บ่งชี้ถึงบุคคลในช่วงเวลาสอนนั้น ๆ และนำไปเป็นประเด็นของการพัฒนาปรับปรุง หรือติดตามการสอนต่อไปได้ในอนาคต

เมื่อพิจารณาผลคะแนนน้อยที่สุดจากพบว่าประเด็นที่นักศึกษาต้องการให้อาจารย์พัฒนา มากที่สุดในด้านพฤติกรรมอาจารย์คือ คือ ควรพัฒนารูปแบบและวิธีการถ่ายทอดความรู้ รวมถึงการจัดการเรียนการสอนเป็นขั้นตอนอย่างเหมาะสม และเข้าใจง่าย ส่วนด้านเทคนิคและการสอน คือ ควรให้นักศึกษาเข้ามามีส่วนร่วมในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานการประเมินผลการเรียนรู้ที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มเรียนที่อาจมีปัจจัยสภาพแวดล้อม หรือทักษะแตกต่างกันได้ และสุดท้าย

ด้านการวัดและประเมินผล คือ ควรให้อาจารย์ได้ชี้แจงวิธีการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ในทุกครั้ง และควรวัดและประเมินในรูปแบบที่หลากหลาย ทั้งนี้ ทีมพัฒนาคาดหวังว่างานวิจัยนี้จะยังประโยชน์ด้านบุคคลที่ตระหนักในเรื่องคุณลักษณะที่ดีของครู และเกิดการสร้างลักษณะการสอนที่ดีได้ในอนาคต รวมถึง ประโยชน์ในด้านศึกษา มหาวิทยาลัยเกิดแนวทางในการพัฒนากระบวนการรู้ของนักศึกษาได้อย่างตรงประเด็นมากยิ่งขึ้น และสุดท้ายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิชาการของมหาวิทยาลัยได้จริง และเป็นเครื่องมือหนึ่งช่วยดำเนินงานแก่กองบริการการศึกษา สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง และสามารถสนับสนุนแผนกลยุทธ์ในการพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง พ.ศ.2560 - 2564 เพื่อการบริหารและพัฒนาองค์กรแห่งการเรียนรู้ตามประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 5 เป้าประสงค์ที่ 5.5 การใช้ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการบริหาร และตัดสินใจในระบบงานต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- Grush, J.E. & Costin F. (1975). The Student as Consumer of the Teaching Process, American. **Education Research Journal**. 12(4), 64-67.
- Mahathanasin, P. & Jiravichitchai, N. (2015). Data Warehouse to Decision Support Systems for Provincial waterworks authority, **Science and Technology RMUTT Journal**, 5(2), 135–144. (in Thai)
- Ma-oon, R. (2016). Effective teaching and learning in higher education. Nakhon Si Thammarat, **Southern Technology Journal**. 9(2), 169-176. (in Thai)
- Sirirungtasri, P. (2014). Upgrading 21st Century Thai Teacher in **Conference Proceedings, Progress Learning for Thailand's Change**. Bangkok. (in Thai)
- Suwanavichanee, R. & Maneerat, P. (2017). The Development of a Multi-Dimension Report System to support policy decisions of the National Research Council of Thailand, **Sripatum review of science and technology**, 9(1), 66-75. (in Thai)

การหาอัตราการแห้งตัวของขนุนโดยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดระบบสุญญากาศ

Determination of Drying Rate of Jackfruit by Infrared Dryer, Vacuum System

เรวัตม์ คำวัน^{1*}, สุรสิทธิ์ เทียงจันทา² และสวัสดิ์ กีไธย³

Rawat Kumwan^{1*}, Surasit Thiangchanta² and Sawat Kesai³

^{1*,2,3}สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

128 ถ.ห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300 โทรศัพท์ 0 5392 1444 E-mail : rawat-me@rmutl.ac.th

^{1*,2,3}Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL)

Chaing Mai 128 Huay Kaew Rd, Muang District, Chiang Mai, 50300, Thailand

E-mail : rawat-me@rmutl.ac.th, Tel: +66 5392 1444, Fax: +66 5321 3183

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งขนุน โดยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดระบบสุญญากาศ เพื่อหาอุณหภูมิและระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับเนื้อขนุนที่เหมาะสม เครื่องอบแห้งประกอบด้วย ถังอบแห้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.51 m ยาว 0.8 m ฮีตเตอร์อินฟราเรดขนาด 220 V 250 W จำนวน 2 หลอด เครื่องทำสุญญากาศขนาด 13.42 m³/hr ติดตั้งชุดดักน้ำโดยใช้ระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 0.252 kW ทดสอบอบเนื้อขนุนจำนวน 2 kg ที่ความชื้นเริ่มต้น 350 - 400%_{db}. ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 55 และ 60 องศาเซลเซียส ทำการปรับเปลี่ยนความดันสัมบูรณ์ 1 5 10 และ 15 kPa และทำการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างหลอดฮีตเตอร์อินฟราเรดกับชั้นวางขนุน 12 15 และ 18 cm อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายมีค่าไม่เกิน 19%_{db}. พบว่าสภาวะที่เหมาะสมการอบแห้งเนื้อขนุน คือ อุณหภูมิอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 1 kPa ระยะห่างของฮีตเตอร์อินฟราเรดกับชั้นวางที่ 12 cm ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด 480 นาที สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด 21.67 MJ/kg และอัตราการอบแห้งที่สูงที่สุด 0.172 kg/hr เนื่องจากการทำสุญญากาศที่ความดันต่ำ สามารถลดอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำภายในเนื้อขนุน และระยะห่างของฮีตเตอร์อินฟราเรดกับวัสดุที่ใกล้กับเนื้อขนุน ให้กำลังของอินฟราเรดต่อพื้นที่สูงมีผลทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : ผลของสุญญากาศ, การอบแห้งขนุน, เครื่องอบแห้งอินฟราเรด

Abstract

This paper was to study the optimal conditions for jackfruit drying. By infrared dryer, vacuum system. To find the temperature and the distance between the infrared tubes and the appropriate jackfruit. The dryer consists of diameter 0.51 m, length 0.8 m. of drying

room, 2 infrared heaters 220 V. 250 W. the vacuum pump work rate 13.42 m³/hr. And eradication moisture with the Compressor of Refrigeration System size 0.252 kW. The sample for test used jackfruit 2 kg. standard of sample before baking is 350 - 400% of dry basis. Baking sample at 50, 55 and 60 °C. And Change the absolute pressure on 1, 5, 10 kPa and 15 kPa. And Change rang from infrared heater to the jackfruit at 12, 15, and 18 cm. Last moisture will be less than 19% of dry basis. The optimum conditions for jackfruit drying were Drying temperature at 60 °C, 1 kPa, infrared heater distance to 12 cm shelves for minimum drying time of 480 minutes, lowest specific energy consumption of 21.67 MJ/kg, and the highest drying rate was 0.172 kg/hr due to the low pressure vacuum. Can reduce the boiling point of water within the jackfruit. And the distance of the infrared heater to the material near the jackfruit. Higher power consumption per unit of infrared heater. This results in a decrease in specific energy consumption. Increased drying rate.

Keywords : Effect of Vacuum, The Jackfruit drying, Infrared dryers

1.บทนำ

ขนุนเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคมีรสชาติหวาน กลิ่นหอม ในช่วงฤดูกาลที่ขนุนมีปริมาณมากเกินความต้องการของตลาดส่งผลขนุนมีราคาตกต่ำ การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขนุนให้สามารถเก็บรักษาไว้เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปจะใช้วิธีการทำแห้ง เช่น การตากแดด การอบแห้งแบบลมร้อน การอบแห้งแบบเยือกแข็ง และการอบแห้งสุญญากาศ เป็นต้น โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปขนุน เช่น การอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดและการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างรังสีอินฟราเรดกับลมร้อน คือ สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง โดยที่ยังคงรักษาคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์ขนุนและความยอมรับในการบริโภคของขนุนของผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี (Supawan, T., 2011) และการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับระบบสุญญากาศ ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพและยังสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ โดยอาจมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่สูงกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีความสิ้นเปลืองต่ำ แต่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่ำมีการปนเปื้อนสูง ใช้เวลาในการอบแห้งนาน และอุณหภูมิอบแห้งไม่สม่ำเสมอ โดยการอบแห้งแบบสุญญากาศ เป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมการอบแห้ง (Junlakan, W., 2017) การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนประสิทธิภาพจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอบแห้ง (Jutarut, T., 2014) ซึ่งการอบแห้งขนุนโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับระบบสุญญากาศ เป็นการให้ขนุนรับรังสีความร้อนโดยตรงส่งผลให้น้ำในเนื้อขนุนระเหยได้เร็ว (Tirawanichakul, S., 2014)

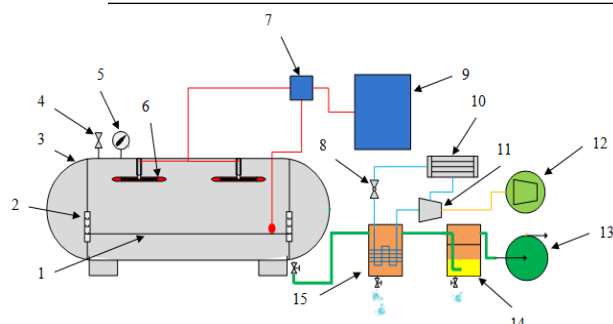
ส่วนระบบสุญญากาศสามารถช่วยลดจุดเดือดของน้ำในเนื้อขนุน และส่งผลให้มีอัตราความชื้นลดลงมากกว่า (Nuthong, P., 2014) เมื่อเทียบกับการอบที่สภาวะความดันบรรยากาศ ณ อุณหภูมิเดียวกัน จากงานวิจัยการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด (Sa-Adchom, P., 2014) พบว่าเมื่อลดความดันสัมบูรณ์หรือเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง จากการศึกษาการวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของเครื่องอบแห้งอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน พบว่าอัตราการอบแห้งมีค่าแปรผันตรงกับกำลังของหลอดอินฟราเรด

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาหาอัตราการแห้งตัวของเนื้อขนุน ที่สภาวะเหมาะสม ที่ความดันสัมบูรณ์ อุณหภูมิ และระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับภาควัตถุ โดยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดระบบสุญญากาศ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ได้ใช้เครื่องอบแห้งอินฟราเรดระบบสุญญากาศที่มีชุดดักน้ำด้วยน้ำมัน และชุดดักน้ำด้วยระบบทำความเย็น เพื่อลดอุณหภูมิและความชื้นที่ปนกับลมร้อนซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายกับระบบสุญญากาศ ห้องอบทรงแคปซูลวางตัวในแนวนอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.51 m ยาว 0.8 m หนา 0.005 m ติดตั้งฮีตเตอร์อินฟราเรดแบบแผ่นยี่ห้อ Infara รุ่น aseries ขนาด 60x245 mm ขนาด 220 Volt 250 W จำนวน 2 หลอด ชุดดักน้ำด้วยระบบทำความเย็น ขนาด 0.252 kW ชุดดักน้ำด้วยน้ำมันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 m x 0.27 m ชุดทำสุญญากาศ ขนาด 13.416 m³/hr ซึ่งประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์ mitsubishi รุ่น cr2211l-a จำนวน 2 ตัว ต่อแบบอนุกรม มีมอเตอร์ขนาด 2 HP 1450 rpm เป็นต้นกำลัง บันทึกข้อมูลโดย เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Azano รุ่น LVC-50 ช่วงการชั่งน้ำหนัก 0.001-600 kgf ความละเอียด 0.001 kgf อุปกรณ์วัดความดันสุญญากาศ ยี่ห้อ TK ช่วงการวัด 0 ถึง -76 cm.Hg ชุดควบคุมอุณหภูมิ เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ DIGICON รุ่น MD-700N ใช้กับสายเทอร์โมคัปเปิล Type K ความละเอียด 0.1 °C และเครื่องวัดการใช้กระแสไฟฟ้า ยี่ห้อ HOLLEY ช่วงการวัด 0.1 ถึง 1,000 kW-h ความละเอียด 0.1 kW-h รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 1



- | | | |
|----------------------------|------------------------|----------------------------------|
| 1 ตะแกรงผลิตภัณฑ์ | 6 หลอดอินฟราเรด | 11 เครื่องอัดไอ |
| 2 ตัวปรับระยะห่างของตะแกรง | 7 ชุดควบคุมอุณหภูมิ | 12 ชุดต้นกำลัง |
| 3 ถังอบแห้งสุญญากาศ | 8 วาล์วลดความดัน | 13 เครื่องทำสุญญากาศ |
| 4 วาล์วอากาศ | 9 หน่วยควบคุมและแสดงผล | 14 ชุดเติมน้ำด้วยน้ำมัน |
| 5 มาตรวัดความดัน | 10 เครื่องควบแน่น | 15 ชุดเติมน้ำด้วยชุดท่อคอยล์เย็น |

ภาพที่ 1 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งอินฟราเรดระบบสุญญากาศ

การวิจัยทดสอบอบแห้งเนื้อขนุน เพื่อศึกษาผลของความดันสัมบูรณ์ และอุณหภูมิที่ใช้การอบแห้งเนื้อขนุนโดยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดระบบสุญญากาศ วัสดุอบแห้งใช้เนื้อขนุนความหนา 3 mm จำนวน 2 kg ที่ความชื้นเริ่มต้น 350-400 %_{db}. ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 55 และ 60 °C ทำการปรับเปลี่ยนความดันสัมบูรณ์ 1 5 10 และ 15 kPa และทำการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างหลอดฮีตเตอร์อินฟราเรดกับชั้นวางขนุน 12 15 และ 18 cm อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายมีค่าไม่เกิน 19 %_{db} ซึ่งช่วงการทดลองทำการบันทึกข้อมูลน้ำหนักขนุนและอุณหภูมิในห้องอบแห้งต่อช่วงเวลา



ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งอินฟราเรดระบบสุญญากาศ กรณีศึกษาการอบเนื้อขนุน

สำหรับการทดลองการอบแห้งเนื้อขนุนโดยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดระบบสุญญากาศ สามารถแสดงค่าอัตราส่วนความชื้น อัตราการอบแห้ง และการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพื่อวิเคราะห์ผลความดันสุญญากาศ ระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับภาควัสดุ และอุณหภูมิ

ที่เหมาะสมในการใช้ออบแห้งเนื้อขนุน โดยค่าอัตราส่วนความชื้นวัสดุ (Moisture Ratio; MR) (Soponronnarit, S., 1997) สามารถหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} \quad (1)$$

เมื่อ M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ ของวัสดุ (%drybasis)

M_i คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (%drybasis)

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุ (%drybasis)

เนื่องจากการอบแห้งด้วยอินฟราเรดระบบสุญญากาศวัสดุมีความชื้นสมดุลที่ต่ำมาก การคำนวณค่าอัตราส่วนความชื้น (MR) ในงานวิจัยนี้เป็นการคำนวณค่าโดยประมาณ คือ ไม่คิดค่าความชื้นสมดุล โดยตั้งสมมติฐานว่าความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าความชื้นเริ่มต้น จึงกำหนดให้ $M_{eq} = 0$ ดังนั้นค่าอัตราส่วนความชื้น (Soponronnarit, S., 1997) สามารถลดรูปได้ดังสมการ

$$MR = \frac{M_t}{M_i} \quad (2)$$

อัตราการอบแห้ง (Drying Rate: DR) คืออัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในวัสดุอบแห้งต่อเวลาในหน่วย kg/hr สามารถหาได้ดังสมการ

$$DR = \frac{m_d(M_i - M_f)}{t} \quad (3)$$

เมื่อ m_d คือ มวลของวัสดุแห้งไร้ความชื้น (kg)

M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุ (%drybasis)

t คือ เวลา (hr)

การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) คือพลังงานรวมที่ใช้ในการอบแห้งต่อหนึ่งหน่วยมวลความชื้นของวัสดุอบแห้งในหน่วย MJ/kg_{water} สามารถหาได้ดังสมการ

$$SEC = \frac{(E_{infra} + E_{vac} + E_{dryer})}{m_w} \quad (4)$$

เมื่อ E_{infra} คือ พลังงานที่ใช้กับหลอดอินฟราเรด (kWh)

E_{vac} คือ พลังงานที่ใช้กับเครื่องทำสุญญากาศ (kWh)

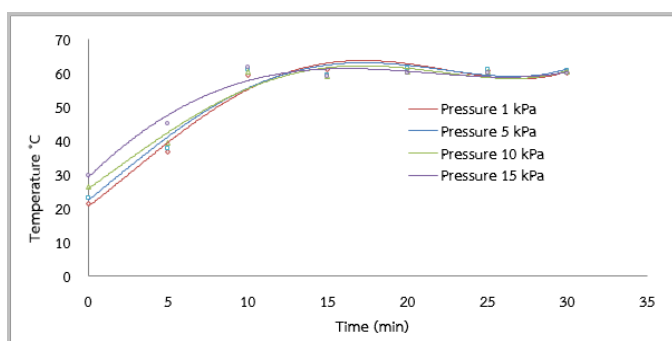
E_{dryer} คือ พลังงานที่ใช้ของชุดตากน้ำ (kWh)

m_w คือ มวลของน้ำที่ระเหยจากวัสดุ (kg)

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากวิธีดำเนินการวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น ทดสอบโดยใช้เนื้อขนุนจำนวน 2 kg ที่ความชื้นเริ่มต้น 350 - 400%db. ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 55 และ 60 °C ทำการปรับเปลี่ยนความดันสัมบูรณ์ 1 5 10 และ 15 kPa และทำการปรับเปลี่ยนระยะห่างระหว่างหลอดฮีตเตอร์อินฟราเรดกับชั้นวางขนุน 12 15 และ 18 cm อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายมีค่าไม่เกิน 19%db

4.1 ผลของอุณหภูมิของห้องอบแห้ง ที่ความดันสัมบูรณ์ต่าง ๆ

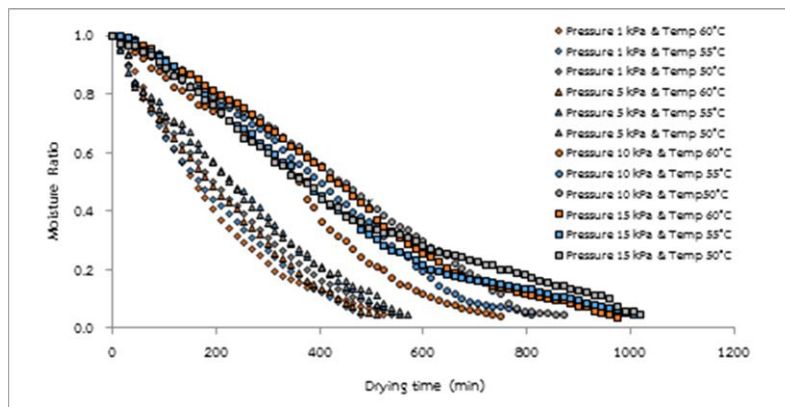


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของห้องอบแห้งอินฟราเรดระบบสุญญากาศ ที่สภาวะความดันสัมบูรณ์ 1, 5, 10 และ 15 kPa

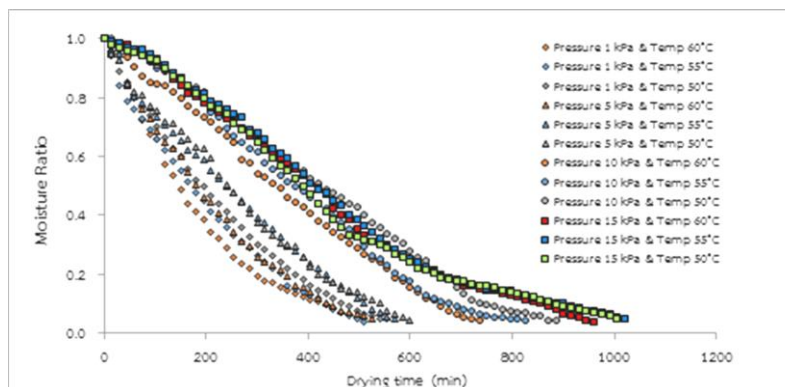
ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของห้องอบแห้ง ที่สภาวะเริ่มต้นก่อนให้ความร้อนพบว่าที่ห้องอบที่ความดันสัมบูรณ์ต่ำ จะมีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ต่ำกว่า ซึ่งเป็นผลจากที่สภาวะความดันต่ำ อุณหภูมิจะต่ำ โดยเริ่มให้ความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ในช่วง 22- 30 °C พบว่าในช่วง 10 นาทีแรกจะมีอัตราการทำความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ หลังจากนั้นจะพบว่าที่ในช่วง 12 - 15 นาที ที่ความดันสัมบูรณ์ต่ำ สามารถเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องอบได้สูงกว่าความดันสัมบูรณ์สูง เนื่องจากที่สภาวะความดันต่ำหรือความดันสุญญากาศประสิทธิภาพในการทำความร้อนในห้องอบสูงกว่า จากนั้นในแต่ละความดันสัมบูรณ์ ค่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากถูกควบคุมโดยชุดควบคุมอุณหภูมิ

4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อขนุน ที่ระยะห่าง และความดันสัมบูรณ์ต่าง ๆ

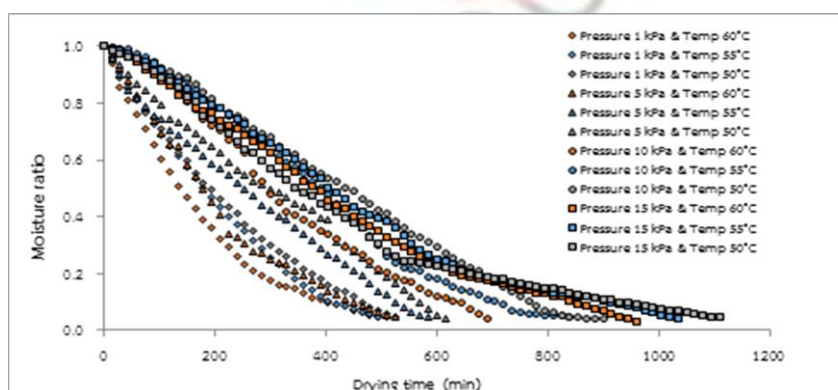
ผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อขนุน ที่ระยะห่าง และความดันสัมบูรณ์ ดังภาพที่ 4 5 และ 6



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อขนุน ที่ระยะห่าง 12 cm



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อขนุน ที่ระยะห่าง 15 cm



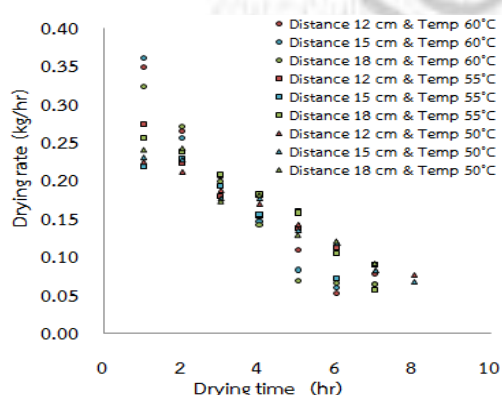
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อขนุน ที่ระยะห่าง 18 cm

จากภาพที่ 4 5 และ 6 โดยเมื่อพิจารณาที่ของระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับถาดวัสดุ ที่ 12 15 และ 18 cm ที่สภาวะความดันสัมบูรณ์ 1 5 10 และ 15 kPa และอุณหภูมิที่ใช้การอบแห้ง 60 55 50 พบว่าที่สภาวะเหมาะสมการอบแห้งเนื้อขนุน ที่ระยะห่าง 12 cm ที่ความดันสูญญากาศ 1 kPa อุณหภูมิ 60°C ใช้ระยะเวลาในการอบน้อยที่สุด 480 นาที ซึ่งสามารถอบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายมีค่าไม่เกิน 19 %db ใช้เวลาน้อยที่สุด ดังตารางที่ 1

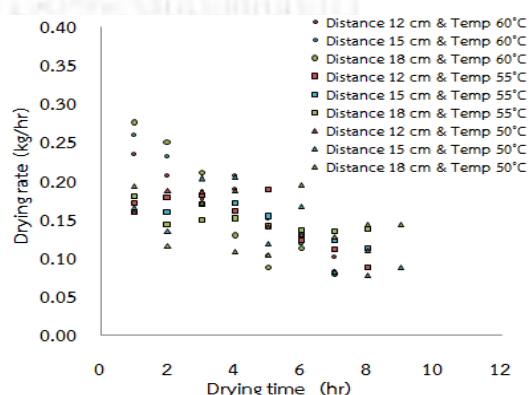
ตารางที่ 1 ผลของความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับภาควัตถุ ที่สภาวะความดันสุญญากาศ และอุณหภูมิที่ใช้การอบแห้ง ที่มีผลต่อเวลาการอบแห้งเนื้อขนุน

Distance (mm)	absolute pressure (kpa)	Drying time (min) temperature		
		50 °C	55 °C	60 °C
12	1	540	525	480
	5	570	555	510
	10	870	810	750
	15	1020	1005	975
15	1	555	525	510
	5	600	570	525
	10	885	825	735
	15	1020	1005	960
18	1	525	510	495
	5	615	585	525
	10	900	840	690
	15	1100	1035	960

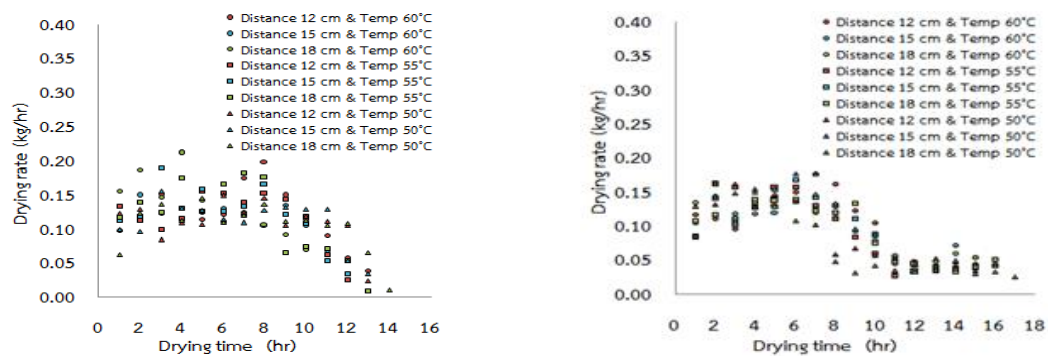
4.3 ผลของความสัมพันธ์ของความดันสัมบูรณ์ ที่มีต่ออัตราการอบแห้ง



A. ความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้ง ที่ความดัน 1 kPa



B. ความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้ง ที่ความดัน 5 kPa



C. ความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้ง ที่ความดัน 10 kPa D. ความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งที่ความดัน 15 kPa

ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้ง ที่สภาวะความดันสัมบูรณ์ 1 - 15 kPa

จากภาพที่ 7 แสดงผลของอัตราการอบแห้งที่สภาวะความดันสุญญากาศ 1 - 15 ที่ระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับถาดวัสดุที่ 12 - 18 cm อุณหภูมิที่ใช้การอบแห้ง 50 - 60 พบว่าที่ความดันสุญญากาศ 1 kPa มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าทุก ๆ ความดันสัมบูรณ์กล่าวคือการลดความดันสัมบูรณ์หรือเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น และพบว่าอุณหภูมิที่อบแห้งที่สูงมีผลทำให้อัตราการอบแห้ง โดยที่อุณหภูมิที่อบแห้งที่ 60 °C อัตราการอบแห้งสูงที่สุด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของความสัมพันธ์ของสภาวะความดันสุญญากาศ ระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับถาดวัสดุ และอุณหภูมิที่ใช้การอบแห้ง ที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งเนื้อขนุน

absolute pressure (kPa)	Distance (mm)	Drying Rate _{ave} (kg/hr)		
		temperature		
		50 °C	55 °C	60 °C
1	12	0.151	0.168	0.172
	15	0.149	0.163	0.168
	18	0.147	0.151	0.162
5	12	0.148	0.150	0.169
	15	0.144	0.147	0.168
	18	0.142	0.145	0.163
10	12	0.118	0.126	0.128
	15	0.111	0.121	0.125
	18	0.104	0.114	0.122
15	12	0.090	0.094	0.106
	15	0.089	0.092	0.099

จากการประเมินและการวิเคราะห์ เวลาในการอบแห้งชิ้น และอัตราการอบแห้งเฉลี่ย ยังไม่สามารถ ระบุสภาวะเหมาะสมการอบแห้งเนื้อขนุนได้ เพราะยังต้องพิจารณาปัจจัยของคุณภาพ และความสิ้นเปลืองพลังงานมาประกอบ ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 8 จึงสามารถสรุปได้ว่าสภาวะ เหมาะสมการอบแห้งเนื้อขนุนที่ความดันสุญญากาศ 1 kPa อุณหภูมิ 60 °C ที่ระยะห่าง 12 cm พบว่าค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งที่ความดัน 1 kPa มีค่าน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากที่ภาวะความดันต่ำมีผลทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำทำให้ใช้เวลา อบแห้งน้อยลง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความดันสุญญากาศและอุณหภูมิอบแห้ง ส่งผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอย่างมีนัยยะ โดยทำให้มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ จะลดลง เมื่อลดค่าความดันสมบูรณ์หรือทำการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งที่สภาวะความดันสุญญากาศ 1 - 15 kPa ที่มีผลต่อ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งเนื้อขนุน

Condition	Absolute pressure (kPa)			
	1	5	10	15
Average drying time (min)	480	510	750	975
Average drying Rate (kg/hr)	0.172	0.169	0.128	0.106
Average SEC (MJ/kg _{water})	21.67	24.56	28.94	31.66



ก่อนการอบแห้ง



หลังจากการอบแห้ง

ภาพที่ 8 แสดงการอบแห้งเนื้อขนุนโดยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดระบบสุญญากาศ

5. สรุปผลการวิจัย

การหาอัตราการแห้งตัวของขนุน โดยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดระบบสุญญากาศ ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมการอบแห้งเนื้อขนุน คือ อุณหภูมิอบแห้งที่ 60 °C ความดัน 1 กิโลพาสกาล ระยะห่างของฮีตเตอร์อินฟราเรดกับชั้นวางที่ 12 cm ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด

480 นาที สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด 21.67 MJ/kg และอัตราการอบแห้งที่สูงที่สุด 0.172 kg/hr เนื่องจากการทำสุญญากาศที่ความดันต่ำ สามารถลดอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำภายในเนื้อขนุน และระยะห่างของฮีตเตอร์อินฟราเรดกับวัสดุที่ใกล้กับเนื้อขนุน มีค่าพลังงานต่อหน่วยพื้นที่หลอดฮีตเตอร์อินฟราเรดที่สูงกว่า มีผลทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนทุนโครงการงานวิจัย และขอขอบคุณ นายชินทร์ เฟื่องนอก นายณัฐพงศ์ บุญยัง และนายปวีร์ เจริญกุล กลุ่มผู้ช่วยวิจัย และสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ สำหรับงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Junlakan, w., Tirawanichakul, S., & Yamsaengsung, R. (2017). Effects of vacuum drying on structural changes of bananas, pineapples, and apples. **Journal of Food Engineering** ,106(4), 298-305. (in Thai)
- Jutarut, T., Supawan, T., Yutthana, T., (2014). Strategic Development of Crisp Tiny Anchovy Using Hot Air and Infrared Drying. **Burapha Science Journal**, 106(4), 3-10. (in Thai)
- Nuthong, P., Dijkanarukkul, P., Ratchatawan Am-Oht1,R. (2014). Thermal Properties Analyses of Combined Infrared and Hot Air Dryer. **UBU Engineering Journal**, 7(2), 73-81. (in Thai)
- Tirawanichakul, S., Lamaepae, S., and Tirawanichakul, Y. (2014). Combined infrared /microwave and hot air drying for jackfruit: Kinetics, quality and sensory analysis. **Burapha Science Journal**, 17(2), 117-129. (in Thai)
- Sa-Adchom, P. and Swasdisevi,T.(2014). Pork Slices Drying Using a Combined Vacuum and Far-Infrared Radiation Technique. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**, 7(1), 83-97. (in Thai)
- Supawan, T., Jutarut T., Chalerm P., Ratchaneekorn N., Yutthana T., (2011). Effect of Drying Condition on Kinetic and Quality of Jackfruit Drying. **Thaksin University Journal**, 23(4), 83-91. (in Thai)
- Soponronnarit, S., (1997). **Drying of seeds and certain foods**. Bangkok : King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)

วิธีการตัดเหล็กเสริมเพื่อลดปริมาณเศษเหล็ก สำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

Reinforcing Steel Cutting Methods to Minimize Trim Loss Steel for Precast Concrete L-Shape Retaining Wall

ศรวิวรรณ ฤกษ์ฤทธิ์^{1*} และศรายุทธ มาลัย²

Srivan Rurkpurit^{1*} and Sarayut Malai²

^{1*}คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

โทรศัพท์ 09 0929 2119 โทรสาร 0 5692 5099 E-mail: srivanru@hotmail.com

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

^{1*}Faculty of Science Naresuan University, 99 Moo 9 Tumbon Thapho Amphoe Muang Phitsanulok 65000 Thailand

Tel. +669 0929 2119 Fax +66 5692 5099 E-mail : srivanru@hotmail.com

²Faculty of Industrial Technology Lampang Rajabhat University, 119 Moo 9 Tumbon Chomphu Amphoe Muang
Lampang 52100 Thailand

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กลดน้อยที่สุดในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ที่มีความหนา 0.15 เมตร กว้าง 1.20 เมตร สูง 1.40 เมตร ความยาว 1.00 เมตร กำแพงกันดินแต่ละแห่งประกอบด้วยเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ยาว 0.95 เมตร จำนวน 22 ท่อน ยาว 2.50 เมตร จำนวน 5 ท่อน และเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ยาว 2.70 เมตร จำนวน 5 ท่อน

จากการศึกษาการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 1 ถึง 200 แห่ง ผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มได้ 1 ตัวแบบสำหรับการตัดเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และ 1 ตัวแบบสำหรับการตัดเหล็กข้ออ้อย DB10 มิลลิเมตร ที่มีความยาวมาตรฐานทั้ง 10 เมตร และ 12 เมตร ผู้วิจัยพบว่ามี 2 วิธีในการตัดเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 0.95 เมตร และ 2.50 เมตร ตามต้องการ มีผลให้เกิดปริมาณเศษเหล็กร้อยละ 3.29 และมี 1 วิธีในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตรความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 2.70 เมตร ตามต้องการ มีผลให้เกิดปริมาณเศษเหล็กร้อยละ 11.11 ซึ่งเป็นปริมาณเศษเหล็กลดน้อยที่สุดเมื่อมีการผลิตกำแพงกันดินเพิ่มขึ้นทุก 20 แห่ง (20 40 60 80 100 120 140 160 180 และ 200 แห่ง)

ผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือวิธีการตัดเหล็กซึ่งลดปริมาณเศษเหล็กลดน้อยที่สุดในการผลิตกำแพงกันดินหล่อสำเร็จรูปตัวแอล และส่งให้ผู้ผลิตใช้งานเพื่อลดปริมาณเศษวัสดุในโรงงาน ผู้ผลิตได้นำไปใช้ในการ

จัดซื้อวัตถุดิบและการทำแผนปฏิบัติงาน ผลที่ได้แสดงว่าปริมาณเศษเหล็กลดลงมากกว่าเดิมที่เคยบริหารจัดการในอดีต

คำสำคัญ : ลดเศษเหล็กน้อยที่สุด, กำแพงกันดินรูปตัวแอล, คอนกรีตหล่อสำเร็จรูป

Abstract

The objective of this research is to identify the optimum reinforcing steel cutting methods that would minimize trim losses in the production of precast concrete L-shape retaining wall with the dimension of 0.15 m. thick, 1.20 m. in width, 1.40 m. in height and 1.00 m. in length. Each retaining wall contains 22 rods of 0.95 m. RB 6 mm., 5 rods of 2.50 m. RB 6 mm. round bar and 5 rods of 2.70 m. DB 10 mm. deformed bar.

From the study of retaining wall production between 1 - 200 pieces, researchers have formulated a mathematical formula using integer linear programming models. There are one model for round bar RB 6 mm. 10 m. standard length and one model for deformed bar DB 10 mm. both 10 m. and 12 m. standard length. The researchers found that there are two cutting patterns needed for cutting RB 6 mm. round bar with a standard length of 10 m. into the required length of 0.95 m. and 2.50 m. resulting in 3.29% trim losses. However, there is only one cutting pattern required for cutting DB 10 mm. deformed bar with a standard length of 12 m. resulting in 11.11% trim losses. To obtain the minimum trim losses, the number of units in each production must be in the incremental of 20 (20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 and 200 pieces).

Researchers provided a manual on steel rod cutting methods, which minimize trim losses steel for precast concrete L-shape retaining wall, and sent to the manufacturer in order to reduce waste in the factory. The manufacturer has utilized it to procure raw materials and executing production plan. The result shown less trim losses compare to previous trim loss management practice.

Keywords : Minimize steel trim loss, L-shape retaining wall, Precast concrete

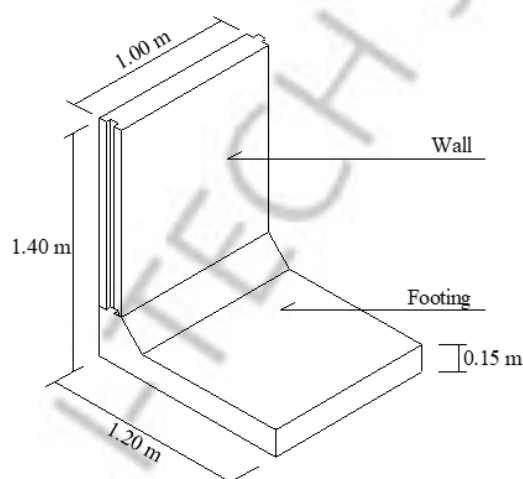
1. บทนำ

อุตสาหกรรมการก่อสร้างเป็นอุตสาหกรรมหลักและมีความสำคัญในการพัฒนาประเทศ ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีเศรษฐกิจใหญ่อันดับสองในภูมิภาคเอเชีย มูลค่าการก่อสร้างในปี ค.ศ.2016 มีค่า 41.3 พันล้านดอลลาร์ หรือประมาณ 1,400 พันล้านบาท ซึ่งแยกเป็นงานเอกชนมูลค่า

17.9 พันล้านดอลลาร์ หรือประมาณ 607 พันล้านบาท และเป็นงานราชการมูลค่า 23.4 พันล้านดอลลาร์หรือประมาณ 793 พันล้านบาท (Solidiance, 2017) กล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมก่อสร้างมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของประเทศ ขบวนการก่อสร้างโดยวิธีติดตั้งไม้แบบ ผูกเหล็ก แล้วเทคอนกรีตในหน่วยงานก่อสร้างเป็นวิธีการเก่าที่ไม่ประหยัด เนื่องจากเกิดวัสดุเสียหายมาก และค่าแรงงานสูง ด้วยเหตุนี้ทำให้ขบวนการก่อสร้างแบบใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปเป็นที่นิยมและมีบทบาทมากขึ้น ขบวนการเริ่มจากการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ ในโรงงาน แล้วขนส่งไปยังหน่วยงาน ซึ่งเป็นสถานที่ก่อสร้าง ทำการประกอบติดตั้งในตำแหน่งที่ต้องการ ด้วยวิธีการเช่นนี้ทำให้เกิดความง่ายต่อการควบคุมคุณภาพและประสิทธิภาพในการก่อสร้าง ช่วยประหยัดค่าแรงงานและสามารถควบคุมปริมาณวัสดุเสียหายจากการก่อสร้าง François Coignet เป็นผู้บุกเบิกพัฒนาการก่อสร้างโดยใช้ชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ทำจากคอนกรีตเสริมเหล็ก (Wikipedia, 2018)

เหล็กเสริมในคอนกรีตทั่วไปเป็นเหล็กเส้นกลม (Round bar, RB) ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และเหล็กเส้นข้ออ้อย (Deformed bar, DB) ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และ 12 เมตร การก่อสร้างจำเป็นต้องตัดเหล็กจากความยาวมาตรฐานให้ได้ความยาวที่ต้องการใช้งาน ทำให้มีเศษเหล็กเกิดจากการตัดเหล็ก ซึ่งจัดเป็นปัญหา cutting-stock problem (CSP) ที่ต้องลดความเสียหายให้น้อยที่สุด (Jahromi, M.H. et al., 2012) บุคคลแรกที่สร้างสมการของ CSP คือ Leonid V. Kantorovich (Kantorovich, L.V., 1960) ผู้ที่สามารถแก้สมการของ CSP อย่างมีประสิทธิภาพคือ Gilmore and Gomory (Gilmore, P.C. & Gomory, R.E., 1961)

การวิจัยครั้งนี้เน้นการลดเศษเหล็กที่ตัดจากเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อยที่ใช้ในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล มีความหนา 0.15 เมตร กว้าง 1.20 เมตร สูง 1.40 เมตร ยาว 1.00 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

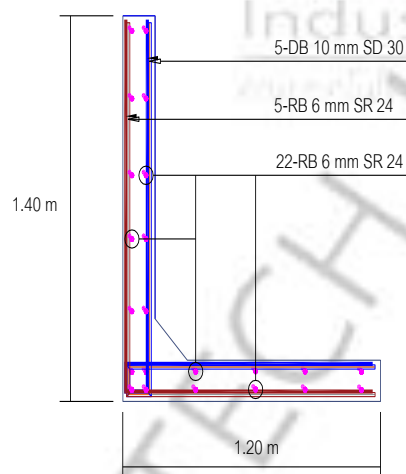
- 2.1 หาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุดในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล
- 2.2 สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุด
- 2.3 จัดทำคู่มือการตัดเหล็กเสริมในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลให้ผู้ผลิตใช้งานเพื่อลดเศษเหล็กในโรงงาน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

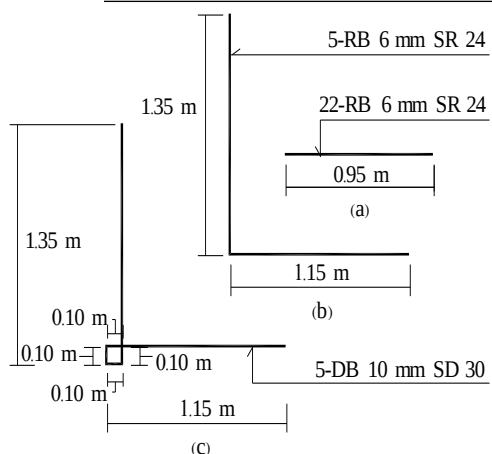
การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล จำนวน 1 ถึง 200 แท่ง ผู้วิจัยได้ดำเนินการถอดแบบรายการเหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล เก็บรวบรวมข้อมูล จัดหามูลวิธีการตัดเหล็กเสริม สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม และวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การถอดแบบรายการเหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล

ศึกษารายละเอียดจากแบบกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ได้ข้อมูลชนิดเหล็กเสริม ขนาด ความยาว และจำนวน ดังแสดงในภาพที่ 2 และรูปร่างการตัดเหล็กเส้นกลม ดังแสดงในภาพที่ 3(a), 3(b) และรูปร่างการตัดเหล็กข้ออ้อยดังแสดงในภาพที่ 3(c)



ภาพที่ 2 เหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล



(a) และ (b) เป็นเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร
(c) เป็นเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3 รูปร่างการดัดเหล็ก (Bar Bending)

ในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลหนึ่งแท่งใช้เหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร (a) ความยาว 0.95 เมตร จำนวน 22 ท่อน และ (b) ความยาว 2.50 เมตร จำนวน 5 ท่อน และใช้เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความยาว 2.70 เมตร จำนวน 5 ท่อน

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลจำนวน 1 – 200 แท่ง ได้ผลแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนเหล็กเสริมที่ต้องการใช้ในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล 1 - 200 แท่ง

จำนวนกำแพงกันดิน คอนกรีตหล่อสำเร็จรูป ตัวแอล (แท่ง)	จำนวนเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร	จำนวนเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร	จำนวนเหล็กเส้น กลม RB 6 มิลลิเมตร
	ความยาว 2.50 เมตร (ท่อน)	ความยาว 0.95 เมตร (ท่อน)	ความยาว 2.50 เมตร (ท่อน)
1	5	22	5
2	10	44	10
3	15	66	15
:	:	:	:
199	995	4,378	995
200	1,000	4,400	1,000

3.3 การจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริม

ผู้วิจัยได้ทำการจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริมทั้งหมดที่เป็นไปได้ สำหรับเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ได้หมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน 28 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 หมู่วิธีการตัดเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 2.50 เมตร และ 0.95 เมตร

การตัดเหล็ก วิธีที่	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็ก (เมตร)
1	2.50	7.50
2	2.50×2	5.00
3	2.50×3	2.50
4	2.50×4	0.00
5	0.95×1	9.05
6	0.95×2	8.10
7	0.95×3	7.15
8	0.95×4	6.20
9	0.95×5	5.25
10	0.95×6	4.30
11	0.95×7	3.35
12	0.95×8	2.40
13	0.95×9	1.45
14	0.95×10	0.50
15	$2.50 + 0.95$	6.55
16	$2.50 + 0.95 \times 2$	5.60
17	$2.50 + 0.95 \times 3$	4.65
18	$2.50 + 0.95 \times 4$	3.70
19	$2.50 + 0.95 \times 5$	2.75
20	$2.50 + 0.95 \times 6$	1.80
21	$2.50 + 0.95 \times 7$	0.85
22	$2.50 \times 2 + 0.95$	4.05
23	$2.50 \times 2 + 0.95 \times 2$	3.10

ตารางที่ 2 หมู่วิธีการตัดเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 2.50 เมตร และ 0.95 เมตร (ต่อ)

การตัดเหล็ก วิธีที่	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็ก (เมตร)
24	$2.50 \times 2 + 0.95 \times 3$	2.15
25	$2.50 \times 2 + 0.95 \times 4$	1.20
26	$2.50 \times 2 + 0.95 \times 5$	0.25
27	$2.50 \times 3 + 0.95$	1.55
28	$2.50 \times 3 + 0.95 \times 2$	0.60

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร สามารถนำมาตัดให้ได้ความยาว 2.70 เมตร ได้หมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน 3 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 หมู่วิธีการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้ความยาว 2.70 เมตร

การตัดเหล็ก วิธีที่	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็ก (เมตร)
1	2.70	7.30
2	2.70×2	4.60
3	2.70×3	1.90

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร สามารถนำมาตัดให้ได้ความยาว 2.70 เมตร ได้หมู่วิธีทั้งหมดที่เป็นไปได้จำนวน 4 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 หมู่วิธีการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้ความยาว 2.70 เมตร

การตัดเหล็ก วิธีที่	ความยาวเหล็กที่ต้องการ (เมตร)	เศษเหล็ก (เมตร)
1	2.70	9.30
2	2.70×2	6.60
3	2.70×3	3.90
4	2.70×4	1.20

3.4 การสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

ผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์โดยใช้หลักกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Schrijver, A., 2000; Taylor III, B.W., 2013) มีจุดประสงค์เพื่อให้เศษเหล็กจมน้อยที่สุด อาศัยข้อมูลจากรวบรวม และการจัดหมู่วิธีการตัดเหล็กเสริม ได้ตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม ดังนี้

การตัดเหล็กเส้นที่มีความยาวมาตรฐาน ให้มีขนาดความยาว l_i เมตร เป็นจำนวน q_i ท่อน ตามความต้องการใช้งานโดย $i = 1, 2, \dots, m$

สำหรับเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร

$$\max_{1 \leq i \leq m} \leq 10 \quad (1)$$

กำหนดให้

- Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด
 a_{ij} คือ จำนวนท่อนเหล็กกลมที่มีขนาดความยาว l_i ซึ่งตัดโดยวิธีที่ j
 x_j คือ จำนวนเส้นเหล็กกลมขนาดมาตรฐาน 10 เมตร ที่ใช้ตัดโดยวิธีที่ j
 q_i คือ จำนวนท่อนเหล็กกลมที่มีขนาดความยาว l_i
 c_j คือ ความยาวเศษเหล็กจากการตัดเหล็กกลมขนาดมาตรฐาน 10 เมตร โดยวิธีที่ j

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (2)$$

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = q_i \quad (3)$$

$$\text{for } i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_j \geq 0 \text{ and integer}$$

กรณีการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 20 แห่ง ใช้เหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ตัดเพื่อให้ได้เหล็กความยาว 2.50 เมตร จำนวน 100 ท่อน และความยาว 0.95 เมตร จำนวน 440 ท่อน มีวิธีการตัดทั้งหมด 28 วิธี ตัวแบบคณิตศาสตร์ มีดังนี้

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & 7.50x_1 + 5.00x_2 + 2.50x_3 + 0.00x_4 + 9.05x_5 + 8.10x_6 + 7.15x_7 \\ & + 6.20x_8 + 5.25x_9 + 4.30x_{10} + 3.35x_{11} + 2.40x_{12} + 1.45x_{13} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ 0.50x_{14} + 6.55x_{15} + 5.60x_{16} + 4.65x_{17} + 3.70x_{18} + 2.75x_{19} \\
 &+ 1.80x_{20} + 0.85x_{21} + 4.05x_{22} + 3.10x_{23} + 2.15x_{24} + 1.20x_{25} \\
 &+ 0.25x_{26} + 1.55x_{27} + 0.60x_{28}
 \end{aligned} \quad (4)$$

ข้อจำกัดขนาดความยาว 2.50 เมตร

$$\begin{aligned}
 &x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 4x_4 + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} \\
 &+ x_{20} + x_{21} + 2x_{22} + 2x_{23} + 2x_{24} + 2x_{25} + 2x_{26} + 3x_{27} + 3x_{28} = 100
 \end{aligned} \quad (5)$$

ข้อจำกัดขนาดความยาว 0.95 เมตร

$$\begin{aligned}
 &x_5 + 2x_6 + 3x_7 + 4x_8 + 5x_9 + 6x_{10} + 7x_{11} + 8x_{12} + 9x_{13} \\
 &+ 10x_{14} + x_{15} + 2x_{16} + 3x_{17} + 4x_{18} + 5x_{19} + 6x_{20} + 7x_{21} \\
 &+ x_{22} + 2x_{23} + 3x_{24} + 4x_{25} + 5x_{26} + x_{27} + 2x_{28} = 440
 \end{aligned} \quad (6)$$

เมื่อ $x_1, x_2, \dots, x_{28} \geq 0$ และเป็นจำนวนเต็ม

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร

$$\max_{1 \leq i \leq m} \leq 10 \quad (7)$$

สำหรับเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร

$$\max_{1 \leq i \leq m} \leq 12 \quad (8)$$

กำหนดให้

- Z คือ ผลรวมทั้งหมดของเศษเหล็กจากการตัด
- a_{ij} คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาว l_i ซึ่งตัดโดยวิธีที่ j
- x_{Aj} คือ จำนวนเส้นเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 10 เมตร ที่ใช้ตัดโดยวิธีที่ j
- x_{Bj} คือ จำนวนเส้นเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 12 เมตร ที่ใช้ตัดโดยวิธีที่ j
- q_i คือ จำนวนท่อนเหล็กข้ออ้อยที่มีขนาดความยาว l_i
- c_{Aj} คือ ความยาวของเศษเหล็กจากการตัดเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 10 เมตร โดยวิธีที่ j
- c_{Bj} คือ ความยาวของเศษเหล็กจากการตัดเหล็กข้ออ้อยขนาดมาตรฐาน 12 เมตร โดยวิธีที่ j

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j=1}^n c_{Aj} x_{Aj} + \sum_{j=1}^{n'} c_{Bj} x_{Bj} \quad (9)$$

ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_{Aj} + \sum_{j=1}^{n'} a_{ij}x_{Bj} = q_i \quad (10)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$J = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{Aj} \geq 0 \text{ and integer}$$

$$x_{Bj} \geq 0 \text{ and integer}$$

กรณีการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตจำนวน 20 แห่ง ใช้เหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร มีวิธีการตัดทั้งหมด 3 วิธี และเหล็กข้ออ้อยความยาวมาตรฐาน 12 เมตร มีวิธีการตัดทั้งหมด 4 วิธี เพื่อให้ได้เหล็กยาว 2.70 เมตร จำนวน 100 ท่อน ตัวแบบคณิตศาสตร์ มีดังนี้

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Minimize } Z = 7.30x_{A1} + 4.60x_{A2} + 1.90x_{A3} + 9.30x_{B1} + 6.60x_{B2} + 3.90x_{B3} + 1.20x_{B4} \quad (11)$$

ข้อจำกัดขนาดความยาว 2.70 เมตร

$$x_{A1} + 2x_{A2} + 3x_{A3} + x_{B1} + 2x_{B2} + 3x_{B3} + 4x_{B4} = 100 \quad (12)$$

$$\text{เมื่อ } x_{A1}, x_{A2}, x_{A3}, x_{B1}, x_{B2}, x_{B3}, x_{B4} \geq 0 \text{ และเป็นจำนวนเต็ม}$$

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์หาผลลัพธ์ของตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม โดยใช้โปรแกรม Solver ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งสามารถใช้งานได้โดยเรียกใช้งานผ่าน Add-ins โปรแกรม Solver เป็นเครื่องมือช่วยในการหาคำตอบที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว

4. ผลการวิจัย

การผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลที่เกิดเศษเหล็กน้อยที่สุด จากการศึกษาการผลิตจำนวน 1 ถึง 200 แห่ง ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตที่มีจำนวนวิธีการตัดเหล็กและปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุดคือ การผลิตจำนวน 20 40 60 80 100 120 140 160 180 และ 200 แห่ง ซึ่งให้ผลเหมือนกัน คือ มี 2 วิธี ในการตัดเหล็กเส้นกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 0.95 เมตร และ 2.50 เมตร และมี 1 วิธี

ในการตัดเหล็กข้ออ้อย เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 2.70 เมตร จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณเศษเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย คิดเป็นร้อยละ 3.29 และ 11.11 ตามลำดับ ตารางที่ 5 แสดงวิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 20 แห่ง

ตารางที่ 5 วิธีการตัดเหล็กเสริมสำหรับการผลิตกำแพงกันดินจำนวน 20 ชิ้น

วิธี	ขนาดความยาวที่ตัดสำหรับใช้งาน	เหล็กเสริม มาตรฐาน ใช้ตัด (เส้น)	ขนาดตามความต้องการ			เศษเหล็ก
			2.70 เมตร (ท่อน)	2.50 เมตร (ท่อน)	0.95 เมตร (ท่อน)	รวม (เมตร)
1	เหล็ก RB 6 mm SR 24 ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร					
	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95	19	-	-	190	9.50
	0.95 0.95 0.95 0.95 0.95					
2	2.50 2.50 0.95 0.95 0.95	50	-	100	250	12.50
	0.95 0.95					
	รวม	69		100	440	22.00
						3.29%
1	เหล็ก DB 10 mm SD 40 ความยาวมาตรฐาน 12 เมตร					
	2.70 2.70 2.70 2.70	25	100	-	-	30.00
	รวม		100			30.00
						11.11%

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 การวิจัยครั้งนี้ได้ผลตามวัตถุประสงค์

1) ศึกษาหาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุดในการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล การวิจัยเริ่มโดยการถอดแบบกำแพงกันดินพบว่าในการผลิตกำแพงกันดินแต่ละแห่งประกอบด้วยเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาว 2.50 เมตร จำนวน 5 ท่อน และความยาว 0.95 เมตร จำนวน 22 ท่อน เหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตร ความยาว 2.70 เมตร จำนวน 5 ท่อน การผลิตจำนวน 20 40 60 80 100 120 140 160 180 และ 200 แห่งให้ผลลัพธ์

เหมือนกันคือมีจำนวนวิธีการตัดเหล็กและปริมาณเศษเหล็กน้อยที่สุด ซึ่งมี 2 วิธีในการตัดเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตรความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 0.95 เมตร และ 2.50 เมตร ตามต้องการ และมี 1 วิธีในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตรความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 2.70 เมตร ตามต้องการ

2) สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์ใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการตัดเหล็กให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุด ผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม ใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการตัดเหล็กเสริมให้มีเศษเหล็กน้อยที่สุด โดยได้ 1 ตัวแบบสำหรับการตัดเหล็กเส้นกลม RB 6 มิลลิเมตร ความยาวมาตรฐาน 10 เมตร และ 1 ตัวแบบสำหรับตัดเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตรที่มีความยาวมาตรฐานทั้ง 10 เมตร และ 12 เมตร จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณเศษเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อยน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 3.29 และ 11.11 ตามลำดับ

3) จัดทำคู่มือการตัดเหล็กเสริมในกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอล ผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือการตัดเหล็กเสริมในการผลิตกำแพงกันดินมอบให้บริษัท พี.เอ. คอนกรีต จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป บริษัทผู้ผลิตได้นำคู่มือไปใช้งานและแจ้งให้มหาวิทยาลัยนเรศวรทราบว่า ผลการใช้คู่มือการตัดเหล็กเสริมนั้นเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง ทำให้บริษัทสามารถบริหารจัดการในเรื่องการจัดซื้อ และการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดปริมาณเศษเหล็กได้นับเป็นผลงานวิจัยที่มีประโยชน์ต่อบริษัท

5.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยพบว่าการผลิตกำแพงกันดินคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปตัวแอลจำนวน 20 40 60 80 100 120 140 160 180 และ 200 แท่ง ให้ผลลัพธ์เหมือนกันมี 2 วิธี ในการตัดเหล็กเส้นกลม RB6 มิลลิเมตรความยาวมาตรฐาน 10 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 0.95 เมตร และ 2.50 เมตร ตามความต้องการ มีผลให้เกิดปริมาณเศษเหล็กร้อยละ 3.29 ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับผลงานของ Norman G. Foster ที่ระบุว่า เศษเหล็กเกิดในงานก่อสร้างที่มีการควบคุมอย่างดีมีปริมาณร้อยละ 6 (Foster, N.G., 1995) อย่างไรก็ตามมี 1 วิธีในการตัดเหล็กข้ออ้อย DB 10 มิลลิเมตรความยาวมาตรฐาน 12 เมตร ให้ได้เหล็กยาว 2.70 เมตร ตามความต้องการ มีผลให้เกิดปริมาณเศษเหล็กร้อยละ 11.11 ซึ่งมีค่ามากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผลงานของ Floyd Vogt ที่กล่าวว่า เศษเหล็กเกิดในงานก่อสร้างทั่วไปมีปริมาณร้อยละ 10 (Vogt, F., 2015)

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท พี.เอ. คอนกรีต จำกัด ที่อนุญาตให้ใช้ผลิตภัณฑ์ของบริษัทในการศึกษาวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ให้ทุนการวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Foster, N.G. (1995). **Construction Estimate: from Take off to Bid (3rd ed)**. New York: Mc-Graw Hill.
- Gilmore, P.C. & Gomory, R.E. (1961). A linear programming approach to the cutting-stock problem. **Operations Research**, 9(6), 849-859.
- Jahromi, M.H., Tavakkoli-Moghaddam, R., Makui, A., & Shamsi, A. (2012). Solving an one dimensional cutting stock problem by simulated annealing and tabu search. **Journal of Industrial Engineering International**, 8(24), 1-8.
- Kantorovich, L.V. (1960). **Mathematical methods of organizing and planning production**. Retrieved January 12, 2018, from <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.6.4.366>
- Schrijver, A. (2000). **Theory of Linear and Integer Programming**. New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Solidiance. (2017). **Thailand's construction market is now driven by public infrastructure**. Retrieved January 5, 2018, from <https://www.thailand-business-news.com/real-estate/55961-thailands-construction-market-now-driven-public-infrastructure.html>
- Taylor III, B.W. (2013). **Introduction to management science (11th ed)**. New Jersey: Pearson.
- Vogt, F. (2015). **Residential construction academy: Carpentry (4th ed)**. New York: HBI Building careers.
- Wikipedia. (2018). **Francois Coignet**. Retrieved January 12, 2018, from https://en.wikipedia.org/wiki/Fran%C3%A7ois_Coignet

ลักษณะเฉพาะของยางรักใหญ่และการยึดติดบนพื้นผิวเซรามิก

Characterization of Gluta Usitata Sap and Adhesion on Ceramic Surface

สมศักดิ์ บุญแจ้ง^{1*}

Somsak Boonjaeng^{1*}

^{1*}ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

202 ถนนช้างเผือก ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

โทรศัพท์ 08 1594 4343 โทรสาร 0 5388 5645 E-mail : somsak_boo@cmru.ac.th

^{1*}Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

202 Changpeuk Road, Changpeuk Sub-district, Muang District, Chiang Mai Province, Thailand 50300

Tel. 668 1594 4343, Fax: +66 5388 5645, E-mail: somsak_boo@cmru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของยางรักใหญ่และพฤติกรรมการยึดติดของยางรักบนพื้นผิวเซรามิก เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์ยางรักเพื่อการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยการนำยางรักดิบไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วยเทคนิคฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรเมทรี (Fourier Transform Infrared Spectrometry, FTIR) และเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟีร่วมกับแมสสเปกโตรเมทรี (Gas Chromatography and Mass Spectrometry, GC/MS) พบว่า ยางรักดิบมีประองค์หลักที่มีโครงสร้างโมเลกุลของแคเทคคอล (catechol, $C_6H_4(OH)_2$) ร่วมกับโมเลกุลของสารประกอบที่เป็นโซ่ตรง ในรูปของสารประกอบเฮปตะเดซีนิลแคเทคคอล (Heptadecenylcatechol) ซึ่งโมเลกุลดังกล่าวเป็นมอนอเมอร์ตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันมีชื่อเรียกว่าทิตซียอล (thitsiol) นอกจากนี้ยังพบว่ามือน้ำเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 40 จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด และระยะเวลาการแข็งตัว พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.98 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร 4,057 มิลลิปาสคาลวินาที และ 14 วัน ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบเกี่ยวกับพฤติกรรมการเปียกผิว และการยึดติดบนพื้นผิวเซรามิก พบว่า การเปียกผิวเพิ่มขึ้นบนผลิตภัณฑ์ที่มีการเผาด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วงที่ศึกษา ได้แก่ 700 - 1200 องศาเซลเซียส เนื่องจากความพรุนตัวที่ลดลง อย่างไรก็ตาม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเปียกผิวด้วยการผสมน้ำมันกาดเพื่อลดความหนืดของยางรัก และเมื่อนำยางรักไปเคลือบผิวเนื้อเซรามิกที่ผ่านการเผาในช่วงอุณหภูมิ 700 - 1200 องศาเซลเซียส และทดสอบการยึดติดพบว่า ที่อุณหภูมิการเผา 700 องศาเซลเซียส มีการยึดติดของยางรักสูงที่สุด เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอื่น ๆ ที่ทำการศึกษานี้ เนื่องจากความพรุนตัวที่สูง ทำให้การดูดซับยางรักเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้มีการยึดติดที่สูง

คำสำคัญ : ยางรัก, รักใหญ่, เครื่องเขิน, วานิช, ทิตซียอล

Abstract

This research aimed to study the characteristics and behavior of adhesion of Gluta Usitata sap on ceramic surface. For use in decorating materials on ceramic products, its chemical composition and structure were studied using FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometry) and GC/MS (Gas Chromatography and Mass Spectrometry, GC/MS). It was found that catechol ($C_6H_4(OH)_2$) linked with aliphatic molecule in the form of Heptadecenylcatechol compound was a major composition of sap corresponding to thitsiol monomer. In addition, water was found to a level of around 40%. The physical characteristics of sap in terms of density, viscosity, and hardening time were 0.98 g/cm^3 , 4,057 mPas, and 14 days respectively. The wetting and adhesion to ceramic surface between $700 - 1200^\circ\text{C}$ firing temperatures was studied. It was found that increasing the wetting meant increasing the firing temperature due to lower porosity. However, Kerosene was used for reducing the viscosity in the lower contact angle or increasing the wetting using high kerosene content. The optimum adhesion of sap on ceramic surface was found at 700°C firing temperature compared to the other temperatures with higher porosity and higher adsorption.

Keywords : Lacquer Sap, Gluta Usitata, Lacquer Ware, Varnish, Thitsiol

1. บทนำ

ยางรัก (Sap) มีองค์ประกอบหลักที่เป็นอนุพันธ์ของเคทิกคอล (Catechol, $C_6H_4(OH)_2$) ซึ่งอยู่ในรูปของ (1) อูรูชิโอล (Urushiol) ซึ่งพบในรักจีน ญี่ปุ่น เกาหลี มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Rhus vernicifera* (2) แลคคอล (Laccol) ซึ่งพบในรักเวียดนาม ไต้หวัน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Rhus succedanea* และ (3) ทิตชิโอล (Thitsiol) ซึ่งพบในรักใหญ่ ในไทย พม่า มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Gluta (Melanorrhoea) usitata* (Honda, T. et al., 2008)

ยางรักมีคุณสมบัติในการแข็งตัวได้โดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เรียกว่า เอนไซม์แลคเคส (Laccase) ส่งผลให้มอนอเมอร์ (Monomer) ที่อยู่ในรูปอนุพันธ์ของเคทิกคอลเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) กลายเป็นพอลิเมอร์ (Polymer) มีสมบัติในการยึดเกาะได้ดี ทำให้มีการนำยางรักมาใช้ประโยชน์ในลักษณะการเคลือบผิววัสดุ ทั้งที่ทำจากไม้ โลหะ และเครื่องปั้นดินเผา ในประวัติศาสตร์มีการรายงานการใช้ประโยชน์ยางรักไม่น้อยกว่า 4,000 ปี (Frade, J. C. et al., 2009, 2010, Lu, R. et al., 2004) ซึ่งลักษณะการใช้งานมีทั้งการใช้ในลักษณะการเคลือบผิวเพื่อให้เกิดความคงทน ป้องกันการซึมผ่านของน้ำ และการใช้งานในลักษณะตกแต่งผิว สำหรับในประเทศไทย

ผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อเสียง ได้แก่ เครื่องเงิน ในจังหวัดเชียงใหม่ โดยวัสดุที่นิยมนำมาเคลือบด้วยยางรักจะเป็นไม้ ยางรักยัดเกาะได้ดี เนื่องจากโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเส้นใย มีความพรุนตัว ส่งเสริมให้เกิดการยัดเกาะเชิงกลได้ดี อย่างไรก็ตาม การนำยางรักมาใช้ประโยชน์ต้องมีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัว ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ องค์ประกอบทางเคมีหรือความบริสุทธิ์ สำหรับพื้นผิวต้องมีการปรับสภาพให้มีความเหมาะสม จากการศึกษาขั้นตอนการทำเครื่องเงินในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า มีมากถึง 13 ขั้นตอน กว่าจะได้ผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์

การศึกษาเกี่ยวกับยางรัก พบว่ามีการศึกษา วิจัย ในหลาย ๆ มิติ ดังรายงานของ ศิริชัย ห่วงเจริญตระกูล (2550) (Wangchareontrakul, S., 2008) ได้แก่ การศึกษาในมิติทางนิเวศวิทยา มิติทางพันธุศาสตร์ มิติทางวิทยาศาสตร์ มิติทางศิลปะ มิติการใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรม มิติการเก็บเกี่ยวผลผลิต เป็นต้น โดยเป้าหมายของการศึกษาเกี่ยวกับยางรักในหลายมิติ ก็เพื่อการเข้าใจธรรมชาติของยางรัก ซึ่งเป็นผลผลิตจากธรรมชาติ ถึงแม้ว่าปัจจุบันจะมีวัสดุสังเคราะห์ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ต่างจากยางรัก หรือพัฒนาให้ดีกว่าในบางคุณสมบัติ แต่วัสดุทดแทนเหล่านี้ก็มีข้อเสีย เช่น มีการใช้ตัวทำลายซึ่งเป็นสารพิษเป็นส่วนผสม ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานทั้งในระยะสั้น ได้แก่ ก่อให้เกิดการระคายเคือง หรือระยะยาว อาจเป็นสารก่อมะเร็งหรือระบบทางเดินหายใจถูกทำลาย ซึ่งยางรัก ไม่มี แต่อย่างไรก็ตาม ยางรักก็มีข้อเสีย คือ มีสารที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผิวหนัง หากสัมผัส อาจก่อให้เกิดเป็นแผลพุพอง อักเสบ ติดเชื้อ หากอาการรุนแรง โดยเฉพาะผู้ที่สัมผัสที่แพ้ง่าย ซึ่งต้องระมัดระวังไม่ให้สัมผัสระหว่างใช้งาน นอกจากนี้ อุปสรรคอย่างหนึ่งที่พบหากต้องใช้ยางรักในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจาก อัตราการให้ผลผลิตต่อต้นค่อนข้างต่ำ การกรีดยางรักเพื่อนำมาใช้งานต้องกรีดจำนวนหลายต้น เพื่อให้ได้ปริมาณยางรักที่เพียงพอ สำหรับประเทศไทย ยางรักถือเป็นสิ่งของควบคุมตามกฎหมาย ห้ามผลิตในเชิงพาณิชย์ ปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องเงินใช้ยางรักจากประเทศเพื่อนบ้าน ได้แก่ พม่า ซึ่งต้องขออนุญาตนำเข้า เนื่องจาก ต้นรัก เป็นไม้ยืนต้น ขึ้นตามพื้นที่ป่า หากไม่มีการควบคุมการนำมาใช้ประโยชน์ ต้นรักอาจถูกทำลาย อันเนื่องมาจากความต้องการที่สูง โอกาสที่จะถูกทำลายระหว่างการนำยางรักมาใช้ประโยชน์มีสูง เช่น การเผาเพื่อกระตุ้นการให้ผลผลิตยางรัก การกรีดที่ผิดวิธีทำลายระบบลำเลียงอาหารของต้นรัก เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพพื้นที่ป่าไม้ ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา

การนำยางรักมาใช้ในการเคลือบผิว นอกจากพื้นผิวที่เป็นไม้แล้ว ยังมีพื้นผิวเซรามิก อย่างไรก็ตาม เซรามิกที่นิยมนำมาเคลือบด้วยยางรักมักเป็นเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำราว 700 - 800 องศาเซลเซียส ปัจจุบัน พบว่า มีผู้ประกอบการนำเซรามิกที่ผ่านการเผาเคลือบด้านในราว 1200 - 1250 องศาเซลเซียส แล้วนำมาเคลือบผิวด้านนอกด้วยยางรักเพื่อตกแต่งด้วยทองคำเปลว ทั้งนี้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการยึดติดของยางรัก ประกอบไปด้วย พื้นผิวของวัสดุที่ต้องส่งเสริมการยึดติด พฤติกรรมการเปียกผิวของยางรัก คุณภาพของยางรัก การแข็งตัวของยางรักหรือความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยา

พอลิเมอร์เซชัน เป็นต้น ดังนั้นในการวิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาลักษณะเฉพาะของยางรักใหญ่ ซึ่งนิยมนำมาใช้ในการเคลือบผิวและพฤติกรรมการยึดติดของยางรักใหญ่บนพื้นผิวเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างกันในช่วง 700 - 1200 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้ยางรักในการเคลือบผิวเพื่อตกแต่งด้วยทองคำเปลวที่มีการยึดติดที่ดี

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพและทางเคมีของยางรักใหญ่ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่

2.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการยึดติดของยางรักบนพื้นผิวเซรามิกที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 700 - 1200 องศาเซลเซียส

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและการศึกษาลักษณะเฉพาะ

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ยางรักใหญ่ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่

1) การศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้น โดยการทำให้ความชื้นระเหยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กวนจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (Lu, R. and Miyakoshi, T., 2015) แล้วทำการคำนวณหาร้อยละของความชื้น ทำการวัดความหนืดด้วยถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด (Ford cup) ขนาดเบอร์ 4 (ASTM D1200, 1994) วัดการแข็งตัวโดยใช้หัวเข็มกดด้วยน้ำหนักคงที่ 300 กรัม และทำการหาความถ่วงจำเพาะด้วยวิธีการหาสัดส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตร

2) การศึกษาองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของยางรัก

2.1) การศึกษาโดยใช้เทคนิคฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรเมทรี (Fourier Transform Infrared Spectrometry, FTIR)

ในการศึกษานี้ใช้เครื่อง FTIR รุ่น PerkinElmer Frontier FT MID-IR/Far-IR ด้วยระบบ Smart Universal Diamond Attenuated total reflection (ATR) ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการนำสารตัวอย่างยางรักซึ่งอยู่ในรูปของเหลว ไปวางบนแผ่นโลหะ แล้วทำการทดสอบในช่วงเลขคลื่น (Wave number) 400 - 3600 cm^{-1} เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดจากการส่งผ่านได้ของรังสี (Transmittance)

2.2) การศึกษาโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีร่วมกับแมสสเปกโตรเมทรี (Gas Chromatography and Mass Spectrometry, GC/MS)

ในการศึกษาได้ใช้เครื่องที่ผลิตโดยบริษัท Agilent รุ่น GC 7890A และ MSD 5975C (EI) Headspace G1888 ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้คอลัมน์ ชนิดซิลิกา (silica capillary) สารดูดซับชนิด HP 5MS (ไดฟีนิล (Diphenyl) ร้อยละ 5 ต่อไดเมทิลไซลอกเซน (Dimethyl siloxane) ร้อยละ 95)

3.2 การศึกษาพฤติกรรมและการเคลือบผิวและการยึดติด

1) การเตรียมชิ้นงานสำหรับใช้เป็นพื้นผิวตัวอย่าง และลักษณะเฉพาะ

ชิ้นงานสำหรับใช้เป็นพื้นผิวตัวอย่าง เป็นชิ้นงานประเภทเซรามิก ชนิดสโตนแวร์ โดยการขึ้นรูปเนื้อเซรามิกให้เป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร หนา 2.5 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 - 1200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิละ 3 ชั้น นำไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น ทำการชั่งน้ำหนักเปียก แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น ทำการชั่งน้ำหนัก และนำไปคำนวณหาค่าร้อยละความพรุน และการดูดซึมน้ำ

2) การศึกษาพฤติกรรมและการเปียกผิว

การเปียกผิว (Wetting) ทำการศึกษาโดยการวัดมุมสัมผัส (Arif Butt, M. et al., 2007-2008) โดยการถ่ายภาพแล้ววัดมุมสัมผัสโดยใช้โปรแกรม SketchUp ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและการเปียกผิวที่เกิดจากการเติมน้ำมันก๊าดร่วมด้วย ในอัตราส่วนน้ำมันก๊าดต่อยางรักโดยน้ำหนักในช่วง 0.1 - 0.4

3) การศึกษาพฤติกรรมและการยึดติดขึ้นทดสอบเซรามิกที่มีการเคลือบผิวด้วยยางรัก

สำหรับการศึกษาพฤติกรรมและการยึดติด ได้ทำการศึกษาโดยใช้เทคนิคการลอกออกด้วยเทปกา (ASTM D3359, 2009) โดยผิวเคลือบเตรียมได้จากการนำยางรักมาทาเป็นชั้นบาง ๆ จำนวน 3 ครั้ง ซึ่งครั้งที่สอง และสาม ต้องทาหลังจากที่ชั้นก่อนหน้าเกิดการแข็งตัวแล้ว ซึ่งมีความหนาประมาณ 0.2 มิลลิเมตร หลังจากแข็งตัวแล้ว โดยทำการบ่มเพื่อให้เกิดการแข็งตัว ที่อุณหภูมิประมาณ 28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 70 - 80 เป็นเวลา 7 วัน สำหรับครั้งที่หนึ่งและสอง หลังจากนั้น บ่มทิ้งไว้อีก 14 วัน สำหรับครั้งที่สาม รวมทั้งสิ้น 28 วัน และทำการทดสอบการยึดติด

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ลักษณะเฉพาะของยางรัก

จากการศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของยางรักใหญ่ ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด การแข็งตัว และความชื้น ให้ผลดังตารางที่ 1 พบว่า น้ำยางรักมีค่าความชื้นที่สูงถึงร้อยละ 40 นั้น บ่งชี้ว่ามีน้ำปะปนอยู่ ซึ่งมีผลต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งยางรักที่มีคุณภาพ

จะมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 25 (Webb, M., 2000) เมื่อพิจารณาค่าความหนืด พบว่า มีค่าค่อนข้างสูง มีผลต่อการนำไปใช้งานซึ่งต้องอาศัยการไหลตัวที่ดีเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพในการเคลือบผิว ซึ่งสอดคล้องกับมัมส์ผสมที่สะท้อนถึงความสามารถในการเปียกผิว กล่าวคือมีมัมส์ผสมค่อนข้างสูง เป็นผลมาจากความหนืดที่สูง หากต้องนำไปใช้งานต้องมีการปรับสภาพก่อน

จากการศึกษาเฉพาะทางเคมีโดยใช้เทคนิค FTIR และ GC/MS พบว่ามีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบเฮปตะเดซีนิลแคทาคอล (Heptadecenylcatechol) หมู่อัลคินิลที่ปรากฏในโครงสร้างมีลักษณะเป็นโซ่ตรง มีโครงสร้างที่สอดคล้องกับมอนอเมอร์ชนิดทิตซียอลที่พบในรักใหญ่ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Kiprop, A. K. et al., 2013, Honda, T. et al., 2008, Lu, R. et al., 2007a, 2007b, 2012, Wan, Y.-Y. et al., 2007) ซึ่งโมเลกุลดังกล่าวเป็นมอนอเมอร์ตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน มีชื่อเรียกว่าทิตซียอล (thitsiol)

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะเฉพาะของยางรัก (28 องศาเซลเซียส)

ลักษณะเฉพาะ	ผลการศึกษา
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร, กรัม/เซนติเมตร ³)	0.98
ความหนืด (#4 ford) (มิลลิปาสคาลวินาที)	4,057
การแข็งตัว (วัน) (ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80)	14
ความชื้น (ร้อยละ)	40
สารประกอบหลัก	เฮปตะเดซีนิลแคทาคอล (Heptadecenylcatechol)

4.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมของการเคลือบผิวและการยึดติด

1) สมบัติของเนื้อเซรามิกที่นำมาทำพื้นผิว

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าสมบัติของเนื้อเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิการเผาต่าง ๆ กัน ในช่วง 700 - 1200°C พบว่า ช่วง 700 - 1100°C มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 13.57 - 17.03 และความพรุนร้อยละ 24.55-29.58 ซึ่งค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่พบว่า ที่อุณหภูมิ 1200°C มีการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซึมน้ำและความพรุนสูง เมื่อเทียบกับอุณหภูมิก่อนหน้านี้ โดยมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำและความพรุน เท่ากับ 3.7 และ 8.4 ตามลำดับ เนื่องจากการสูกตัวของเนื้อดินเกิดเป็นเนื้อแก้ว

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะเฉพาะของเนื้อเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

ลักษณะเฉพาะ	เนื้อเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน (องศาเซลเซียส)					
	700	800	900	1000	1100	1200
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	17.03	16.84	15.71	14.60	13.57	3.7
ความพรุน (ร้อยละ)	29.58	28.62	28.59	25.47	24.55	8.4

2) พฤติกรรมการเปื่อยกผิวของยางรักบนผลิตภัณฑ์เซรามิก

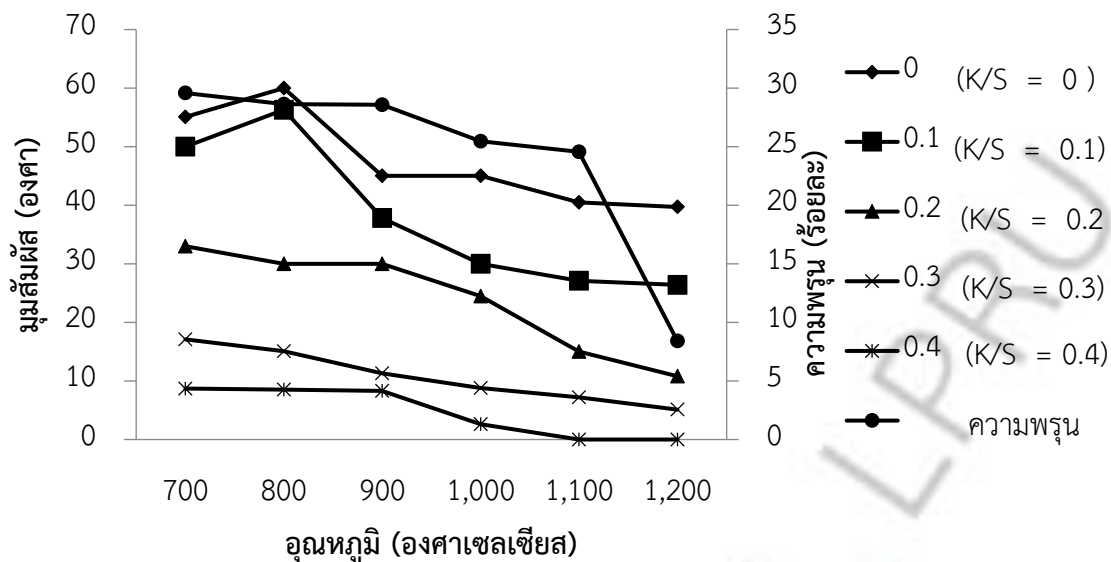
พฤติกรรมการเปื่อยกผิวของเนื้อเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างกัน ได้แก่ 700 - 1200 องศาเซลเซียส โดยการหยดยางรักที่มีการผสมน้ำมันก๊าดในอัตราส่วนต่าง ๆ ลงบนพื้นผิว แล้วทำการวัดมุมสัมผัส หากมุมสัมผัสต่ำแสดงว่ามีการเปื่อยกผิวดี และถ้ามุมสัมผัสสูงแสดงว่ามีการเปื่อยกผิวที่ไม่ดี ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 พบว่า เมื่อนำยางรัก และยางรักที่มีการผสมน้ำมันก๊าด ไปหยดลงบนผิวของเนื้อเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า เมื่ออุณหภูมิการเผาที่สูงขึ้นมุมสัมผัสจะลดลง แสดงว่ามีการเปื่อยกผิวที่เพิ่มขึ้น และเมื่อผสมน้ำก๊าดลงไปปริมาณที่มากขึ้น พบว่ามุมสัมผัสที่ลดลง แสดงว่ามีการเปื่อยกผิวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของพื้นผิวที่มีความพรุน ยิ่งความพรุนสูง มุมสัมผัสยิ่งสูง ส่งผลให้การเปื่อยกผิวต่ำหรือไม่ดี ซึ่งความสัมพันธ์สามารถแสดงให้เห็นดังภาพที่ 1

เมื่อมีการผสมกับน้ำมันก๊าดพบว่ามุมสัมผัสลดลงเมื่อมีน้ำมันก๊าดเพิ่มขึ้น กล่าวคือมีการเปื่อยกผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากยางรักบริสุทธิ์มีความหนืดค่อนข้างสูง มีการไหลตัวต่ำ จึงส่งผลต่อพฤติกรรมการเปื่อยกผิวที่มาก และเมื่อมีการปรับความหนืดลงไป ด้วยการผสมน้ำก๊าด ส่งผลให้มีมุมสัมผัสที่ลดลง

ตารางที่ 3 แสดงมุมสัมผัสของยางรักที่มีการผสมน้ำมันก๊าดบนเนื้อเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อัตราส่วนของน้ำมันก๊าดต่อยางรัก (โดยน้ำหนัก)	มุมสัมผัสของเนื้อเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน (องศาเซลเซียส)					
	700	800	900	1000	1100	1200
0	55.1	60	45	45	40.5	39.7
0.1	50	56.3	37.8	30	27.1	26.4
0.2	33	30	30	24.5	15	10.8
0.3	17.1	15.1	11.3	8.8	7.2	5.1
0.4	8.7	8.5	8.3	2.6	0	0



ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเป็ยผิวของยางรักที่มีการผสมด้วยน้ำมันก๊าดในปริมาณต่าง ๆ กัน (K/S โดย K = น้ำมันก๊าด, S = ยางรัก) และความพรุนของผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

3) การยึดติดของผิวเคลือบยางรักบนผิวผลิตภัณฑ์เซรามิก

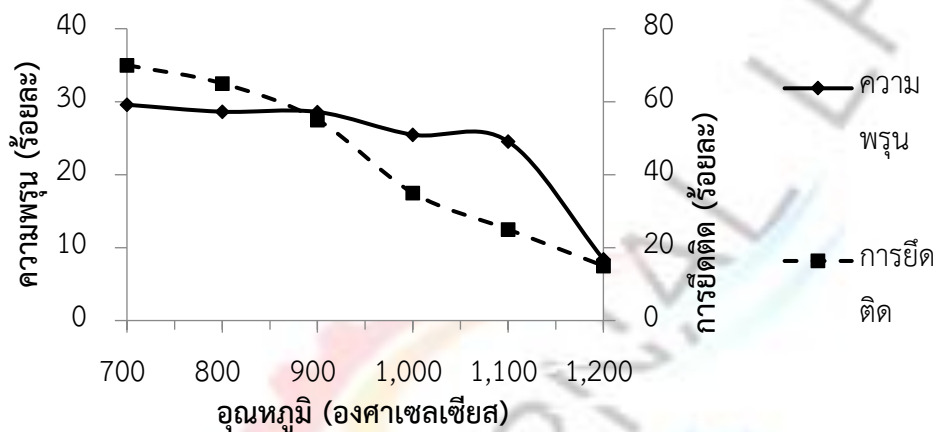
การทดสอบการยึดติด ถือเป็นการทดสอบที่สำคัญสำหรับผิวเคลือบโดยทั่วไป ซึ่งวิธีการที่นำมาใช้เพื่อทดสอบการยึดติดของยางรักในงานวิจัยนี้ เป็นการใช่วิธีการกรัดให้เป็นตารางในพื้นที่ที่กำหนด แล้วใช้เทปกาวปิดทับ หลังจากนั้นทำการดึงขึ้น แล้วสังเกตพฤติกรรมการหลุดออก เพื่อบ่งบอกถึงความสามารถในการยึดติดได้ โดยให้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4

จากผลการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิการเผา 700 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ของการยึดติดสูงที่สุด ร้อยละ 70 นั้นบ่งบอกว่ามีการยึดติดที่ดี โดยที่อุณหภูมิการเผา 1200 องศาเซลเซียส มีพื้นที่การยึดติดต่ำที่สุด ร้อยละ 15 เมื่อพิจารณาจากลักษณะเฉพาะ ได้แก่ การดูดซึมน้ำ ความพรุน โดยที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีการดูดซึมน้ำที่สูง และมีความพรุนตัวสูงที่สุด น่าจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการยึดติดที่ดี ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 2 ถึงแม้ว่าจะมีพฤติกรรมการเป็ยผิวที่ไม่ดี ซึ่งแก้โดยการผสมน้ำมันก๊าดลงไปเพื่อลดแรงตึงผิว

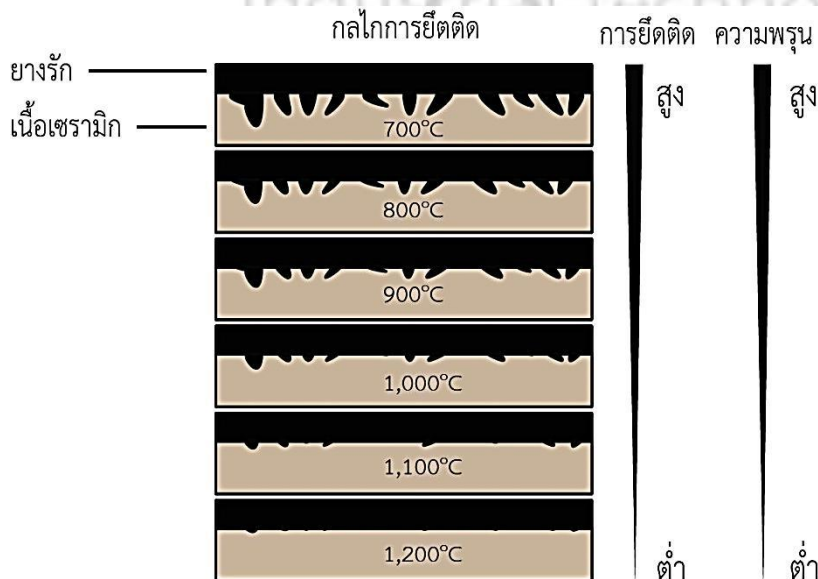
โดยที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ยางรักที่ใช้หาสามารถซึมเข้าไปในเนื้อเซรามิกได้มาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะมีสูง ในขณะที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ยางรักซึมเข้าไปในเนื้อเซรามิกได้น้อยเพราะรูพรุนที่ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับเนื้อเซรามิกที่เผาด้วยอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ส่งผลให้ประสิทธิภาพการยึดเกาะต่ำ และทำให้การยึดติดไม่ดีเท่าที่อุณหภูมิการเผาที่ต่ำกว่า โดยสามารถแสดงให้เห็นกลไกและปัจจัยที่ส่งผลต่อการยึดติดดังภาพที่ 3

ตารางที่ 4 แสดงความสามารถในการยึดติดของยางรับบนพื้นผิวเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

การยึดติด	เนื้อเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน (องศาเซลเซียส)					
	700	800	900	1000	1100	1200
พื้นที่การยึดติด (ร้อยละ)	70	65	55	35	25	15



ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการยึดติดของยางรักที่ผสมน้ำมันกาดร้อยละ 20 ($K/S=0.2$) และความพรุนของผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ และแก้ว



ภาพที่ 3 แสดงกลไกการยึดติดของยางรักบนพื้นผิวเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

5. สรุปผลการวิจัย

ยางรักใหญ่ที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ ยางรักในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ มีองค์ประกอบหลักเป็นโมเลกุลของเฮปตะเดซีนิลแคเทคอล (Heptadecenylcatechol) โดยหมู่อัลคินิลที่ปรากฏในโครงสร้างมีลักษณะเป็นโซ่ตรง ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ชนิดทิตซึออล คุณภาพของน้ำยางค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีความชื้นสูง เมื่อนำมาเคลือบผิวเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน และศึกษาการยึดติด พบว่า ลักษณะเฉพาะของพื้นผิวที่แตกต่างกันโดยเฉพาะความพรุนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิการเผาที่ต่างกัน กล่าวคือ ยิ่งใช้อุณหภูมิการเผาสูงเท่าไร ยิ่งส่งผลให้ความพรุนตัวของเซรามิกลดลง ซึ่งพื้นผิวที่มีรูพรุนสูงจะมีประสิทธิภาพในการยึดเกาะที่ดีกว่า อย่างไรก็ตาม หากเซรามิกมีรูพรุนสูงจะส่งผลให้มีการซึมของน้ำที่สูง ทำให้ความทนทานของผิวเคลือบลดลง ปัจจุบันนิยมนำเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงมาเคลือบผิวด้วยยางรักเพื่อการตกแต่ง โดยเฉพาะผิวด้านนอก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิที่สูงมีการดูดซึมน้ำต่ำ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือประสิทธิภาพในการยึดติดที่ต่ำเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งต้องหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดต่อไป

ยางรักบริสุทธิ์มีความหนืดค่อนข้างสูง ส่งผลต่อพฤติกรรมการเปียกผิว สามารถแก้ปัญหาได้โดยการลดความตึงผิว ด้วยการผสมน้ำมันก๊าดลงไปปริมาณที่เหมาะสม

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ปี 2559 และได้รับการสนับสนุนด้านระบบและกลไกในการบริหารงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Arif Butt, M., Chughtai, A., Ahmad, J., Ahmad, R., Majeed, U. and Khan, I. H. (2007-2008). Theory of Adhesion and its Practical Implications A Critical Review, Faculty of Engineering and Technology, 21-45.
- ASTM D1200. 1994. Standard Test Method for Viscosity by Ford Viscosity Cup.
- ASTM D3359. 2009. Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test.
- Frade, J. C., Ribeiro, M. I., Graça, J. and Rodrigues, J. (2009). Applying pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry to the identification of oriental lacquers: study of two lacquered shields, Analytical and Bioanalytical Chemistry, 39, 2167-2174.

- Frade, J. C., Ribeiro, I., Graca, J., Vasconcelos, T. and Rodrigues, J. (2010). Chemotaxonomic application of Py-GC/MS: Identification of lacquer trees. **Analytical and Applied Pyrolysis**, 89, 117–121.
- Honda, T., Lu, R., Sakai, R., Ishimura, T. and Miyakoshi, T. (2008). Characterization and comparison of Asian lacquer saps, **Progress in Organic Coatings**, 61, 68–75.
- Kiprop, A. K., Pourtier, E. and Kimutai, S. K. (2013) GC-MS and ESI-MS detection of catechol, **International Journal of Education and Research**, 1(12), 1-12.
- Lu, R., Harigaya, S., Ishimura, T., Nagase, K. and Miyakoshi, T. (2004). Development of a fast drying lacquer based on raw lacquer sap, **Progress in Organic Coatings**, 51, 238–243.
- Lu, R., Kamiya, Y., and Miyakoshi, T. (2007a). Preparation and characterization of Melanorrhoea usitata lacquer film based on pyrolysis–gas chromatography/mass spectrometry, **Analytical and Applied Pyrolysis**, 78, 172–179.
- Lu, R., Kamiya, Y. and Miyakoshi, T. (2007b) Characterization of lipid components of Melanorrhoea usitata lacquer sap, **Talanta**, 71, 1536–1540.
- Lu, R., Harigaya, S., Ishimura, T., Nagase, K. and Miyakoshi, T. (2004). Development of a fast drying lacquer based on raw lacquer sap, **Progress in Organic Coatings**, 51, 238–243.
- Lu, R., Miyakoshi, T., (2015). **Lacquer Chemistry and Applications: Modification of lacquer**, ISBN: 978-0-12-803589-4, Elsevier, 171-214.
- Wan, Y.-Y., Lu, R., Yu-Min Du, Y.-M., Honda, T. and Miyakoshi, T. (2007). Does Donglan lacquer tree belong to Rhus vernicifera species? **International Journal of Biological Macromolecules**, 41, 497–503.
- Wangchareontrakul, S. (2007). **Seminar on Study of Oriental Lacquer Initialed by H.R.H. Princess Maha Chakri Sirindhorn for the Revitalization of Thai Wisdom**, September 17-19, Bangkok : Amarin Printing and Publishing. (in Thai)
- Webb, M., (2000). **Lacquer: Technology and conservation**. ISBN: 978-075-06-4412-9, Oxford : Butterworth-Heinemann, 6.

The Role of Water in the Synthesis of Fly Ash-Based Geopolymer

Hongsheng Cheng^{1*}, Darunee Wattanasiriwech² and Suthee Wattanasiriwech³

^{1*,2,3}Center of Innovative Materials for Sustainability, School of Science, Mae Fah Luang University

333 T.Tasud A.Muang, Chiang Rai Thailand 57100 Tel : +66 5391 6263 Fax. +66 5391 6776

E-mail: suthee@mfu.ac.th

Abstract

Water has played an important role in controlling geopolymerization and thus mechanical properties of final geopolymer products. Effects of internal water and atmospheric water on formation of fly ash-based geopolymers and their properties were systematically studied in this research. The initial water amount was varied from 29 to 44 wt%. To investigate the effect of the atmospheric water, curing was designed into 3 successive steps. The samples were first activated at 60 °C in a water saturated-atmosphere for 24 h. Then they were cured at 40 °C for 3 days in two atmospheres; water saturated- or open, prior to curing at 40 °C in an open atmosphere for another 3 days. Microstructure was examined using a scanning electron microscope. Porosity and apparent density were measured following ASTM C 642-06. The results showed that porosity of the samples increased with increasing the initial water content. The initial water content, however, had only minor effect on the apparent density. Curing in the water saturated-atmosphere resulted in a significantly improved compressive strength possibly due to the milder water evaporation. Compressive strength increased with decreasing the initial water contents according to lowered porosity contents. In conclusion, the samples with 29 wt% water content cured in the water saturated - atmosphere showed the highest compressive strength of 34 MPa. This geopolymer paste showed promising potential in construction industry as a cement paste replacement.

Keywords : Fly Ash Based Geopolymer, Compressive Strength, Apparent Density

1. Introduction

Geopolymer is a kind of inorganic polymer made from silica and alumina sources activated by alkaline liquid medium. Geopolymer is considered as a potential alternative construction material to Ordinary Portland Cement (OPC), according to its excellence mechanical properties as well as heat and corrosion resistance. Fly ash has been a major source for geopolymer synthesis due to its high amount of active silica and alumina. Furthermore, fly ash is a by-product from coal combustion so it is abundant and inexpensive. Activation agents mostly used in the geopolymer synthesis were sodium hydroxide and sodium silicate solutions.

In the past decades, attempts to improve mechanical properties, especially compressive strength, of fly ash-based geopolymers have been performed extensively. There are many factors that could affect the compressive strength of fly ash-based geopolymers. The finer fly ash particles giving rise to higher compressive strength was reported (Bohlooli, 2012). The optimum concentration of sodium hydroxide solution was mostly ranged between 10 and 15 M (Chindapasirt, 2007; Panias, 2007; Ayuso, 2008; Chindapasirt, 2009; Rattanasak, 2009; Somaratna, 2010; Nazari, 2011; Ario, 2012; Bohlooli, 2012; Joseph, 2012; Rajamma, 2012; Tho-in, 2012; Ryu, 2013; Vora, 2013 & Görhan, 2014). The best weight ratio of sodium hydroxide to sodium silicate was 1:1 (Chindapasirt, 2007; Rattanasak, 2009; Rajamma, 2012 & Ryu, 2013). Some works showed the relationship between the compressive strength and the curing temperature. The most appropriate curing temperature reported was in the range of 20 - 90 °C (Jaarsveld, 2002; Ayuso, 2008; Temuujin, 2009b; Sukmak, 2013; Vora, 2013 & Xie, 2014).

Initial water content was another factor that could significantly affect the mechanical properties of geopolymers. Water is a reaction medium for ions transportation during geopolymerization. After geopolymerization, some water forms hydroxyl, while the excess water is expelled from the three-dimensional network. Increasing initial water content to beyond the needed amount could thus cause a reduction of compressive strength (Temuujin, 2009a; Ferone, 2011 & Vora, 2013). Curing condition was also found to play an important role in controlling the mechanical properties. Aggressive water evaporation could result in cracking and thus a diminish of significant properties of

material. The work by Jaarsveld showed that a higher compressive strength was obtained from the samples cured in open air (Jaarsveld, 2002). It was, however, later reported that the higher compressive strength was achieved with a closed curing setup (Izquierdo, 2010). The best curing regime is thus still controversial.

This work was thus aimed to systematically study effects of the internal water content and curing atmospheric water on formation of fly ash-based geopolymer and their respective properties. To improve the mechanical properties, curing condition was re-designed and addressed in this report.

2. Materials and Methods

2.1 Materials High calcium fly ash (FA: Mae Moh, Lampang, Thailand) was used as silica and alumina sources in this study. Sodium hydroxide (NaOH) solution with a concentration of 10 M and sodium silicate solution was used as the activating agents. The chemical composition of FA, determined using an X-ray fluorescence spectrometer (HORIBA, MESA-500W), is shown in Table 1. The particle size distribution, determined using a Laser diffraction particle distribution analyzer (Malvern, Mastersizer 2000, Hydro 2000MU), is shown in Table 2. The chemical composition of Na_2SiO_3 , provided by the supplier (C. THAI CHEMICALS CO., LTD), is shown in Table 3.

Table 1. Chemical composition of fly ash determined using an X-ray fluorescence spectrometer

FA	SiO_2	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SO_3	K_2O	TiO_2	Mn_2O_3	BaO
Composition (wt%)	29.765	24.545	19.074	14.248	9.226	2.309	0.526	0.183	0.124

Table 2. Particle size distribution of fly ash determined using a Laser diffraction particle distribution analyzer

Distribution	D10	D50	D90	Average
Size (μm)	2.23	26.56	134.93	54.67

Table 3. Chemical composition of sodium silicate as supplied by the manufacturer

Na_2SiO_3	Na_2O	SiO_2	H_2O
Composition (wt%)	15.50-17.50	34.25-36.25	46.25-50.25

2.2 Samples preparation Sodium silicate and 10 M NaOH solutions were mixed together at a weight ratio of 1:1 for 3 min to form an activating solution. Fly ash, at a fly ash to solution weight ratio of 1:0.6, was added into the activating solution under stirring for 30 min. The water content selected was 29, 34 and 44 wt%, with 29% as the lowest water content possible for paste fabrication. To obtain the greater initial water contents, extra water was added during solid/liquid mixing. The mixture was poured into a cylindrical shaped-plastic mold of 11.6 mm-diameter and 29 mm-height. Curing was performed in three successive steps. The samples were first kept in a sealed container together with 180 mL-water in a separated cup to generate the water saturated-atmosphere. The sample sets were kept in an oven at 60 °C for 24 h. In the second step, one set of the samples was further cured in the same container while the other was cured in an open atmosphere, both at 40 °C for 3 days. Finally both sets were cured at 40 °C in an open atmosphere for another 3 days. The notation of samples i.e. water saturated or open was according to the second step curing.

2.3 Compressive strength test Compressive strength was determined using a universal testing machine (INSTRON 5566) after 7 days. The loading speed was set at 1.0 mm/min and the maximum load of 10.0 kN was used. Average value was obtained from five samples.

2.4 Microstructure, porosity and apparent density Scanning electron microscope, SEM, (LEO 1450 VP) was used for microstructural examination. For porosity and apparent density determination, the samples were dried in an oven at 105 °C for 24 h, and then immersed in water at an ambient temperature for 24 h. Vol. of voids and apparent density were measured following ASTM C 642-06. The average value was obtained from five samples.

3. Results and Discussion

3.1 Effect of curing condition on the compressive strength Fig.1 showed that at the same initial water content, the samples cured in water saturated-atmosphere in the second step gave a significantly higher compressive strength than those cured in the open atmosphere. The samples with an initial water content of 29 wt% had the compressive strength of 34 MPa which was around 3 times greater than that obtained from the samples cured in open air. The value increased from 7 to 30 MPa which was about 4 times in the sample sets with an initial water content of 34 wt%. However, the difference was not remarkable for the samples with an initial water content of 44 wt%.

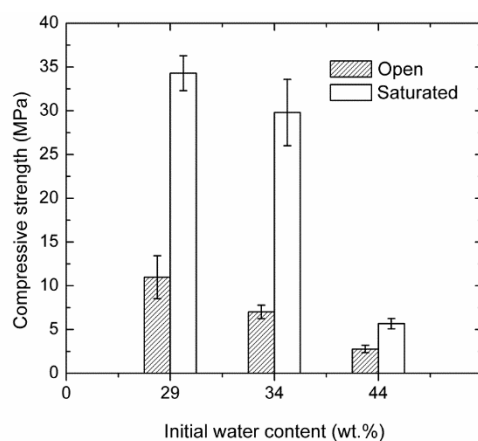


Figure 1. Effects of curing conditions in the second step on compressive strength of geopolymer samples

3.2 Effect of initial water content on compressive strength, apparent density and porosity The relationship among compressive strength, apparent density, porosity and initial water content of fly ash-based geopolymer was clear under open curing condition. The compressive strength decreased significantly, from 11 to 3 MPa, while the porosity was increased from 24.7 to 32.2 vol%, with increasing initial water contents from 29 to 44 wt% (Fig. 2). Therefore, it was clear that under open curing condition, the compressive strength decreased with increasing initial water contents as a result of increasing porosity. It was also shown that the apparent density remained almost constant, regardless of different initial water contents.

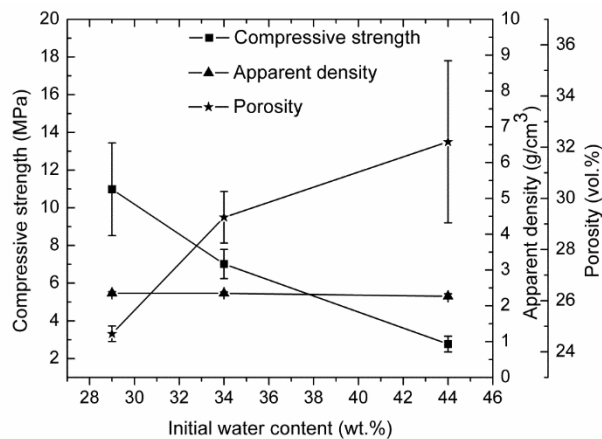


Figure 2. Effects of initial water contents on compressive strength, apparent density and porosity of geopolymer samples cured in open atmosphere in the second step

In an open atmosphere, a similar trend was also obtained, as shown in Fig. 3. The compressive strength dropped sharply from 34 to 6 MPa while the porosity increased from 25.7 to 37.2 vol% with increasing initial water contents from 29 to 44 wt%, while the apparent density was almost unchanged.

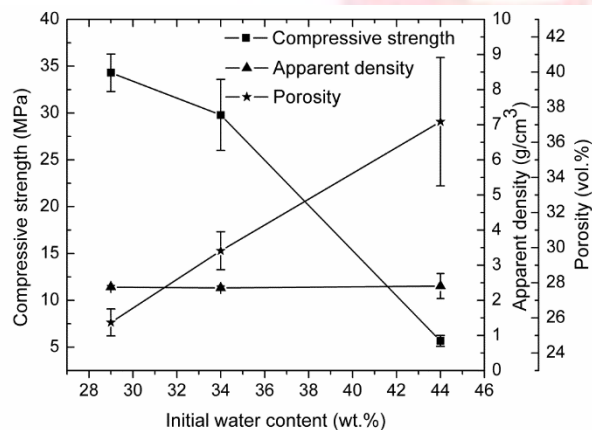


Figure 3. Effects of initial water contents on compressive strength, apparent density and porosity of geopolymer samples cured in water saturated-atmosphere in the second step

3.3 Scanning electron microscope analysis SEM micrographs for the samples with two initial water contents of 29 wt% and 44 wt% were comparatively shown in

Fig. 4 and Fig. 5 respectively. Surface cracks were observed in both geopolymer samples suggesting the great amount of water evaporation during curing. According to Fig. 4(a) and Fig. 5(a), the samples with an initial water content of 29 wt% showed a much smoother surface than the samples with 44 wt% water content suggesting a possible higher degree of reaction progress. Porosity of the samples with 29 wt% water content was obviously less (Fig. 4(b) and Fig. 5(b)) than the ones with 44 wt% water content.

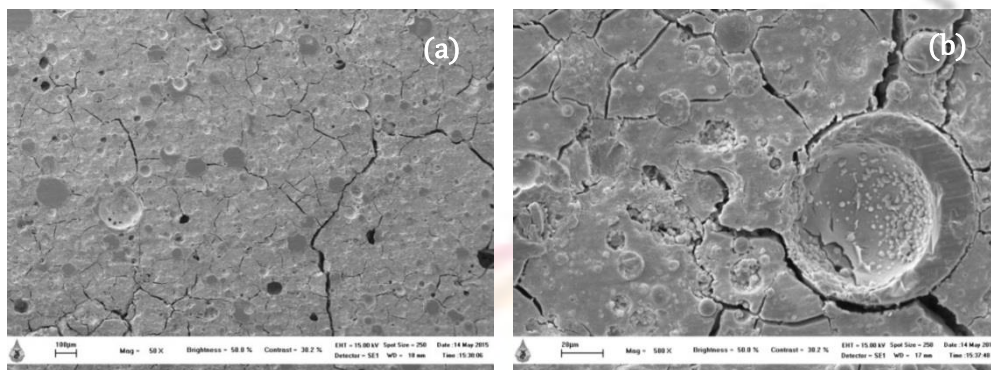


Figure 4. SEM images on polished surface of the geopolymer sample prepared with an initial water content of 29 wt% in water saturated-atmosphere

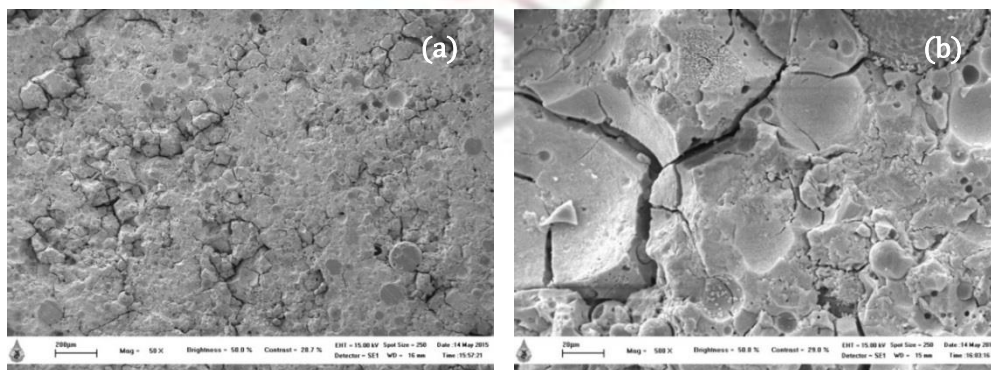


Figure 5. SEM images on polished surface of the geopolymer sample prepared with an initial water content of 44 wt% in water saturated-atmosphere

4. Discussions

Significantly higher compressive strength could be obtained from the geopolymer samples produced in the water saturated atmosphere in the second step. However, at the same water content, the geopolymer samples cured differently showed almost the same

apparent density but slightly different porosity. The samples cured in an open atmosphere showed a slightly greater porosity level. It was likely that porosity played some role, but not dominant, in controlling of the compressive strength. The role of water at the early stage of polymerization could be so significant that improvement of the compressive strength was clearly observed in the samples cured in the water saturated atmosphere. Water played a role as the medium for transportation of the reacting ions so the greater degree of polymerization could be obtained in the samples with sufficient amount of water during that stage. Further examination is required to clarify this statement.

Compressive strength of the geopolymer samples increased significantly, while the porosity decreased remarkably with decreasing initial water content. Evaporation of excess water could possibly occur more mildly, and the reaction progressed more completely in the samples with lower water contents.

5. Conclusion

Our present research found that water has played highly important role to the properties of fly ash based-geopolymer. Curing in the water saturated-atmosphere could greatly improve the compressive strength of geopolymer samples, indicating effectiveness of the proposed curing setup. Compressive strength was increased with decreasing initial water content in the experimental range. This trend was observed in both curing conditions.

6. Acknowledgements

The authors are grateful acknowledge to Mae Fah Luang University and Higher Education Research Promotion, Office of the Higher Education Commission for financial support.

7. References

- Arioz, E., Arioz, O., & Kockar, O. M. (2012). An experimental study on the mechanical and microstructural properties of geopolymers, *Procedia Engineering*, vol. 42, pp 100-105.

- Ayuso, E. A., Querol, X., Plana, F., Alastuey, A., Moreno, N., Izquierdo, M., Bzrra, M. (2008). Environmental, physical and structural characterization of geopolymer matrixes synthesized from coal (co-) combustion fly ashes, **Journal of Hazardous Materials**, vol. 154, pp 175-183.
- Bohlooli, H., Nazari, A., Khalaj, G., Kaykha, M. M., & Riahi, S. I. (2012). Experimental investigations and fuzzy logic modeling of compressive strength of geopolymers with seeded fly ash and rice husk bark ash, **Composites: Part B**, vol. 43, pp 1293-1301.
- Chindaprasirt, P., Chareerat, T., & Sirivivatnanon, V. (2007). Workability and strength of coarse high calcium fly ash geopolymer, **Cement & Concrete Composites**, vol. 29, 224-229.
- Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., Challe, W., & Rattanasak, U. (2009). Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers, **Waste Management**, vol. 29, pp 539-543.
- Ferone, C., Colangelo, F., Cioffi, F., Montagnaro, F., & Santoro, L. (2011). Mechanical performances of weathered coal fly ash based geopolymer bricks, **Procedia Engineering**, vol. 21, pp 745-752.
- Görhan, G., and Kürklü, G. (2014). The influence of the NaOH solution on the properties of the fly ash-based geopolymer mortar cured at different temperatures, **Composites:Part B**, vol. 58, pp 371-377.
- Guo, X., Shi, H., & Dick, W. A. (2010). Compressive strength and microstructural characteristics of class C fly ash geopolymer, **Cement & Concrete Composites**, vol. 32, pp 142-147.
- Izquierdo, M., Querol, X., Phillipart, C., Antenucci, D., & Towler, M. (2010). The role of open and closed curing conditions on the leaching properties of fly ash-slag-based geopolymers, **Journal of Hazardous Materials**, vol 176, pp 623-628.
- Jaarsveld, J. G. S., Deventer, J. S. J., & Lukey, G. C. (2002). The effect of composition and temperature on the properties of fly ash- and kaolinite-based geopolymers, **Chemical Engineering Journal**, vol 89, pp 63-73.
- Joseph, B., & Mathew, G. (2012). Influence of aggregate content on the behavior of fly ash based geopolymer concrete, **Scientia Iranica A**, vol 19(5), pp 1188-1194.

- Kumar, S., & Kumar, R. (2011). Mechanical activation of fly ash: Effect on reaction, structure and properties of resulting geopolymer, **Ceramics International**, vol. 37, pp 533-541.
- Mustafa, A. M., Bakri, A., Kamarudin, H., Hussain, M. B., Nizar, I. K., Zarina, Y., & Rafiza, A. R. (2011). The Effect of Curing Temperature on Physical and Chemical Properties of Geopolymers, **Physics Procedia**, vol. 22, pp 286-291.
- Nazari, A., Bagheri, A., & Riahi, S. (2011). Properties of geopolymer with seeded fly ash and rice husk bark ash, **Materials Science and Engineering A**, vol. 528, pp 7395-7401.
- Panias, D., Giannopoulou, I. P., & Perraki, T. (2007). Effect of synthesis parameters on the mechanical properties of fly ash-based geopolymers, **Colloids and Surfaces A:Physicochem. Eng. Aspects**, vol. 301, pp 246-254.
- Rajamma, R., Labrincha, J. A., & Ferreira, V. M. (2012). Alkali activation of biomass fly ash-metakaolin blends, **Fuel**, vol. 98, pp 265-271.
- Rattanasak, U., & Chindaprasirt, P. (2009). Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer, **Minerals Engineering**, vol. 22, pp 1073-1078.
- Ryu, G. S., Lee, Y. B., Koh, K. T., & Chung, Y. S. (2013). The mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with alkaline activators, **Construction and Building Materials**, vol. 47, pp 409-418.
- Somarathna, J., Ravikumar, D., & Neithalath, N. (2010). Response of alkali activated fly ash mortars to microwave curing, **Cement and Concrete Research**, vol. 40, pp 1688-1696.
- Sukmak, P., Horpibulsuk, S., & Shen, S. L. (2013). Strength development in clay-fly ash geopolymer, **Construction and Building Materials**, vol. 40, pp 566-574.
- Temuujin, J., Riessen, A., & Williams, R. (2009b). Influence of calcium compounds on the mechanical properties of fly ash geopolymer pastes, **Journal of Hazardous Materials**, vol. 167, pp 82-88.
- Temuujin, J., Williams, R. P., & Riessen, A. (2009a). Effect of mechanical activation of fly ash on the properties of geopolymer cured at ambient temperature. **Journal of Materials Processing Technology**, vol. 209, pp 5276-5280.

- Tho-in, T. I., Sata, V., Chindaprasirt, P., & Jaturapitakkul, C. (2012). Pervious high-calcium fly ash geopolymer concrete, **Construction and Building Materials**, vol. 30, pp 366-371.
- Vora, P. R., & Dave, U. V. (2013). Parametric studies on compressive strength of geopolymer concrete, **Procedia Engineering**, vol. 51, pp 210-219.
- Xie, J., & Kayali, O. (2014). Effect of initial water content and curing moisture conditions on the development of fly ash-based geopolymers in heat and ambient temperature, **Construction and Building Materials**, vol. 67(A), pp 20-28.

Influences of Welding Speed and Speed of Pin Tool Rotation from Semi-Solid State Joining of Aluminum Alloy SSM 5083 Covered by CO₂ Gas

Thongchai Khrueaphue^{1*}, Parinyawatr Dhinnabutra², Sumpao Yotee³ and Prapas Muangjunburee⁴

^{1*,2,3}Program of Welding Engineering, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen. 150 Moo 6, Srichan Road, Tambon Nai Muang, Mueang District, Khon Kaen Province, Thailand 40000, Tal. +66 4333 6370 ext. 2511, Fax. +66 4324 5255 E-mail : Thongchaimim@Hotmail.com, tinnabutra@Hotmail.com, sumpao.yotee@Gmail.com

⁴Department of Mining and Materials Engineering, Prince of Songkla University, PO Box 2, Hat Yai District, Songkhla Province, Thailand 90112, Tal. +66 7428 7065 ext. 66 E-mail : mprapas@eng.psu.ac.th

Abstract

The purpose of this research was to examine the butt joint welding of aluminum alloy SSM 5083 with semi-solid metal processing. The variables in welding were the rotation speed of tool pin at 1,200 and 1,500 rpm. The welding speed was at 120 and 160 mm/min. The welding temperature of carburizing flame was at 590 to 610 °C and CO₂ was applied to cover the welding line.

After the welding experiment, there was no crack which occurred from not joining condition on both top and down welding area. The porosity was occurred less in macro structure the rotation speed of tool pin at 1,200 rpm with welding speed at 160 mm/min. The micro structure, in the rotation speed of tool pin at 1,200 rpm with welding speed at 160 mm/min, there was spheroidal structure and grain dispersed regularly. On the rotation speed of tool pin at 1,500 rpm of both welding speed, the dendrite structure was occurred. It can be concluded that the rotation speed of tool pin at 1,200 rpm is most suitable for semi-solid state joining.

Keywords : Semi-Solid State Joining, Microstructure of Aluminum Alloy SSM 5083, Welding Parameters

1. Introduction

Metal welding processing is to join and assemble the components and it takes a major role in various industries such as automobile industry which its welding processes progressing develop. It starts from arc welding with bare wire, gas welding up to shielding

gas welding which is fusion welding. Afterward, the process has been developed to friction stir welding (FSW). (Muangjunburee, P., 2551) FSW is non-fusion welding or solid state welding which welding temperature used was under the melting point of metal. The heat was occurred from friction force between tool pin and the surface of work pieces. For welding process of some metal such as aluminum, fusion welding would cause some error in joint like pneumatic space or crack in welding joint. Consequently, to solve this error in welding joint, frictions stir welding has been applied for aluminum welding and when compared with fusion welding it caused good metallurgical properties and the mechanical properties of welding joint which was higher than fusion welding.

Currently, there are the competitions in semi-solid metal (SSM) casting technology in both Thailand and oversea. In Thailand, the research and technology on semi-solid metal has been started and applied to inside-country industry for 1 to 2 years ago such as in airline industry, machinery builder and electronics in order to decrease weightiness. Furthermore, the latest and effective energy technology in casting is semi-solid metal welding in Rheo-casting with Gas Induced Semi Solid (GISS) technique (Chucheeep, T., 2007) which its casting method was releasing inert gas through graphite anode for metal flowing to be spheroidal grain structure (Wannasin, J., and Thanaburungkul, S., 2008). Then, it was formed by casting while some parts of them are semi-solid metal condition.

Nevertheless, in order to bring aluminum alloy piece that casts through semi-solid method to work effectively, it would relate to forming and repairing. Later, semi-solid aluminum would be worked unavoidably with similar joint or dissimilar joint welding. Semi-solid welding would be applied because the structure of this aluminum was spheroidal and to keep it as the former structure, the welding process would take an important role in joint welding. Semi-solid welding is non-fusion in welding line which it categorizes as new technology for applying with aluminum alloy SSM 5083 which is also the developing material because when it is welding, its structure is in semi-solid condition. At that point, its welding line would not change phrase into dendrite. Consequently, the whole information and reasons as mentioned above is the basis of this research project.

2. Objective

2.1 The study of welding parameters from semi-solid state joining of aluminum alloy SSM 5083 covered by CO₂ gas.

2.2 The effects compare on microstructure properties from semi-solid state joining.

3. Methods

3.1 Materials

The material in this experimental research was SSM 5083 aluminum alloy which was casted by semi-solid technology with GISS process and its chemical composition was shown in table 1. The prepared work pieces for welding was length 120 mm, width 60 mm and thick 5 mm. There were 24 work pieces and they were repeated experiment for 3 times.

Table 1. Chemical composition (wt. %).

Material	Mg	Mn	Fe	Si	Cr	Cu	Zn	Ti	Al
SSM 5083	4-4.9	0.4-1	0.4	0.4	0.25	0.1	0.25	0.15	Bal.

3.2 Tool pin preparing

1) Tool pin in welding process was made from SKH 57 metal as in JIS standard with cylindrical shape (Elangovan, K. et al., 2007). The diameter of pin shoulder was 8 mm and its radius between shoulder and head was 1.8 mm. The diameter of tool pin was 3.6 mm and the length of tool pin was 3.4 mm.

2) The flame of welding was carburizing (Oxygen – Acetylene gas).

3) Data Logger Thermocouple was used to take the temperature of work pieces and gather data while welding.

3.3 Welding parameter

1) The speed of pin tool rotation was at 1,200 and 1,500 rpm with the welding speed was at 120 mm/min and 160 mm/min.

2) The CO₂ gas was applied to cover the flow rate was 0.6 Nm³/h

3) The welding temperature was around 590 to 610 °C

4) The welding tilt angle of pin tool was at 2 degree.

- 5) The direction of pin tool rotation was followed the clockwise.
- 6) The working pieces were specified moving to the pin tool in this experimental research.

3.4 Semi-solid welding process

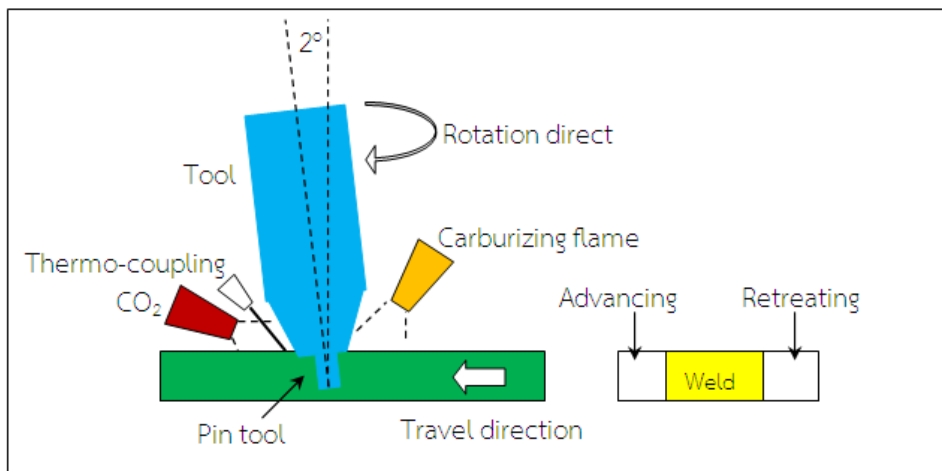


Figure 1. The welding continued according to specified variables until finished.

This research was experiment under various variables from fundamental welding of welding speed, the speed of pin tool rotation and the adjustment of welding flame. The semi-solid welding was occurred when some part of the metal was fusion. This process was butt weld which would not erode the working pieces and attached them with bracket of vertical milling machine. Before welding, the working pieces were warmed by carburizing flame around 2 minute then blow the flame on the surface of working pieces that connected with tool pin around 12 minute. The temperature occurred on the welding line was 590 to 610°C. The temperature at welding surface was taken and controlled by thermocouple. CO₂ gas was applied to cover the welding line with flow rate at 0.6 Nm³/h. After that, putting the pin tool with rotation speed and clockwise to working piece until the shoulder of pin was touched the surface of the working piece for around 12 seconds. Then, welding as variable set until all the process was finished (Figure 1) and after welding, the welding line was set as advancing side, which the rotation of pin tool and the direction of welding were in the same direction, and retreating side, which the rotation of pin tool and the direction of welding were in the opposite direction.

4. Results

4.1 The welding surface appearance was convex wave and rough from pin tool stirring. There was no crack which occurred from not joining condition on both top and down welding area. It can be concluded that the rotation speed of tool pin at 1,200 rpm is most suitable for semi-solid state joining.

4.2 The porosity was occurred mostly in macro structure of the top area of welding lines in every variable especially in the rotation speed of tool pin at 1,500 rpm with welding speed at 120 mm/min. The porosity was occurred less in the rotation speed of tool pin at 1,200 rpm with welding speed at 160 mm/min.

4.3 On micro structure, in the rotation speed of tool pin at 1,200 rpm with welding speed at 160 mm/min, there was spheroidal structure and grain dispersed regularly. On the rotation speed of tool pin at 1,500 rpm of both welding speed, the dendrite structure was occurred.

5. Conclusion and Discussion

5.1 Examination on the welding surface

The examination on the welding surface in semi-solid state joining (Figure 2) with digital camera, it was found that the welding surface was convex and rough from the stirring of pin tool. The crack from unjoining weld of the top and down area was not found (Yao Liu., et al. 2012). From observation, the black trail occurred at the edge of the welding area which this area was influenced from the flame. Moreover, the rotation speed of pin tool at 1,200 rpm of both welding speed, the welding surface were more complete and fine than the rotation speed of pin tool at 1,500 rpm. It can be concluded that the rotation speed of tool pin at 1,200 rpm is most suitable for semi-solid state joining.

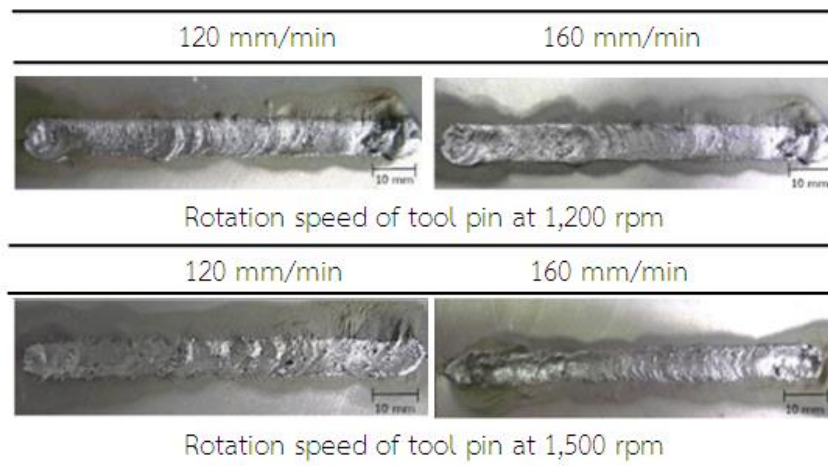


Figure 2. The welding surface in semi-solid state joining.

5.2 Macro structure examine

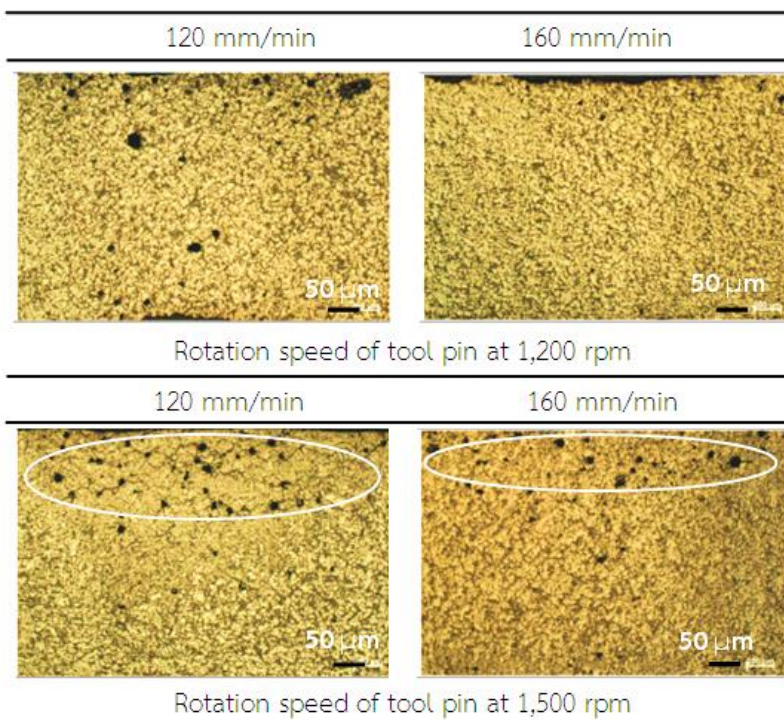


Figure 3. Macro structure examine from semi-solid state joining.

The test of macro structure of semi-solid welding (Figure 3) with digital camera in macro level, spongy trail was found that the top area of welding in every variables because the air was combined in welding and CO₂ covering gas cannot protect the air at the carburizing flame side. The spongy trails were occurred mostly at the rotation speed of

pin tool at 1,500 rpm and the welding speed at 120 mm/min (Alvani SMJ., et al. 2010). This is because the accumulated heat in welding line made metal into plastic condition and in this circumstance, CO₂ gas are not much got accessed into the welding line as well as the speed of pin tool stirring was circumfluence and firmly joint (Maamar HAKEM., et al. 2012). However, at the rotation speed of tool pin at 1,200 rpm, the welding speed was 160 mm / min. There was no porosity in the weld. This is the best variant in this connection.

5.3 Micro structure examine

Micro structure SSM 5083 in the base metal (Figure 4) which scale from 50 micron picture, it was the structure from semi-solid casting with GISS technique. It consisted of spheroidal grain (white round) as aluminum phase (α) and eutectic phase consisted of aluminum phase combined with aluminum phase and magnesium phase (black and white).

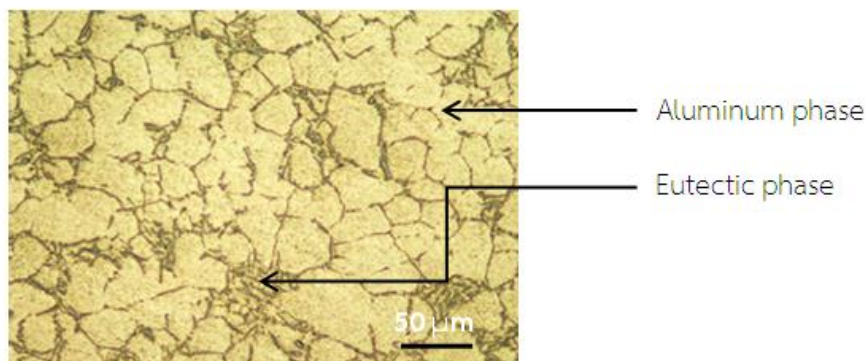


Figure 4. Micro structure SSM 5083 in the base metal.

The micro structure was examined with light microscope (Figure 5). From the examine, it was found that in the rotation speed of tool pin at 1,200 rpm of both welding speed had the spheroidal structure that similar to its former metal. Moreover, at the welding speed of 160 mm/min, spheroidal structure and the dispersing of grain was steadier that at the welding speed at 120 mm/min, as it got the appropriated flame with the welding line in the semi-solid condition and this made the plastic structure was definitely dispersion (Huibin, Xu. et al., 2012). Nonetheless, in the rotation speed of tool pin at 1,500 rpm, it was found that in both welding speed have got the dendrite structure

which occurred from the changing of spheroidal structure from heat in welding line of high rotation speed (Alvani SMJ., et al. 2010).

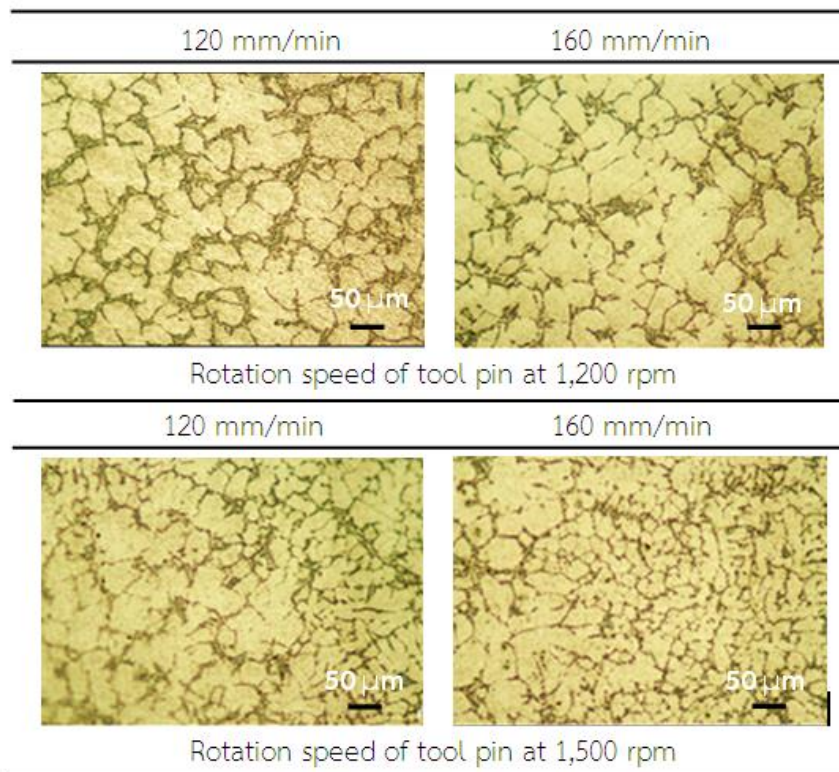


Figure 5. Micro structure from semi-solid state joining.

6. Acknowledgements

Thank you Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology of Technology Khon Kaen Campus for supporting the scholarship, tools and instrument in this research project including researcher group of Department of Mining and Material Engineering, Prince of Songkhla University for giving related knowledge to researcher.

7. References

- Alvani SMJ., et al. (2010). Semisolid Joining of Aluminum A356 Alloy. **Partial Remelting and Mechanical Stirring**, pp. 1792-1798. (In Iran)
- Chuchee, T. (2007). Semi-solid gravity sand casting using gas induced semi-solid process. **Department of Mining and Materials Engineering, Prince of Songkla University**, (In Thai)

- Elangovan, K. et al., (2007). Influences of Tool Pin Profile and Welding Speed on the Formation of Friction Stir Processing Zone in 2219 Aluminium Alloy. **J Mater Process Tech** :163-175. (In India)
- Huibin, Xu. et al., (2012). The Effect of Stirring Rate on Semi-solid Stirring Brazing of SiCp/A356. **Composites in Air**, 452 - 458. (In China)
- Maamar HAKEM., et al. (2012). **Welding and characterization of 5083 aluminum alloy**. Centre National Recherche Scientifique et Technique en Soudage et Contrôle CSC. BP 64, Route de Delly-Ibrahim, Cheraga Alger. (In Algerie)
- Muangjunburee, P. (2008). Welding and Joining Metallurgical for Aluminum. **Department of Mining and Materials Engineering, Prince of Songkla University**, 599-602. (In Thai)
- Narimannezhad, et al., (2008). Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Semi-solid Stir Welded Zinc AG40A **Die Cast Alloy**, 4112 - 4121. (In Iran)
- Wannasin J, and Thanaburungkul S. (2008). Development of a semi-solid metal processing technique for aluminium casting applications. Songklanakarin, **Journal Science Technology**. 30(2): 215-220. (In Thai)
- Yao Liu., et al. (2012). Microstructure and mechanical properties of aluminum 5083 weldments by gas tungsten arc and gas metal arc welding. **Materials Science and Engineering**, 7-13.

ภาคผนวก

Industrial Technology
รายงานผลการดำเนินงาน ประจำปี 2564

TECH JOURNAL LPRL



Industrial Technology

www.industrialtechnologyjournal.com

ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

เพื่อให้วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน ทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

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

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 และ ฉบับที่ 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 (ยกเว้นคำนำหน้านาม: 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 เฉพาะบรรทัดสุดท้ายของรายละเอียดผู้ติดต่อให้ระบุ 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) กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์และการทดลองที่กระชับและชัดเจน ผลการทดลอง (Results) บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน สรุปและอภิปรายผล (Discussion and Conclusion) อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง 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 หากรูปภาพใหญ่เกินไปออกเป็น 2 ส่วนให้มีการระบุคำอธิบายของแต่ละส่วนโดยอาศัยตัวอักษรภาษาไทยในวงเล็บเรียงตามลำดับเช่น (ก) และ (ข) ส่วนคำอธิบายตารางให้พิมพ์ไว้เหนือตารางและชิดริมซ้ายของกระดาษ โดยการเรียงลำดับรูปภาพและตารางให้แยกการเรียงลำดับออกจากกัน

ตารางข้อมูลที่นำลงตีพิมพ์ ต้องพิมพ์ด้วย word เพื่อความคมชัดของตาราง เช่น

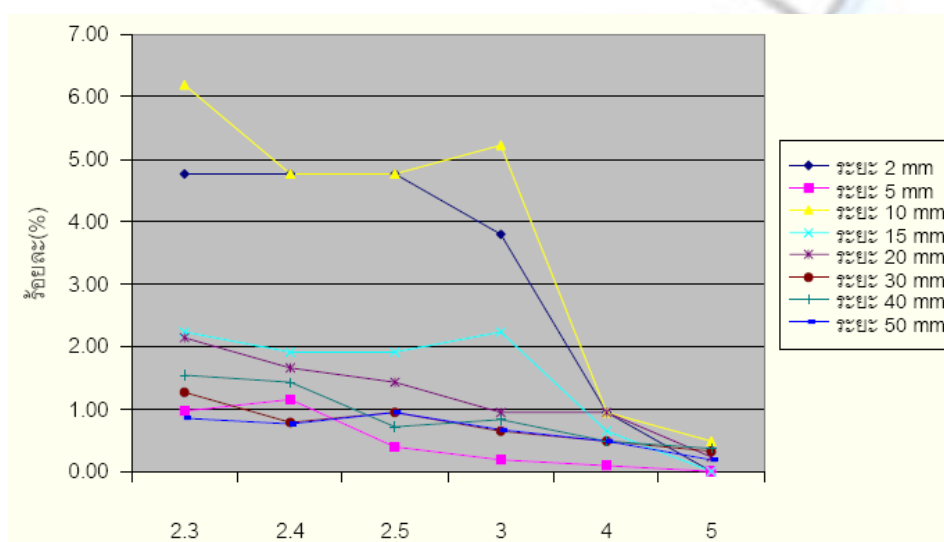
ตารางที่ 1 ตารางที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้ใช้อาคาร
1)กระเบื้องดินเผาผิวสัมผัสมัน ในการใช้งานที่เหมาะสม สวยงาม	1)กระเบื้องดินเผาผิวสัมผัสมันที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้ใช้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว
2)ข้อดีของกระเบื้องดินเผา คือ คิดตั้งยากเนื่องจากความไม่ สม่ำเสมอของขนาดและความ หนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	2)กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและซานพัก มีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้ใช้อาคารอาจสะดุดเมื่อใช้งาน
	3)เนื่องจากความไม่แข็งแรงของกระเบื้องดินเผา เมื่อผ่านการใช้งาน หรือมีวัตถุตกกระทบ ทำให้กระเบื้องดินเผาแตก กะเทาะ หรือบิ่น ซึ่ง แสดงถึงความไม่คงทนแข็งแรง

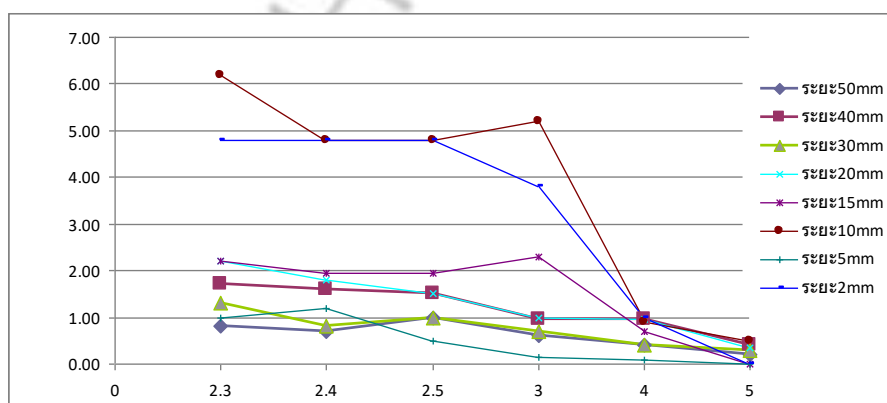
ตารางที่ 2 ตารางที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้ใช้อาคาร
1) กระเบื้องดินเผามีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม 2) ข้อด้อยของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตัวยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	1) กระเบื้องดินเผาที่มีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้ใช้อาคารรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อย ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว 2) กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพักมีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้ใช้อาคารอาจสะดุด เมื่อใช้งาน

รูปภาพที่นำลงตีพิมพ์ ควรเลือกภาพที่เหมาะสมและคมชัดที่สุด

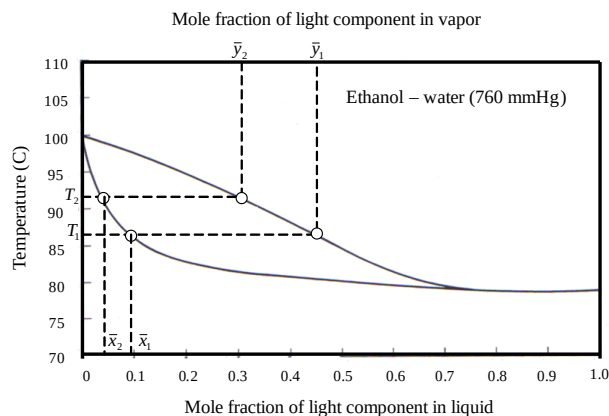


ภาพที่ 1 ภาพที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์



ภาพที่ 2 ภาพที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

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



ภาพที่ 1 แผนภาพสมดุลของของผสมไอ – ของเหลวที่มี 2 องค์ประกอบภายใต้สภาวะความดันคงที่

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

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 สอนมาลี. (2519). ความสามารถในการเงินของเทศบาลกรณีของเทศบาลนครกรุงเทพ 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, ณัฐนี วรรณยศ และทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2551). โมเดลอย่างง่ายของการทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพเสริม, **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย**, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

(3) รายงานทางวิชาการ / รายงานวิจัย

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

จุฬาร โชคิช่วงนิรันดร์, นลินี ต้นธวัชนิยต์ และปัทมา เพ็ชรสิงห์. (2529). **รายงานการวิจัยเรื่องประวัติศาสตร์หมู่บ้านคำม่วง, โครงการวิจัยระบบการทำฟาร์ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.**
ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 54 – 57.

พรพิมล เฉลิมพลาณภาพ. (3535). **พฤติกรรมแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วารสารศาสตร์มหาบัณฑิต 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 วีรานูวัติ 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> on 24/04/2010.

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

ตัวอย่างการอ้างอิงในเนื้อหา

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

ตัวอย่างการแปลบรรณานุกรมภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

1.1 ตัวอย่างบรรณานุกรมที่เป็นหนังสือ

สุวิมล ตีรกานันท์. (2553). **การวิเคราะห์ตัวแปรพหุในงานวิจัยทางสังคมศาสตร์**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

1.2 ตัวอย่างบรรณานุกรมที่เป็นบทความ

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 ตัวอย่างบรรณานุกรมข้อมูลจากเว็บไซต์

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2556). **สถานการณ์การท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศขาเข้าในปี 2555**. สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2557, จาก http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php

Tourism Authority of Thailand. (2013). **Inbound foreign tourists situation in 2012**. Retrieved February 9, 2014, from http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php (in Thai)

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

หรือ ติดต่อสอบถามที่ **ผู้ประสานงาน** : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธิติมา คุณยศยิ่ง โทร 054-237 399 ต่อ 1339

Tel. : 080-5028598 E- mail: journalitech@gmail.com ****