



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

RMUTL Engineering Journal

RMUTL. Eng. J.

ปีที่ 6 ฉบับที่ 2

กรกฎาคม - ธันวาคม 2564

ISSN 2465-4248

ISSN (Online) 2697-3839



วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ได้รับการประเมินให้อยู่ในฐานข้อมูลของ
ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) กลุ่มที่ 2

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา RMUTL Engineering Journal

วัตถุประสงค์

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เป็นวารสารทางวิชาการจัดพิมพ์ฉบับแรกในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและองค์ความรู้ทางที่น่าสนใจด้านวิจัยและงานบริการวิชาการ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการสร้างความก้าวหน้าทางวิชาการ และมาตรฐานการประกอบวิชาชีพ โดยสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ วิศวกรรมระบบควบคุม วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมโทรคมนาคม วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเกษตร วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมแม่พิมพ์ วิศวกรรมโลหการ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมเหมืองแร่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

เจ้าของ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

เลขที่ : 128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

โทรศัพท์ : 0 5392 1444 ต่อ 2641, 1236

เว็บไซต์ : <https://engineering.rmutl.ac.th/journal> และ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/RMUTLEngJ>

อีเมล : EngineeringJournal@rmutl.ac.th

ที่ปรึกษา

ผู้ปฏิบัติหน้าที่อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและกิจกรรมนักศึกษา

รองอธิการบดีฝ่ายกิจการพิเศษ

รองอธิการบดีฝ่ายนโยบายและพัฒนาระบบ

รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ

ผู้ช่วยอธิการบดี

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณบดีคณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณบดีคณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร

ผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา



ผู้อำนวยการสถาบันถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน
ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ
ผู้อำนวยการสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน คณะวิศวกรรมศาสตร์

รองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์ สิริเจริญ คณะวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการ

กองบรรณาธิการจากหน่วยงานภายนอก

ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์	จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สักรกมล	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ดนัย	ต.รุ่งเรือง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์	อัครเอกมลิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.ประดิษฐ์	เทอดทูล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.กอบวุฒิ	รุจิณากุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์	ลิขิตเลอสรวง	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต	สิริสิงห์	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณชนม์	ภูมิภักติพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.กานต์	เกิดขึ้น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์	ชื่นแขก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ	บุตรดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี	เปรมานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พันธ์	แก้วตาพิพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติรัฐ	นันทะอาจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์	เจริญสุวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.วิสนัย	วรรณัจฉริยา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.ขจรศักดิ์	โสภากาจารย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย	ฉัตรทินวัฒน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ	โสภางค์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.นิวัติ	เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร.อภินิติ	โชติสังกาศ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์	คงประเสริฐ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ	รอดอัมพร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐปน	ชื่นบาล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิราภรณ์	ชื่นบาล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์	สากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุทธิพล	ดำรงชัย	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวา	แก้วปลั่ง	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ	หาญณรงค์ชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์	แพบัว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพงษ์	สุวลักษณ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กองบรรณาธิการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน	คำน่าน	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา	เย็นยงกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาวนิชย์	เดชธรรมรงค์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีชัย	ภาพสินธุ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ	จารุภูมิ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิต	แก้วดวงตา	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล	จิ่นะวงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร	พันธุ์ท่าช้าง	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวโรดม	ศิริลักษณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รณชาติ	มันศิลป์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ดร.ภาณุ	อุทัยศรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นายณัฐชาติสิทธิ์	ชูเกียรติขจร	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นายปรัชญ์	ปิยะวงศ์วิศาล	คณะวิศวกรรมศาสตร์

ฝ่ายจัดพิมพ์และเผยแพร่

นางสาวจิราภรณ์	กันทะใจ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นายครรชิต	เงินคำคง	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นางสาวอุไรวรรณ	สายยะนันท์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นางสาวจุฑาทิพย์	สุวรรณ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นางสาววัลลภา	วงศ์ชายะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์



จดหมายจากบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (RMUTL Eng. J.) ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2564 เป็นฉบับที่ 2 และอยู่ในฐานข้อมูลศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) กลุ่มที่ 2 ได้ผ่านการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) จากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ทางกองบรรณาธิการจะรักษาคุณภาพของวารสารให้ได้มาตรฐาน เพื่อให้วารสารวิศวกรรมศาสตร์ (RMUTL Eng. J.) เป็นที่ยอมรับ และเกิดการแบ่งปันองค์ความรู้ที่มีคุณภาพในทางวิศวกรรม

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (RMUTL Eng. J.) ฉบับนี้ได้รวบรวมบทความทางวิชาการที่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 7 บทความ ประกอบด้วยบทความทางวิชาการในด้านวิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมเครื่องกล เทคโนโลยีสารสนเทศ วิศวกรรมโลจิสติกส์ อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ โดยผู้อ่านบทความวารสารวิศวกรรมศาสตร์ สามารถอ่านบทความฉบับปัจจุบันหรือฉบับย้อนหลังแบบออนไลน์ได้ทางเว็บไซต์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/RMUTLEngJ>

ในนามของกองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (RMUTL Eng. J.) ขอขอบพระคุณนักวิจัยทุกท่านเป็นอย่างสูง ที่ส่งบทความมาพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่เสียสละเวลาในการประเมินบทความ และให้คำแนะนำในการปรับปรุงเนื้อหาบทความให้มีคุณภาพ คณะผู้บริหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ผู้สนับสนุน รวมทั้งคณะทำงานในกองบรรณาธิการวารสาร (RMUTL Eng. J.) และขอเชิญชวนผู้อ่านที่สนใจ ส่งบทความทางด้านวิชาการหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อตีพิมพ์ในวารสาร (RMUTL Eng. J.) ในฉบับต่อ ๆ ไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎา ยิ่งยวน)

บรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

สารบัญ

ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2564

บทความวิชาการ

การพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวในการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียวโดยใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง และการสึก
หกรอของเม็ดมิด

1

จุฬาลักษณ์ วิจารณ์กุล สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และ ชาทรี หอมเขียว

การศึกษาสมบัติของวัสดุพอลิเมอร์จากกากสีผงและดินขาวอินเดีย

11

ประชา ยืนยงกุล มาโนชัย พระคุณอนันต์ ฤทธิญา ศักดิ์เจริญชัยกุล สุรพิน พรหมแดน ศุภชาติ กรุดทอง
รณชาติ มั่นศิลป์ ภาควงุมิ จารุมุมิ สิทธิบุรณ์ ศิริพรอัครชัย และ ทิพาพร คำแดง

ชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง

19

เอกชัย ไก่แก้ว กิตติศักดิ์ คำผัด วุฒิชัย คำมีสว่าง ดำรงค์ สุพล และ ทวี ไพภูมิภัณฑ์

การเลือกสถานที่ตั้งจุดรับซื้อและการจัดเส้นทางรถขนส่งยางพารา

29

สมศักดิ์ แก้วพลอย สุจิตรา แก้วพลอย และ วัชรชัย จูมผา

การประเมินประสิทธิภาพของเตาหลอมอะลูมิเนียมที่ใช้ถ่านโค้กพร้อมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

40

ศักดิ์สิทธิ์ ชื่นชมขนาดจาด และ ธงชัย เครือฝื่อ

การพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับรับซื้อขวดน้ำดื่มไฮดรอนมิติด้วยการใช้เซ็นเซอร์วัดน้ำหนักร่วมกับการประมวลผล
ภาพ และแจ้งผลผ่านไลน์โนติฟาย

49

ไกรสร เรือนแก้ว เรวัต อุดม วัฒนชัย ศรีกลิ่น ปรังญ์ ปิยะวงศ์วิศาล อนุชล หอมเสียง

และ ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกุล

การปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต กรณีศึกษาโรงงานประกอบรถยนต์

56

วิโรชา คำจันทร์ อธิวัฒน์ ธนย์วัชรมงคล และ ศักดิ์ดา คำจันทร์

การพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวในการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียวโดยใช้วิธีการพื้นผิว ผลตอบสนองและการสึกหรอของเม็ดมีด

Surface Roughness Prediction in Boring Turning of Ductile Cast Iron Using Response Surface Methodology and Tool Wear

จุฬาลักษณ์ โรจนานุกุล^{1*} สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์^{1,2} และชาตรี หอมเขียว^{1,2}

¹ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

2/4 ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

² หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

2/4 ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

Julaluk Rodjananugoon^{1*} Surasit Rawangwong^{1,2}, and Chatree Homkhiew^{1,2}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivajaya

2/4 Ratchadamnoennok Road, Boyang Sub-District, Muang District, Songkhla, Thailand, 90000

² Materials Processing Technology Research Unit Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivajaya

2/4 Ratchadamnoennok Road, Boyang Sub-District, Muang District, Songkhla, Thailand, 90000

*ผู้รับผิดชอบบทความ: julaluk.r@rmutsr.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 08-9657-0721

Received: 5 March 2021, Revised: 18 May 2021, Accepted: 24 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวในการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 โดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนองด้วยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) โดยมีปัจจัยในการทดลองประกอบด้วยความเร็วรอบ อัตราป้อน ความลึกในการตัด และรัศมีงูมมิต จากการทดลองพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความขรุขระผิว คือความเร็วรอบ รัศมีงูมมิต อัตราป้อน และความลึกในการตัด โดยค่าความขรุขระผิวมีแนวโน้มจะลดลงเมื่อใช้อัตราป้อนความลึกในการตัดลดลง และเพิ่มความเร็วรอบ และรัศมีงูมมิต ให้สูงขึ้น สภาวะที่เหมาะสมต่อค่าความขรุขระผิว คือ ความเร็วรอบ 1,700 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.04 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีงูมมิต 1.2 มิลลิเมตร จะได้ค่าความขรุขระผิวเท่ากับ 0.2589 ไมโครเมตร และจากการกลึงคว้านรูเพื่อดูลักษณะการสึกหรอของเม็ดมีด พบว่าจะมีการสึกหรอแบบแตกหักที่ปลายคมตัด เนื่องจากการเสียดสีและการกระแทกกับชิ้นงาน

คำสำคัญ เหล็กหล่อเหนียว ความขรุขระผิว วิธีการพื้นผิวตอบสนอง การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

Abstract

The research aims to study the surface roughness prediction in turning of ductile cast iron using response surface methodology with experiment design of Box-Behnken design. Factors used in the experiment include speed, feed rate, depth of cut, and corner radius using ductile cast iron FCD 400. From the experiment, factors affecting the surface roughness are speed, corner radius, feed rate, and depth of cut. The surface roughness tended to decrease when the feed rate and depth of cut were decreased and increasing the speed corner radius up. The optimal conditions on the surface roughness

were the speed of 1,700 rpm, feed rate of 0.04 mm/rev, depth of cut 0.1 mm, and corner radius of 1.2 mm. These conditions resulted in the surface roughness of 0.2589 μm . From boring turning to study the wear characteristics of the insert, it was found that the fracture wears at the cutting edge due to the fraction and impact on the workpiece.

Keywords: Ductile Cast Iron, Surface Roughness, Response Surface Methodology, Box-Behnken Design

1. บทนำ

เหล็กหล่อเหนียว (Ductile Iron) มีชื่อเรียกกันหลายแบบ เช่น เหล็กหล่อกราไฟต์กลม (Spheroidal Graphite Iron Nodular Cast Iron) คุณสมบัติและลักษณะของกราไฟต์ที่ตกผลึกอยู่ในเนื้อของเหล็ก จะอยู่ในลักษณะกลม (Nodule or Spheroid) มีความแตกต่างไปจากลักษณะกราไฟต์ของเหล็กหล่อสีเทา ซึ่งอยู่ในรูปของแถบยาวๆ (Lamellar Flakes) ด้วยคุณลักษณะของกราไฟต์ที่เป็นรูปกลมทำให้เหล็กชนิดนี้มีคุณสมบัติเหนียวรับแรงกระแทกได้ดีกว่าเหล็กหล่อสีเทา ข้อดีของเหล็กหล่อเหนียว เมื่อเทียบกับเหล็กหล่อขาวก็คือจะไม่มีขอบเขตจำกัดในเรื่องความหนาของชิ้นงานหล่อ และข้อดีอีกประการหนึ่งของเหล็กหล่อเหนียว คือจุดหลอมเหลวต่ำ สามารถหลอมได้ด้วยเตาแบบธรรมดาที่ใช้อัดเหล็กหล่อทั่ว ๆ ไปได้ [1] ด้วยข้อดีต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้มีการนำเหล็กหล่อเหนียว ไปใช้งานในอุตสาหกรรมยานยนต์เพื่อผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ที่รับแรงกระแทก เป็นต้น เนื่องจากทนต่อแรงดึงทนต่อการสึกหรอรับแรงกระแทกได้ดี และสามารถนำไปกลึง กัด ไส เจาะได้ง่าย

การนำเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 ไปใช้ในงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องผ่านการแปรรูปด้วยกระบวนการต่าง ๆ เพื่อให้ได้ขนาดและรูปร่างที่ต้องการ ซึ่งกระบวนการกลึงคว้านรูนั้นก็เป็นการแปรรูปที่สำคัญ และนิยมใช้ แต่หากใช้สภาวะการตัดเฉือนไม่เหมาะสม จะส่งผลต่อคุณภาพชิ้นงาน คือ ผิวชิ้นงานขรุขระ ขนาดของชิ้นงานไม่ถูกต้องและทำให้ต้นทุนการผลิตสูงเนื่องจากเสียเวลาในการแก้ไข จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา Badadhe และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์และหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงคว้านรูในเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1041 โดยใช้การออกแบบการทดลองทางสถิติแบบ L9 ผลการวิจัยพบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด อยู่ในช่วงความเร็วตัด 224 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 0.045 มิลลิเมตรต่อรอบ

ความลึกในการตัด 0.75 มิลลิเมตร ต่อมา Kumar และคณะ [3] ได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความขรุขระพื้นผิวในการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเทา โดยใช้การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ พบว่า ปัจจัยที่ให้ค่าความเรียบผิวดีที่สุดคือ ความเร็วตัด 160 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 0.3 มิลลิเมตรต่อรอบ และค่าตัดเผื่อ 0.3 มิลลิเมตร ได้ความเรียบของพื้นผิว 3.02 ไมโครเมตร ส่วน Viashnav และ Sonawane [4] โดยทำการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์กระบวนการกลึงคว้านรูเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง SAE 1541 ในโดยใช้วิธีการทางสถิติ พบว่า อัตราป้อนมีอิทธิพลต่อความขรุขระผิวมากที่สุด ส่วนอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นมีอิทธิพลน้อยที่สุดสำหรับความขรุขระของพื้นผิว หลังจากนั้น Patil และ Jadhav [5] ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงคว้านรูในโดยใช้เครื่องกลึง CNC โดยใช้การออกแบบการทดลองทางสถิติ พบว่า อัตราป้อนเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความขรุขระผิวมากที่สุด และสภาวะที่ทำให้ความขรุขระผิวมีค่าต่ำสุดคือ ความลึกในการตัด 0.6 มิลลิเมตร อัตราการป้อน 0.02 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็worอบ 1,200 รอบต่อนาที

จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวในการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) และศึกษาพฤติกรรมผลการสึกหรอของเม็ดมีด สำหรับเป็นแนวทางในการกำหนดปัจจัย และการพยากรณ์ความขรุขระผิวในการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 ให้มีความเหมาะสมเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียวที่มีคุณภาพและนำไปสู่การลดต้นทุนในการแปรรูปในการผลิตชิ้นส่วนอุตสาหกรรมได้



2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology, RSM) เป็นการรวบรวมเอาวิธีทางคณิตศาสตร์และสถิติที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย และมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้การออกแบบวิธีบล็อกซ์-เบห์นเคน [6-9] มีลักษณะเกือบจะเป็น Orthogonal จำนวนการทดลองแต่ละ Combination ทำในจำนวนครั้งที่เท่ากัน โดยเฉพาะจุด Centerpoints ข้อดีคือมีค่า Resolution เท่ากับ IV ซึ่งทำให้สามารถศึกษาผลกระทบเชิงเส้น (Linear Effects) ผลกระทบในเชิงเส้นกำลังสอง (Quadratic Effects) และอันตรกิริยาหรือผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย (2-Factor Interactions) ทั้งนี้การออกแบบการทดลองแบบวิธีบล็อกซ์-เบห์นเคน จะมีจำนวนครั้งในการทดลองที่ลดลงรวมถึงมีต้นทุนที่ถูกกว่าเมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง (Central Composite Design; CCD) [9-10]

2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

2.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

1) เครื่องกลึง Harrison รุ่น M 300 มีความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 2,500 รอบต่อนาที อัตราป้อนสูงสุด 1 มิลลิเมตรต่อรอบ ผลิตในประเทศไทย

2) วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง คือ เหล็กหล่อเหนียว FCD 400 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ความยาว 100 มิลลิเมตร คุณสมบัติโดยทั่วไปทนแรงดึงได้สูงสุด 400 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร มีอัตราการยืดตัว 12% สามารถนำไปชุบแข็ง อบลดความเคียดหรือชุบผิวแข็งได้ ทนต่อการสึกหรอได้ดีสามารถนำไปขึ้นรูปได้สามารถรับแรงกระแทกได้ดี ส่วนผสมมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน ประมาณ 3.581% และยังมีธาตุที่ผสมอยู่ เช่น แมกนีเซียม และซิลิคอน เป็นต้น

3) เม็ดมิลดกลึงคว้านชนิดคาร์ไบด์ ยี่ห้อ Tungaloy ชนิด CCMT09T304- PM, CCMT09T308- PM และ CCMT09T312-PM เกรด T9115 ส่วนผสม คาร์ไบด์เคลือบผิวด้วย คือ $TiCN + Al_2O_3$ ผลิตในประเทศไทย

4) ด้ามมิลดกลึง ยี่ห้อ Tungaloy ชนิด CC**09T3** เกรด A16Q-SCLCR/L09-D180 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ความยาว 180 มิลลิเมตร ผลิตในประเทศไทย

5) เครื่องวัดความขรุขระ ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-210 ผลิตในประเทศไทย

2.2.2 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีพื้นผิวผลตอบสนองโดยใช้แผนการทดลองบล็อกซ์-เบห์นเคน (Box – Behnken Design) [6-10] ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองประกอบด้วย ความเร็วรอบ (Speed) อัตราป้อน (Feed Rate) ความลึกในการตัด (Depth of Cut) และรัศมีมุมกมิต (Corner Radius) [2-5, 9-14] ผลตอบสนอง คือ ค่าความขรุขระผิว (Surface Roughness; Ra) การกำหนดช่วงปัจจัยสำหรับการทดลองนั้น ได้พิจารณาจากประสิทธิภาพของเม็ดมิล การทดลองกลึงคว้านในชิ้นงานเบื้องต้น และข้อจำกัดของเครื่องจักรที่สามารถปรับตั้งได้จริง โดยกำหนดตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อความขรุขระผิว 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ แสดงดังตารางที่ 1 มีสถานะในการทดลอง 27 สถานะ และมีการวัดซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น จากนั้นนำผลค่าความขรุขระผิว วิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) โดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 17 ระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดค่าปัจจัยสำหรับการทดลอง

Factor	Low (-1)	Medium (0)	High (1)
Speed (rpm)	800	1,200	1,700
Feed Rate (mm/rev)	0.04	0.06	0.08
Depth of Cut (mm)	0.1	0.2	0.3
Corner Radius (mm)	0.4	0.8	1.2

2.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1) จัดเตรียมชิ้นงานเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน 35 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูคว้าน 22 มิลลิเมตร ความยาวชิ้นงาน 30 มิลลิเมตร

2) นำชิ้นงานที่จัดเตรียมไว้มาทำการกลึงคว้านรูในตามสถานะการกลึงคว้านรูที่กำหนด จำนวน 27 สภาวะ ซึ่งจะทำทำการกลึงคว้านรูในตลอดชิ้นงาน ตามแนวยาวของชิ้นงาน

3) วัดค่าความขรุขระผิวชิ้นงาน จำนวน 3 จุด โดยแต่ละจุด จะทำการหมุนชิ้นงานประมาณ 120 องศา ตำแหน่งวัดจะห่างจากปลายชิ้นงานประมาณ 10 มิลลิเมตร แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าความขรุขระผิว

2.2.4 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

เมื่อดำเนินการทดลองตามที่ออกแบบไว้ จะนำข้อมูลค่าความขรุขระผิวตรวจสอบก่อนว่าข้อมูลที่เก็บมานั้นเป็นข้อมูลที่มีคุณภาพหรือไม่ โดยมีความจำเป็นต้องพิสูจน์คุณสมบัติของข้อมูล 3 ประการคือความเป็นปกติของข้อมูล ความเสถียรภาพของข้อมูล และความเป็นอิสระของข้อมูล

2.2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 17 ในการวิเคราะห์การทดลองเพื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองโดยที่จะพิจารณาค่า P-Value เปรียบเทียบกับค่า α หากค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่าปัจจัยที่พิจารณานั้นมีผลต่อค่าความขรุขระผิว โดยจะกำหนด α เท่ากับ 0.05 โดยพิจารณาที่อิทธิพลหลัก (Main Effect) ปัจจัยกำลังสอง และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (Interaction Effect) ว่ามีผลต่อค่าความขรุขระผิวหรือไม่

2.2.6 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความขรุขระผิวกับตัวแปรอิสระ คือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน ความลึกในการตัด และรัศมีมุมมีด โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อความขรุขระผิวนำมาวิเคราะห์การถดถอยโดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 17

2.2.7 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงคว้านรูใน

วิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 จะใช้ Response Optimizer ในการคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์ โดยจะเลือกค่าระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความขรุขระผิว (Ra) มีค่าน้อยที่สุด

2.2.8 การทดลองเพื่อยืนยันผล

การทดลองนี้เป็นการทดสอบความแม่นยำของสมการถดถอย โดยการสุ่มสภาวะการกลึงคว้านรูใน จำนวน 10 สภาวะการทดลอง แล้วนำผลที่ได้จากการพยากรณ์มา

เปรียบเทียบกับค่าจริง (dt) ที่ได้จากการทดลอง และคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error; MAPE) โดยมีเกณฑ์ตัดสินใจคือ คลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

2.2.9 การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของเม็ดมีด

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาการกลึงคว้านรูเพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของเม็ดมีด โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง จากนั้นเอาเม็ดมีดไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

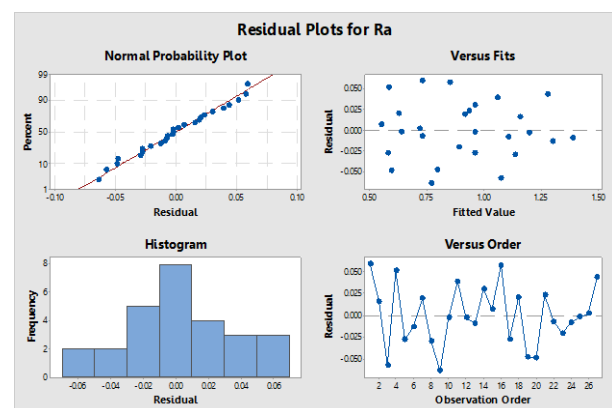
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์การทดลอง

การวิจัยนี้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน มีตัวแปรอิสระที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วย ความเร็วรอบ อัตราป้อน ระยะป้อนลึก และรัศมีมุมมีด โดยค่าผลตอบสนอง คือ ค่าความขรุขระผิว

3.1.1 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล

จากผลการทดลองสามารถนำมาวิเคราะห์ เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลมีคุณภาพหรือไม่ โดยทั่วไปจะตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูล 3 ประการด้วยกัน คือการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) การทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล (Variance Stability Test) และการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Test) แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลความขรุขระผิว

จากรูปที่ 1 เป็นการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลจะพิจารณาจากแผนภาพ 2 ประเภท ได้แก่ 1) ความน่าจะเป็นแบบปกติ หรือ Normal Probability Plot จะเห็นว่าค่าเศษ



เหลือมีลักษณะการเรียงตัวเป็นแนวเส้นตรง และไม่มีค่าผิดปกติเกิดขึ้นในแผนภาพ และ 2) ฮิสโตแกรม (Histogram) โดยสังเกตรูปร่างของฮิสโตแกรมที่สมมาตร ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลในการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากนั้นตรวจสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวนโดยใช้แผนภาพการกระจายค่าเศษเหลือบนแผนภาพมีลักษณะการกระจายที่เป็นอิสระ ไม่มีแนวโน้ม และไม่สามารถคาดการณ์รูปแบบได้ มีการกระจายค่าเศษเหลืออยู่รอบ ๆ ค่าศูนย์ที่เท่า ๆ กัน แสดงให้เห็นถึงข้อมูลมีความเสถียรภาพของความแปรปรวนและตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล โดยใช้แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือต่อลำดับการทดลอง ซึ่งพบว่าค่าเศษเหลือมีการกระจายที่สุ่มแบบ ไม่มีความสัมพันธ์กับลำดับการทดลองที่เป็นแนวโน้มหรือความสัมพันธ์ที่สามารถคาดการณ์ได้แสดงให้เห็นถึงข้อมูลมีความเป็นอิสระของข้อมูล

ผลจากการประเมินคุณสมบัติทั้ง 3 ประการของข้อมูลสรุปได้ว่าข้อมูลมีความพอเพียงและน่าเชื่อถือ

3.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระผิว

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง พบว่าข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ จึงนำข้อมูลผลการวัดความขรุขระผิวมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยเพื่อศึกษาว่ามีปัจจัยใดบ้างที่มีผลกระทบต่อความขรุขระผิวของเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 17 แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความขรุขระผิวของเหล็กหล่อเหนียว FCD 400

Analysis of Variance for Ra					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Regression	14	1.54190	0.110136	43.25	0.000
Linear	4	1.27335	0.318338	125.00	0.000
Speed	1	0.67687	0.676875	265.78	0.000
Feed Rate	1	0.22495	0.224954	88.33	0.000
Depth of Cut	1	0.12813	0.128133	50.31	0.000
CornerRadius	1	0.24339	0.243390	95.57	0.000
Square	4	0.20822	0.052056	20.44	0.000
Speed*Speed	1	0.05885	0.058847	23.11	0.000
Feed*Feed	1	0.03771	0.037707	14.81	0.002
Depth*Depth	1	0.03850	0.038496	15.12	0.002
Corner*Corner	1	0.01648	0.016477	6.47	0.026
2-Way	6	0.06032	0.010054	3.95	0.021
Speed*Feed	1	0.01210	0.012100	4.75	0.050
Speed*Depth	1	0.00748	0.007482	2.94	0.112
Speed*Corner	1	0.00001	0.000012	0.00	0.946
Feed *Depth	1	0.00319	0.003192	1.25	0.285
Feed *Corner	1	0.03725	0.37249	14.63	0.002
Depth*Corner	1	0.00029	0.000289	0.11	0.742
Error	12	0.03056	0.002547		
Lack-of-Fit	10	0.02887	0.002887	3.41	0.248
Pure Error	2	0.00169	0.000846		
Total	26	1.57246			

$S = 0.0504653$ $R-Sq = 98.06\%$ $R-Sq(adj) = 95.79\%$ $RSq(pred) = 89.18\%$

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่า R-Square มีค่าเท่ากับ 98.06 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความหมายว่าค่าความขรุขระผิวมีอิทธิพลจากปัจจัยการทดลองสูงถึง 98.06 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีก 1.94 เปอร์เซ็นต์เป็นผลมาจากปัจจัยที่ไม่ได้มีการควบคุม แสดงว่าการออกแบบการทดลองนี้ถูกต้อง และมีความเหมาะสม นอกจากนี้ค่า Lack of Fit มีค่า P-Value เท่ากับ 0.248 ซึ่งหมายความว่าสมการถดถอยสำหรับค่าความขรุขระผิวมีความเหมาะสมอย่างมีนัยสำคัญ และจึงสามารถวิเคราะห์ต่อไปด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน

สมมติฐานการทดลอง

H_0 : ปัจจัยในการกลึงคว้านรูไม่มีผลต่อความขรุขระผิว เหล็กหล่อเหนียว FCD 400

H_1 : ปัจจัยในการกลึงคว้านรูมีผลต่อความขรุขระผิว เหล็กหล่อเหนียว FCD 400

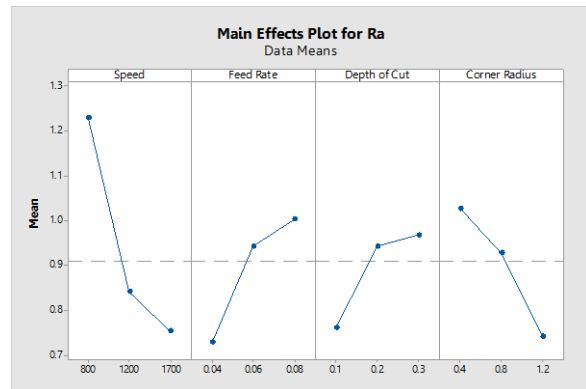
การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความขรุขระผิว ทำการวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีเกณฑ์การตัดสินใจ คือถ้า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายถึงปัจจัยนั้น ๆ มีผลต่อความขรุขระผิวของเหล็กหล่อเหนียว FCD 400

1) การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก ที่มีผลต่อความขรุขระผิว เหล็กหล่อเหนียว FCD 400 จากตารางที่ 2 พบว่าปัจจัยความเร็วรอบ อัตราป้อน ความลึกในการตัด และรัศมีงูมกมิต ซึ่งมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น สรุปได้ว่าปัจจัยความเร็วรอบ อัตราป้อน ระยะป้อนลึก และรัศมีงูมกมิต มีผลต่อความขรุขระผิวของเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิมล และธนศ [11] และ Beauchamp, Y. et.al [12]

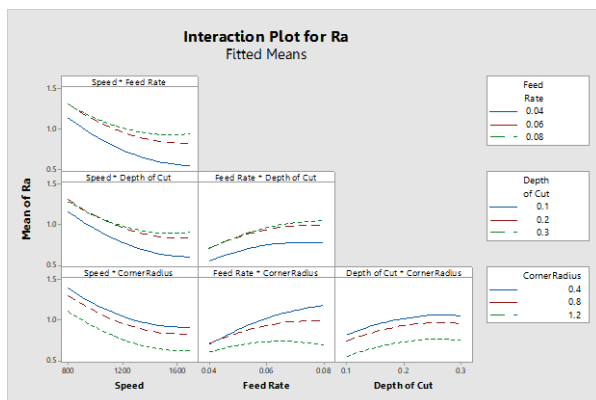
2) การวิเคราะห์ปัจจัยกำลังสอง ที่มีผลต่อความขรุขระผิว เหล็กหล่อเหนียว FCD 400 จากตารางที่ 2 พบว่าปัจจัยกำลังสองของปัจจัยความเร็วรอบ อัตราป้อน ความลึกในการตัด และรัศมีงูมกมิต ซึ่งมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้น สรุปได้ว่าปัจจัยกำลังสองของปัจจัยความเร็วรอบ อัตราป้อน ระยะป้อนลึก และรัศมีงูมกมิต มีผลต่อความขรุขระผิว เหล็กหล่อเหนียว FCD 400 อย่างมีนัยสำคัญ

3) การวิเคราะห์อันตรกิริยา ที่มีผลต่อความขรุขระผิว เหล็กหล่อเหนียว FCD 400 จากตารางที่ 2 พบว่าอันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบกับอัตราป้อนและอัตราป้อนกับรัศมีงูมกมิต ซึ่งมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้นสรุปได้ว่าอันตรกิริยาระหว่างความเร็วรอบกับอัตราป้อน และอัตราป้อนกับรัศมีงูมกมิต มีผลต่อความขรุขระผิว เหล็กหล่อเหนียว FCD 400 อย่างมีนัยสำคัญ จากตารางที่ 2 และรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาอันตรกิริยาของปัจจัยความเร็วรอบกับความลึกในการตัด ความเร็วรอบกับรัศมีงูมกมิต อัตราป้อนกับความลึกในการตัด และความลึกในการตัดกับรัศมีงูมกมิต มีค่า P-Value มากกว่า 0.05 และพบว่าเส้นของกราฟขนานกัน และมีแนวโน้มไม่ตัดกัน ดังนั้น สรุปได้ว่าปัจจัยอันตรกิริยา

ของปัจจัยความเร็วรอบกับความลึกในการตัด ความเร็วรอบกับรัศมีงูมกมิต อัตราป้อนกับความลึกในการตัดและความลึกในการตัดกับรัศมีงูมกมิตไม่มีผลต่อความขรุขระผิว เหล็กหล่อเหนียว FCD 400



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความขรุขระผิวจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยหลัก



รูปที่ 3 ปฏิสัมพันธ์ของความขรุขระผิว

เมื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อความขรุขระผิวจากรูปที่ 2 และตารางที่ 2 พบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความขรุขระผิว เหล็กหล่อเหนียว FCD 400 คือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน ความลึกในการตัด และรัศมีงูมกมิต โดยความเร็วรอบมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบ จาก 800 เป็น 1,700 รอบต่อนาที ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวจะมีแนวโน้มลดลง ส่วนอัตราป้อนมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มอัตราป้อน จาก 0.04 เป็น 0.08 มิลลิเมตรต่อรอบ ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวจะเพิ่มขึ้น ส่วนความลึกในการตัดนั้นมีแนวโน้มว่าเมื่อเพิ่มความลึกในการตัดจาก 0.1 เป็น 0.3 มิลลิเมตร ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวจะเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ พงศ์ธร และ

ศิรประภา [13] ส่วนรัศมีจุมูกมีตเพิ่มขึ้นจาก 0.4 เป็น 1.2 มิลลิเมตร ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ ทฤษฎีความขรุขระผิว [14] และเมื่อปรับความเร็วรอบเพิ่มขึ้น อัตราป้อนลดลง และความลึกในการตัดลดลง และรัศมีจุมูกมีต เพิ่มขึ้น ทำให้ความขรุขระผิวของเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 ลดลงด้วย

3.1.3 การวิเคราะห์การถดถอยของความขรุขระผิว

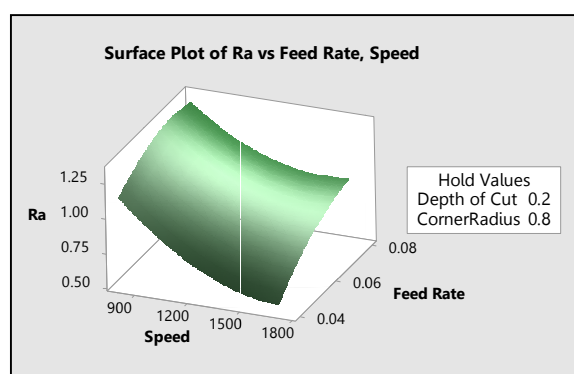
เป็นการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ของความขรุขระผิวของเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 กับปัจจัย ในการทดลอง ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อน ความลึกในการตัด และรัศมีจุมูกมีต โดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 17 ซึ่ง สามารถวิเคราะห์การถดถอยได้สมการจำลองแบบเต็มรูป (Full Model) ในรูปแบบสมการกำลังสอง (Quadratic) แต่ เนื่องจากสมการถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ ยังมีปัจจัย อันตรกิริยา (2-Way Interaction) ที่ประกอบไปด้วยปัจจัย ความเร็วรอบกับความลึกในการตัด ความเร็วรอบกับรัศมีจุมูก มีต อัตราป้อนกับความลึกในการตัด และความลึกในการตัด

กับรัศมีจุมูกมีต ไม่ส่งผลต่อความขรุขระผิวของเหล็กหล่อ เหนียว FCD 400 จึงทำการเปรียบเทียบสมการถดถอยแบบ เต็มรูปและสมการถดถอยแบบลดรูปที่ตัดอันตรกิริยาระหว่าง ปัจจัยที่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญออก ที่สภาวะการทดลอง คือความเร็วรอบ 1,200 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.04 มิลลิเมตรต่อนาที ความลึกในการตัด 0.3 มิลลิเมตร และรัศมี จุมูกมีต 0.8 มิลลิเมตร จากตารางที่ 3 พบว่า สมการถดถอย แบบลดรูปนั้น มีค่าความผิดพลาดที่ต่ำกว่า และมีค่า Predicted R Square มีค่าสูงกว่าการพยากรณ์ที่ได้จาก สมการเต็มรูปแบบ ดังนั้น จึงเลือกใช้สมการถดถอยแบบลด รูป ในการพยากรณ์ความขรุขระผิวของเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 ดังสมการที่ 1

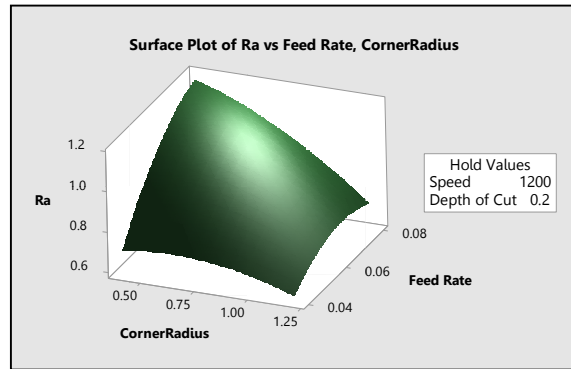
$$R_a = 0.9617 - 0.2375 (\text{Speed}) + 0.1369 (\text{Feed Rate}) + 0.1033 (\text{Depth of Cut}) - 0.1424 (\text{Corner Radius}) + 0.1050 (\text{Speed}^2) - 0.0841 (\text{Feed Rate}^2) - 0.0850 (\text{Depth of Cut}^2) - 0.0556 (\text{Corner Radius}^2) + 0.0550 (\text{Speed} \times \text{Feed Rate}) - 0.0965 (\text{Feed Rate} \times \text{Corner Radius}) \quad (1)$$

ตารางที่ 3 ผลพยากรณ์ของสมการเต็มรูปแบบเปรียบเทียบกับสมการลดรูปของกระบวนการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียว FCD 400

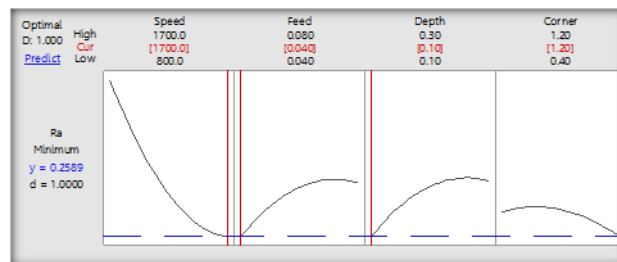
Model		Predicted (μm)	Actual (μm)	% Error	R-Sq%	R-Sq(pred)%
Ra	Full Model	0.731	0.790	7.47	98.06	89.18
	Reduced Model	0.759	0.790	3.92	97.36	93.69



รูปที่ 4 แผนภาพพื้นผิวผลตอบสนองระหว่างความเร็วรอบกับอัตราป้อน



รูปที่ 5 แผนภาพพื้นผิวผลตอบแทนระหว่างอัตราป้อนกับรัศมีมุมกมิต



รูปที่ 6 สภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยในการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียว FCD 400

3.1.4 การสร้างพื้นผิวตอบสนอง

จากสมการถดถอยของค่าความขรุขระผิวในกระบวนการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 สามารถนำมาสร้างแผนภาพพื้นผิวผลตอบแทน (Response Surface Plot) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวของเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 โดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 17 ในการสร้างพื้นผิวผลตอบแทน การวิเคราะห์ผลกระทบของอันตกริยาระหว่างความเร็วรอบกับอัตราป้อน ในรูปที่ 4 พบว่าถ้าใช้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น อัตราป้อนลดลง จะทำให้ความขรุขระผิวต่ำลง ในทางกลับกันถ้าใช้ความเร็วรอบลดลง อัตราป้อนเพิ่มขึ้น จะทำให้ความขรุขระผิวสูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ และการวิเคราะห์ผลกระทบของอันตกริยาระหว่างอัตราป้อนกับรัศมีมุมกมิต ในรูปที่ 5 พบว่าถ้าใช้อัตราป้อนลดลง รัศมีมุมกมิตเพิ่มขึ้น จะทำให้ความขรุขระผิวต่ำลง ในทางกลับกันถ้าใช้อัตราป้อนเพิ่มขึ้น รัศมีมุมกมิตลดลง จะทำให้ความขรุขระผิวสูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ

3.1.5 การหาค่าสภาวะที่เหมาะสมของค่าความขรุขระผิว

การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 ด้วย Response Optimizer โปรแกรม Minitab รุ่น 17 การวิเคราะห์เพื่อหาระดับของปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิว (Ra) มีค่าน้อยที่สุด จากรูปที่ 6 พบว่าค่าความพึงพอใจโดยรวมของสภาวะที่เหมาะสม มีค่าเท่ากับ 1.00 ซึ่งอยู่ในระดับความพึงพอใจสูงสุด และสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการกลึงเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 ที่ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิวต่ำที่สุด คือ ความเร็วรอบ 1,700 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.04 มิลลิเมตรต่อนาที ความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีมุมกมิต 1.2 มิลลิเมตร โดยมีค่าความขรุขระผิวเท่ากับ 0.2589 ไมโครเมตร ซึ่งมีค่าความขรุขระผิวสำเร็จ แบบการตัดละเอียดที่มีค่าความขรุขระผิวในช่วง 0.1 - 1.0 ไมโครเมตร

3.2 การทดลองเพื่อยืนยันผล

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อยืนยันผลที่ความแม่นยำสมการถดถอยในพยากรณ์ความขรุขระผิว โดยทำการสุ่มสภาวะการกลึงคว้านในตามขอบเขตที่กำหนด

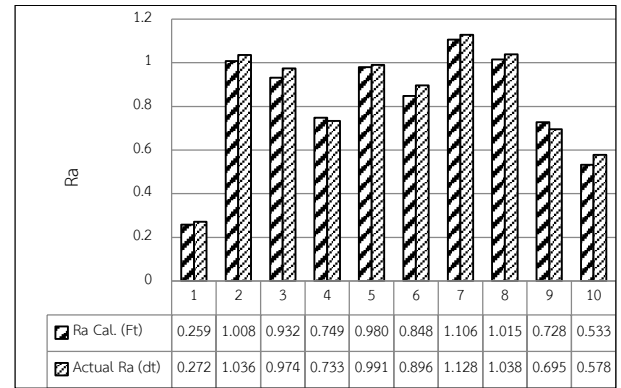
จำนวน 10 สภาวะการทดลอง แล้วนำผลที่ได้จากการพยากรณ์มาเปรียบเทียบกับค่าจริง (dt) ที่ได้จากการทดลอง และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่ยอมรับได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าความขรุขระผิวของค่าจริงกับค่าพยากรณ์ที่คำนวณได้แสดงดังรูปที่ 7 ผลจากการทดลองพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของสมการความขรุขระผิวเท่ากับ 3.72 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ และค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ

3.3 ลักษณะการสึกหรอของเม็ดมีด (Tool Wear)

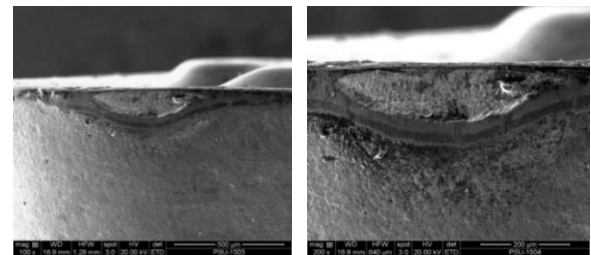
การวิเคราะห์พฤติกรรมการสึกหรอของเม็ดมีดโดยการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียว FCD400 ที่สภาวะการกลึงประกอบด้วย ความเร็วรอบ 1,700 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.04 มิลลิเมตรต่อนาที ความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีงูมิต 1.2 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการคว้านรูใน 205 นาที จากนั้นนำเม็ดมีดไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) พบว่าเม็ดมีดจะมีลักษณะการสึกหรอที่ปลายมีด (Nose Wear) แสดงดังรูปที่ 8 (ก) และ (ข) เกิดจากการขัดสีระหว่างปลายคมตัดกับชิ้นงานที่กำลังตัดเฉือน เมื่อตัดเฉือนไปนาน ๆ ขึ้น จะทำให้คมตัดหรือปลายมีดตัดเกิดการแตกหัก ลักษณะคมตัดด้านหน้าเกิดการสึกหรอกว้างขึ้น และเนื่องจากเกิดจากการเสียดสีระหว่างปลายกับชิ้นงานที่กำลังทำการตัดเฉือน ซึ่งการสึกหรอของปลายคมตัดจะส่งผลกับคุณภาพความขรุขระผิวของชิ้นงานและขนาดของชิ้นงานโตขึ้น หรือขนาดไม่สม่ำเสมอ

4. บทสรุป

การศึกษาการพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวในการกลึงคว้านรูในเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 โดยวิธีการพื้นผิวผลตอบแทน และพฤติกรรมการสึกหรอของเครื่องมือตัดสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบค่าความขรุขระผิว



ก) กำลังขยายที่ 100 x

ข) กำลังขยายที่ 200 x

รูปที่ 8 ลักษณะการสึกหรอของเม็ดมีด

1) ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความขรุขระผิวของเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 มากที่สุด คือ ความเร็วรอบ โดยมีค่า F-Value มากที่สุดเมื่อเทียบกับ รองลงมา คือ รัศมีงูมิต อัตราป้อน และความลึกในการตัด โดยมีแนวโน้มว่าการใช้ความเร็วรอบสูง อัตราป้อนต่ำ และความลึกในการตัดต่ำ รัศมีงูมิตสูง มีผลทำให้ค่าความขรุขระผิวลดลง

2) จากการทดลองได้สมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ คือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน ความลึกในการตัด และรัศมีงูมิต ตัวแปรตามคือ ค่าความขรุขระผิว พบว่า มีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการกำลังสอง (Quadratic Model) และเป็นสมการถดถอยแบบลดรูป ซึ่งให้ค่า ค่า Predicted R Square 93.69 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองเพื่อยืนยันผลเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสมการถดถอยกับค่าที่วัดจริงจากการทดลอง พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยของสมการความขรุขระผิว เท่ากับ 3.72 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าสามารถพยากรณ์ค่าที่ยังไม่มีการทดลองได้อย่างแม่นยำ

3) ผลการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความขรุขระผิวในการกลึงเหล็กหล่อเหนียว FCD 400 พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ความเร็วรอบ 1,700 รอบต่อนาที อัตราป้อน 0.04 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีงูมิต 1.2 มิลลิเมตร ซึ่งที่สภาวะดังกล่าว ส่งผลให้เม็ดมีดจะมีลักษณะการสึกหรอที่ปลายมีด (Nose Wear) เกิดจากการขัดสีระหว่างปลายคมตัดกับชิ้นงานที่กำลังตัดเฉือน ซึ่งการสึกหรอของปลายคมตัดจะส่งผลกับคุณภาพความขรุขระผิวของชิ้นงานและขนาดของชิ้นงานผิดพลาด หรือขนาดไม่สม่ำเสมอ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประจำปี 2562

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Saterachinda M. Cast Iron. 4th edition. Bangkok: Engineering Institute of Thailand; 1996. Thai.
- [2] Badadhe AM, Bhavle SY, Navale LG. Optimization of cutting parameters in boring operation. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. ISSN (e): 2278-1684, ISSN, 2013; p. 10-5.
- [3] Kumar P, Oberoi JS, Singh C, Dhiman H. (2014). Analysis and optimization of parameters affecting Surface roughness in boring process. International Journal of Advanced Mechanical Engineering. 2014; 4(6): p. 647-55.
- [4] Vaishnav MP, Sonawane, SA. Analysis and optimization of boring process parameters by using taguchi Method on SAE 1541. International Journal of Engineering Science Invention. 2014; 3(8): p. 59-63.
- [5] Patil RS, Jadhav SM. Boring parameters optimization for minimum surface roughness using CNC boring machine with passive damping material. In 2017 2nd International Conference for Convergence in Technology; (I2CT) 2017 Apr 7 (pp. 300-303). IEEE.
- [6] Chutima P. Engineering experiment design. Bangkok: Chulalongkorn University Press; 2002. Thai.
- [7] Montgomery DC. Design and Analysis of Experiments. 7th edition. New York: John Wiley & Sons Inc; 2012.
- [8] Sudasna- na- ayudhya P, Luangpaiboon P. Design and Analysis of Experiments. Bangkok: Top Publishing; 2008. Thai.
- [9] Rawangwong S, Burapa R, Rodjananugoon J. Prediction of Surface Roughness in Turning of Aluminum Casting Semi- Solid 7075 Using Response Surface Methodology. Proceedings of the 13th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, 2016 December 1-4, Udonthani, Thailand; 2016, p. 450-9. Thai.
- [10] Yuvarajua BA, Nandaa BK. Prediction of vibration amplitude and surface roughness in boring operation by response surface methodology. Materials today: Proceedings. 2018 Jan 1; 5(2):6906-15.
- [11] Boonrawd W, Ratanawilai T. Effect of turning parameters on surface roughness of aluminum casting semi-Solid. Research and Development Journal. 2012; 23(4): p. 71-7. Thai.
- [12] Beauchamp Y, Thomas M, Youssef YA, Masounave J. Investigation of cutting parameter effects on surface roughness in lathe boring operation by use of a full factorial design. Computer _Industrial Engineering. 1996 Dec 1;31(3-4):645-51.



[13] Ruksorn P, Deepradit S. (2017). The prediction of surface roughness in the S45C turning process by using response surface design. Thai Journal of Operations Research. 2017; 7(2): p. 13-9. Thai.

[14] Chanphong S. Prediction of surface roughness for steel in CNC turning by response surface method. M.Eng. thesis. Chulalongkorn University Bangkok; 2011

การศึกษาสมบัติของวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากกากสีผงและดินขาวอินเดีย

Investigation of Properties of Powder Coating Sludge-Indian kaolin Based Geopolymer

ประชา ยืนยงกุล^{1*} มาโนชย์ พระคุณอนันต์¹ กฤษฎา ศักดิ์เจริญชัยกุล¹ สุรพิน พรหมแดน¹ ศุภชาติ กรุดทอง¹
รณชาติ มั่นศิลป์¹ ภาควิชา วิศวกรรม² สิทธิบุรณ ศิริพรอัครชัย³ และทิพาพร คำแดง⁴

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

³สาขาวิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน

59 หมู่ 13 ตำบลฝายแก้ว อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน 55000

⁴คณะวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

Pracha Yeunyongkul^{1*}, Manoch Prakunanan¹, Kritsada Sakjaroenchai¹, Surapin Promdan¹,
Supachard Krudtong¹, Ronnachart Munsin¹, Parkpoom Jarupoom², Sittiboon Siripornakarachai³
and Tipapon Khamdaeng

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

³ Department of Technology and Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Lanna Nan

59 Moo 13, Fai Kaeo, Muang, Nan, Thailand, 55000

⁴ Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo university

63 Moo 4, Nongharn, Sansai, Chiang Mai, Thailand, 50290

*ผู้รับผิดชอบบทความ: ypracha@rmutl.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 0-5392-1444 ต่อ 2215

Received: 17 January 2021, Revised: 5 April 2021, Accepted: 18 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการขึ้นรูปและสมบัติของวัสดุจีโอพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของกากสีผงและดินขาวอินเดีย กากสีผงเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตสีผงและนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณธาตุต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบด้วยวิธีเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ อัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดียต่อกากสีผง คือ 66.7:33.3 60:40 และ 55:45 ตามลำดับ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 5 10 และ 15 โมลาร์ ตามลำดับ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต คือ

1:1.64 1:2.46 และ 1:3.28 ตามลำดับ ขึ้นรูปขึ้นตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนผสมของกากสีผงต่อนินขาวอินเดียและแต่ละความเข้มข้นของสารละลาย ทดสอบขึ้นตัวอย่างมาตรฐานสากล เพื่อหาสมบัติบางประการของวัสดุจีโอพอลิเมอร์ คือ ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และค่าการดูดซึมของน้ำ ตามลำดับ ผลทดสอบพบว่าที่อัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดียตอกากสีผง 66.70:33.30 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด คือ 4.07 MPa ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.0892 W/(m•k) และค่าการดูดซึมของน้ำต่ำสุดที่ 24.20 % จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า สามารถนำกากสีผงมาผลิตเป็นวัสดุจีโอพอลิเมอร์ เพื่อทดแทนวัสดุทางวิศวกรรมอื่น ๆ เช่น วัสดุก่อสร้าง วัสดุฉนวน เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงจากการกดสูง และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ

คำสำคัญ กากสีผง XRF จีโอพอลิเมอร์ ดินขาวอินเดีย ค่ากำลังรับแรงอัด

Abstract

The aim of this article is to experimentally investigate the forming and properties of the geo-polymer material by using powder coating sludge and Indian kaolin. The powder coating sludge is a waste from powder coating production process and it was XRF tested to find ingredients of element. The mixture ratios of Indian kaolin and powder coating sludge were 66.7:33.3, 60:40, and 55:45, respectively. The concentrations of sodium hydroxide solution were 5, 10, and 15 mol/L, respectively and concentrations of sodium hydroxide to concentration of sodium silicate solution were 1:1.64, 1:2.46, and 1:3.28, respectively. Specimens were formed according to each mixture and concentration. Then, some properties such as compressive strength, coefficient of thermal conductivity, and water absorbing were standardized tested. It was found that the mixture ratios of Indian kaolin and powder coating sludge of 66.70:33.30, concentration of sodium hydroxide solution of 10 mol/L and concentration of sodium hydroxide to concentration of sodium silicate solution of 1:2.46 was the highest compressive strength as 4.07 MPa. Because the proportion of Indian kaolin was directly varied the ingredient of silica and alumina therefore the high proportion of Indian kaolin caused the high compressive strength. Moreover, the coefficient of thermal conductivity of the highest compressive strength was 0.0892 W/(m•k). In addition, the lowest of water absorbing was 24.20 %. Finally, the results illustrated that powder coating sludge can replace other engineering materials especially construction and insulation materials because of its high compressive strength and low coefficient of thermal conductivity.

Keywords: Powder Coating Sludge, XRF, Geo-polymer, Indian Kaolin, Compressive Strength

1. บทนำ

สีฝุ่น หรือสีผงใช้สำหรับงานตกแต่ง เพื่อความสวยงามและมีความทนทานเป็นพิเศษสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายทางอุตสาหกรรม เช่น เฟอร์นิเจอร์ เครื่องปรับอากาศ อะลูมิเนียมเส้น เครื่องใช้ไฟฟ้า อะไหล่รถยนต์ และอื่น ๆ สีผงมีความทนทานสูง และบางชนิดสามารถทนต่อรอยขีดข่วน สภาพแวดล้อม เช่น รังสี UV และสารเคมีต่าง ๆ ปัจจุบันการพัฒนาด้านเทคโนโลยีสูงขึ้น

สามารถผลิตสีผงเพื่อใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท ไม้ แก้ว และพื้นผิวอื่น ๆ อีกด้วย แต่อัตราการเติบโตของอุตสาหกรรมผลิตสีผงที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการอย่างมากในปัจจุบันทำให้เกิด กากสีผง (Powder Coating Sludge) ที่เหลือจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตจำนวนมากดังรูปที่ 1 ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณกากสีผงที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตสีผง ไม่ต่ำกว่า 250 ตันต่อปี การกองเก็บกากสีผงไว้ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือการนำ

ไปกำจัดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกทั้งยังสูญเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมาก หากต้องนำไปทำลาย

จากการศึกษาและงานวิจัยของวัสดุซีโอพอลิเมอร์ เพื่อทดแทนวัสดุบางประเภทที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) เนื่องจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดฝุ่นแขวนลอยที่มีอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน ลอยสู่อากาศ [1] และยังพบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูงจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [2] นอกจากนี้ พบว่ากระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สิ้นเปลืองพลังงานจำนวนมากอีกด้วย [3,4] ดังนั้น วัสดุซีโอพอลิเมอร์ จึงเป็นทางเลือกเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและลดการใช้พลังงาน

วัสดุซีโอพอลิเมอร์ประกอบด้วยธาตุอะลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) จึงทำให้มีสมบัติที่ดีและใช้พลังงานในอัตราที่ต่ำสำหรับกระบวนการผลิต [5-7] วัสดุที่มีส่วนประกอบของธาตุอะลูมินาและซิลิกา และนิยมนำมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตวัสดุซีโอพอลิเมอร์ คือ ดินขาวอินเดีย ดังแสดงในรูปที่ 2 และมีองค์ประกอบทางเคมี แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีในดินขาวแต่ละประเภท

องค์ประกอบทางเคมี	บราซิล	อียิปต์	อิตาลี	อินเดีย	จีน
SiO_2	46.39	49.97	50.64	45.81	55.30
Al_2O_3	38.23	33.83	20.24	37.72	42.5
CaO	0.03	0.09	10.54	0.06	-
Na_2O	0.07	0.42	2.94	0.39	0.07
Fe_2O_3	0.93	0.79	1.12	0.86	0.70
K_2O	0.15	0.01	1.27	0.03	0.42

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งหาองค์ประกอบทางเคมีของกากสีผงและนำมาเป็นส่วนผสมของดินขาวอินเดียในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และค่าการดูดซึมของน้ำ สำหรับผลิตวัสดุซีโอพอลิเมอร์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากสีผง อีกทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตวัสดุซีโอพอลิเมอร์เชิงพาณิชย์ในอนาคตอีกด้วย

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น ขอบเขตการวิจัย การเตรียมชิ้นตัวอย่าง และวิธีการวิเคราะห์

2.1 ขอบเขตการวิจัย

- อัตราส่วนดินขาวอินเดียต่อกากสีผง คือ 66.70:33.30 60:40 และ 55:45 ตามลำดับ (การกำหนดอัตราส่วนเริ่มต้นจากกำหนดอัตราส่วนของกากสีผงที่น้อยที่สุดที่สามารถขึ้นรูปได้ คือ 33.30 % w/w)
- ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือ 5 10 และ 15 โมลาร์ ตามลำดับ
- ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมซิลิเกต คือ 1.64 2.46 และ 3.28 ตามลำดับ
- อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว คือ 0.6

2.2. การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

การเตรียมชิ้นตัวอย่างอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ จากผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติของดินขาวเผา โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้นที่ความเข้มข้น 6 8 10 12 15 18 และ 20 โมลาร์ และพบว่าการใช้สารละลายโซเดียมซิลิเกตและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้นร่วมกัน ส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรงสูงกว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้นเพียงอย่างเดียว [8] การศึกษาอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกตที่ 0.80 - 2 และอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว คือ 0.40 0.60 0.80 และ 1 ตามลำดับ เวลาในการบ่ม 1 7 28 และ 60 วัน ตามลำดับ [9] จากการศึกษาข้างต้น จึงมีการเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการศึกษานี้ คือ ผสมกากสีผง ดินขาวอินเดีย และสารละลายด้วยเครื่องผสมมอดาร์ ดังแสดงในรูปที่ 3 นำส่วนผสมหล่อลงในแม่พิมพ์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร และเขย่าเป็นเวลา 10 นาที เพื่อไล่อากาศ หุ้มด้วยพลาสติก วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างไปอบด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำชิ้นตัวอย่างออกจากเตาอบและบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28 วัน ตามลำดับ



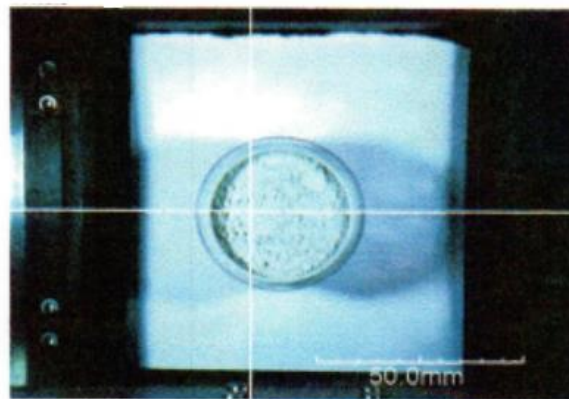
รูปที่ 1 กากสีผง



รูปที่ 4 ชิ้นตัวอย่างหุ้มด้วยพลาสติกและวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง



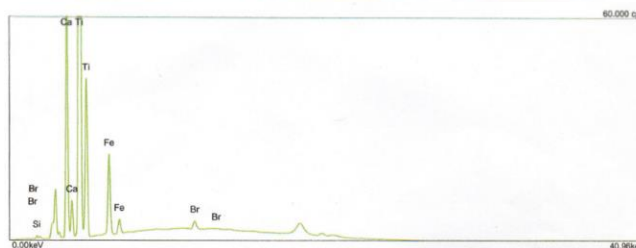
รูปที่ 2 ดินขาวอินเดีย



รูปที่ 5 การทดสอบด้วยวิธีเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์



รูปที่ 3 เครื่องผสมมอดาร์





รูปที่ 6 การทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัด

2.3 วิธีการวิเคราะห์

องค์ประกอบทางเคมีของกากสีผง และชิ้นตัวอย่างของวัสดุอีพอกซีโพลีเมอร์วิเคราะห์ด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence, XRF) ดังแสดงในรูปที่ 5 ทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ของชิ้นตัวอย่างหลังจากบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28 วัน ตามมาตรฐานการทดสอบของ ASTM 109 ดังแสดงในรูปที่ 6 ทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Coefficient of Thermal Conductivity, k) ของชิ้นตัวอย่างตามมาตรฐานการทดสอบของ ASTM C 177 และทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C 37-88 โดยชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างก่อนดมในน้ำเดือด 5 ชั่วโมง และแช่ในน้ำ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

3. ผลการวิจัยและการอภิปราย

3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

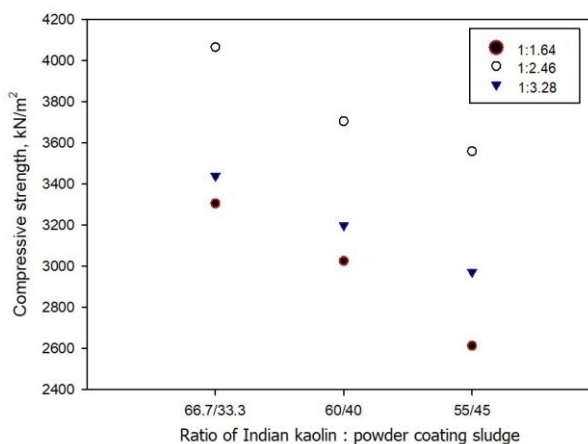
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากสีผงและชิ้นตัวอย่างด้วยวิธี XRF ดังรูปที่ 5 และผลทดสอบแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ พบว่ากากสีผงมีองค์ประกอบทางเคมีของอะลูมินา ซิลิกา ไทเทเนียมและแบเรียม 2.14 1.10 31.4 และ 56.3 % ตามลำดับ ดังนั้น กากสีผงจึงสามารถเป็นส่วนผสมสำหรับการผลิตวัสดุอีพอกซีโพลีเมอร์ กรณีองค์ประกอบทางเคมีของชิ้นตัวอย่าง เป็นผลทดสอบของชิ้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนดินขาวอินเดียนต่อกากสีผง 66.7:33.3 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด พบปริมาณของอะลูมินาและซิลิกาเท่ากับ 2.24 และ 8.62 % ตามลำดับ เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกากสีผงเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 1.10 และ 7.84 เท่าตามลำดับ ดังนั้น สรุปได้ว่าชิ้นตัวอย่างนี้เป็นวัสดุอีพอกซีโพลีเมอร์ ขณะเดียวกันองค์ประกอบของไทเทเนียม (Ti) ของชิ้นตัวอย่าง คือ 38.42 % แสดงว่าชิ้นตัวอย่างนี้สามารถรับแรงอัดได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของของ Sudipta Naskar et al. [10]

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของกากสีผงและชิ้นตัวอย่าง

องค์ประกอบทางเคมี	กากสีผง (% w/w)	ชิ้นตัวอย่าง (% w/w)
Al	2.14	2.24
Si	1.10	8.62
S	6.30	0.42
Ti	31.4	38.42
Fe	1.23	11.16
Zn	0.14	0.74
Sr	1.45	6.91
Ba	56.3	28.36
Ca	-	1.33
Zr	-	1.80

3.2 ผลของอัตราส่วนผสมต่อค่ากำลังรับแรงอัด

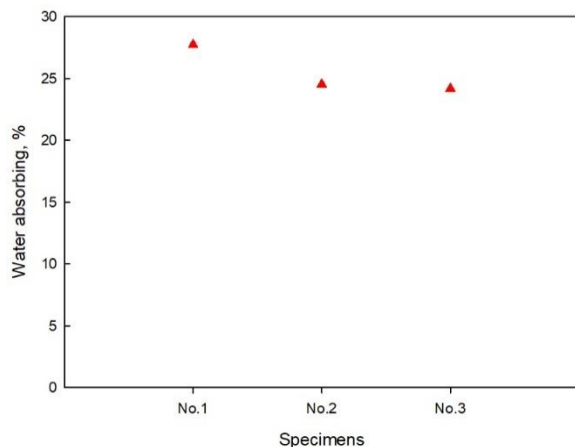
รูปที่ 8 แสดงผลของอัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดียและกากสีผงต่อค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1.64 2.46 และ 3.28 โมลาร์ มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนของกากสีผงลดลง เนื่องจากอัตราส่วนกากสีที่ลดลงหรืออัตราส่วนดินขาวอินเดียที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาและอะลูมินาเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 และอัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดียต่อกากสีผง 66.70:33.30 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด คือ 4.07 MPa ซึ่งสอดคล้องกับ Granizo et al. [8]



รูปที่ 8 ผลของอัตราส่วนผสมระหว่างดินขาวอินเดียและกากสีผงต่อค่าความแข็งแรงจากการกด ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46

3.3 ผลของการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 9 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของ 3 ชิ้นตัวอย่าง ที่อัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดียต่อกากสีผง 66.70:33.30 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46 พบว่า อัตราการดูดซึมน้ำของชิ้นตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 คือ 27.70 24.70 และ 24.20 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM C 37-88 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเกินมาตรฐาน แสดงว่า ชิ้นตัวอย่างมีความพรุนตัวมาก ดังนั้น ควรมีการศึกษาตัวแปรอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว และระยะเวลาการบ่ม เป็นต้น

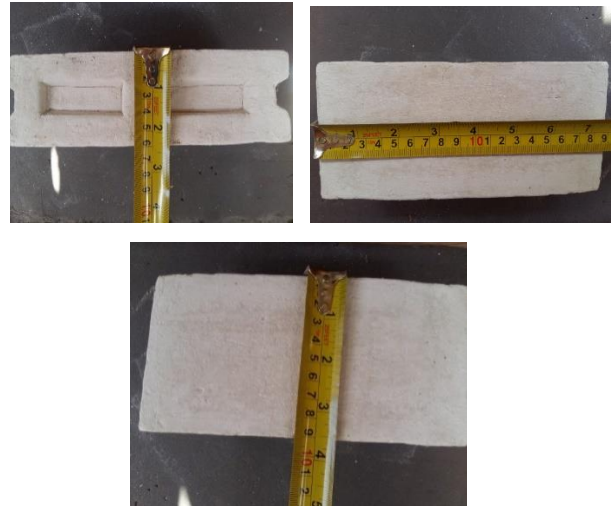


3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177 ของชิ้นตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดียต่อกากสีผง 66.70:33.30 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46 เท่ากับ 0.0892 W/(m•k) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอิฐ (Brick, Common) และคอนกรีตบล็อก (Concrete Blocks) คือ 0.72 และ 0.77 W/(m•k) ตามลำดับ [11] ดังนั้น วัสดุฉนวนโพลีเมอร์นี้เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุประเภทฉนวน เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าต่ำมาก

3.5 ทดสอบการขึ้นรูป

รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างการขึ้นรูปของวัสดุฉนวนโพลีเมอร์ ที่อัตราส่วนผสมของดินขาวอินเดียต่อกากสีผง 66.70:33.30 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซิลิเกต 1:2.46 โดยทดสอบการขึ้นรูปที่ขนาด 6x19x9 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูง) พบว่าสามารถขึ้นรูปได้ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเพื่อผลิตเป็นเชิงพาณิชย์ในอนาคต



รูปที่ 10 การดูซึมของน้ำเมื่อเปรียบเทียบ 3 ชิ้นตัวอย่าง

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตวัสดุฉนวนโพลีเมอร์จากส่วนผสมของดินขาวอินเดียและกากสีผง เพื่อเป็นวัสดุทางเลือก ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ลดค่าใช้จ่าย โดยการทดสอบเป็นตามหลักทฤษฎีและมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้อง ผลทดสอบพบว่า กากสีผงมีองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาและอะลูมินา เมื่อผสมกับดินขาวอินเดีย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโซเดียมซิลิเกตในสัดส่วนที่เหมาะสม พบว่าสามารถขึ้นรูปได้ มีค่ากำลังรับแรงอัดสูง ในขณะที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่น ๆ จึงเหมาะสำหรับผลิตเป็นวัสดุประเภทฉนวน ผลการทดสอบการดูดซึมของน้ำ พบว่ามีค่าเกินมาตรฐานเล็กน้อย ควรศึกษาเพิ่มเติมและปรับปรุงให้อยู่ในเกณฑ์

5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เชียงใหม่ และข้อมูลเชิงวิชาการจากบริษัท โจตันไทย จำกัด

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thasanaraphan T. Life cycle assessment of portland cement production. Master thesis. Chulalongkorn University. Bangkok; 2000. thai.
- [2] Elumalai A, Ganesh GM, Gurumurthy K. An experimental study on performance of bacillus pumilus KC845305 and bacillus flexus KC845306 in bacterial concrete. Journal of Applied Science and Engineering. 2020; 23(1):1-8.
- [3] Escalante- Garcia JI, Espinoza- Perez LJ, Gorokhovskiy A, Gomez-Zamorano LY. Coarse blast furnace slag as a cementitious material, comparative study as a partial replacement of Portland cement and as an alkali activated cement. Construction and Building Materials. 2009 Jul 1;23(7):2511-7.
- [4] Mehta PK. Greening of the concrete industry for sustainable development. Concrete international. 2002 Jul 1; 24(7):23-8.
- [5] Temuujin JV, Van Riessen A, Williams R. Influence of calcium compounds on the mechanical properties of fly ash geopolymer pastes. Journal of hazardous materials. 2009 Aug 15;167(1-3): 82-8.
- [6] Komnitsas K, Zaharaki D. Geopolymerisation: A review and prospects for the minerals industry. Minerals engineering. 2007 Nov 1;20(14):1261-77.
- [7] Duxson P, Fernandez-Jimenez A, Provis JL, Lukey GC, Palomo A, Van Deventer JSJ. Geopolymer: the current state of the art. Journal of materials Science. 2007 May;42(9):2917-33.
- [8] Granizo ML, Blanco-Varela MT, Martinez-Ramirez S. Alkali activation of metakaolins: parameters affecting mechanical, structural and microstructural properties. Journal of Materials Science. 2007 May;42(9):2934-43.
- [9] Lin KL, Shiu HS, Shie JL, Cheng TW, Hwang CL. Effect of composition on characteristics of thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass-metakaolin-based geopolymers. Construction and Building Materials. 2012; 36: 501-7.
- [10] Naskar S, Chakraborty AK. Effect of nano materials in geopolymer concrete. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.049>.
- [11] Yunus A. Cengel, Ghajar AJ. Heat and mass transfer : Fundamentals [and] applications. New York: McGraw-Hill; 2011. Appendix.

ชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง

Training Kit for the Performance of Optical

เอกชัย ไก่แก้ว^{1*} กิตติศักดิ์ คำผัด¹ วุฒิชัย คำมีสว่าง¹ ดำรงค์ สุพล² และทวี ไพภูมิภักดิ์²

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยเทคนิคแพร่

5 ถนนเหมืองหิต อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ 54000

² สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ วิทยาลัยอาชีวศึกษาแพร่

4 ถนนยันตรกิจโกศล อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ 54000

Ekkachai Kaikaew^{1*} Kittisak Khumpad¹ Wootichai Kammesawang¹ Damrong Supol² and Tawee Paikoompan²

¹Department of Information Technology, Phrae Technical College

5 Mueanghid Road, Mueang, Phrae, Thailand, 54000

²Department of Business Computer Program, Phrae Vocational College

4 Yantrakitkosol Road, Mueang, Phrae, Thailand, 54000

*ผู้รับผิดชอบบทความ: iven2.ek@gmail.com เบอร์โทรศัพท์ 09-1118-1119

Received: 15 November 2020, Revised: 18 June 2021, Accepted: 29 June 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง 2) เพื่อหาประสิทธิภาพชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง และ 3) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ในรายวิชาการเครือข่ายคอมพิวเตอร์ รหัส 3105-9004 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคแพร่ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาการเครือข่ายคอมพิวเตอร์ รหัส 3105-9004 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 35 คน โดยแบ่งเป็นกลุ่มทดลอง จำนวน 14 คน กลุ่มควบคุม จำนวน 21 คน ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ 1) แบบประเมินชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง 2) แบบทดสอบวัดสัมฤทธิ์ทางเรียน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทำการทดสอบสมมติฐานด้วยสถิติทดสอบ t-test (t-dependent) และ t-test (t-independent) ผลการวิจัย พบว่า 1) การพัฒนาชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง อยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยที่ 4.68 2) ชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพที่ 82.07/80.71 เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 3) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ ชุดฝึกสมรรถนะ ใยแก้วนำแสง งานสื่อสาร

Abstract

The purposes of this research were 1) to develop the fiber optic communication performance training kit, 2) to find the efficiency of the fiber optic communication performance training kit, and 3) to compare the post-learning achievement between the experimental group and the control group in computer networking system subject (Subject Code 3105-9004) in High Vocational Certificate, Office of the Vocational Education Commission.

The sample groups consisted of 35 students in the 1st year from the branch of Electronics at Phrae Technical College who enrolled in computer networking system subject for the academic year 2019. They were divided into 2 groups by simple random method which consisted of the experimental group of 14 students and the control group of 21 students. The instruments used for data collection were: 1) the evaluation form for the fiber optic communication performance training kit; 2) the learning achievement test. The statistics used to analyze the data were mean and standard deviation. The hypothesis was tested with t-test dependent and t-test independent statistics. The results of the research were as follows: 1) the development of the fiber optic communication performance training kit was in the highest levels. The average value was 4.68, 2) the developed fiber optic communication performance training kit was efficient at 82.07 / 80.71 which was according to the provided criteria, and 3) the post-learning achievement of the experimental group was significantly higher than the control group at 0.05.

Keywords: Performance Training set, Fiber Optic, Communication Work

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารของโลกในทุกวันนี้ได้พัฒนาเติบโตขึ้นทุกวัน เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตและระบบเครือข่าย ได้เข้ามามีบทบาทต่อการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก ในระบบการสื่อสารข้อมูลปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) มาใช้ในการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ เข้าด้วยกันทั้งเรื่องของความปลอดภัย ความครอบคลุมของการเชื่อมต่อ และความเร็ว การพัฒนาในด้านการศึกษาให้มีความเจริญก้าวหน้าทันกับเทคโนโลยีที่พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว กล่าวได้ว่าการศึกษาด้านเทคโนโลยีการสื่อสารสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงเป็นส่วนสำคัญ และจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรให้มีการเรียน การสอนเพื่อสามารถพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ความสามารถก้าวหน้าทันเทคโนโลยี ที่ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วตลอดจนระบบต่าง ๆ เช่น การซ่อมบำรุงรักษาระบบโครงข่ายการสื่อสาร ผู้ปฏิบัติงานต้องมีความเข้าใจในหลักการและขั้นตอนการทำงานในส่วนต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการปฏิบัติงาน การซ่อมบำรุงอุปกรณ์การประยุกต์ใช้งาน หรือใช้ประกอบในการเรียนขั้นสูงต่อไป

วิทยาลัยเทคนิคแพร่ เป็นสถานศึกษาในสังกัดสถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 2 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ ได้จัดการเรียนการสอนสายอาชีพประเภทวิชาช่างอุตสาหกรรม หลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)

ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) และระดับปริญญาตรีเทคโนโลยีหรือสายปฏิบัติการ (ทล.บ.) เพื่อป้อนเข้าสู่ตลาดแรงงานและสอดคล้องกับความต้องการของสถานประกอบการและเทคโนโลยีที่ทันสมัย สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ได้จัดการเรียนการสอนวิชาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ รหัสวิชา 3105-9004 ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2557 [1] โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจและมีทักษะเกี่ยวกับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ อันจะเป็นพื้นฐานในการประยุกต์ใช้กับวิชาชีพในสาขาอื่นต่อไป จากการสอบถามข้อมูลผู้สอนรายวิชาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ในด้านสภาพปัญหาในการจัดการเรียนการสอนและผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนหลังจาก การจัดการเรียนการสอน ที่ผ่านมา พบว่า 1) การเรียนการสอนภาคปฏิบัติ ขาดชุดฝึกที่มีลักษณะงานการฝึกปฏิบัติที่สอดคล้องกับเทคโนโลยีเครือข่ายที่มีในปัจจุบัน หรือที่มีอยู่ก็เป็นชุดฝึกระบบเครือข่ายแบบเดิมที่มีเครื่องคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกัน เก้าและชำรุดตามสภาพ 2) การเรียนการสอนในภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติผู้ทำหน้าที่สอนยังคงใช้ชุดฝึกเป็นแบบเก่าและวิธีการสอนแบบครูเป็นศูนย์กลางในการเรียนรู้ 3) สถานศึกษาจำนวนมากที่ยังขาดแคลนชุดฝึกใยแก้วนำแสงที่ทันสมัย เนื่องจากชุดทดลองมีราคาสูง บางสถานศึกษาไม่มีงบประมาณเพียงพอที่จะจัดซื้อ 4) ผลการเรียนรู้ในภาคปฏิบัติอยู่ในระดับต่ำและสถิติ

ผลการเรียนรายวิชาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์พบว่า นักเรียนมีผลการเรียนในระดับปานกลาง (เกรด 2) เป็นจำนวนมาก จากเหตุผลและปัญหาดังที่กล่าวมาทำให้ผู้วิจัยสนใจสร้างชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง เพื่อใช้สำหรับแก้ปัญหาสมรรถนะและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาดังกล่าว

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Networking System) หมายถึงการนำคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้ข้อมูล โปรแกรมหรืออุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ บางชนิดใช้งานร่วมกันได้เช่น Printer, Hard disk, CD ROM, Scanner เป็นต้น การเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน จะใช้สายเคเบิล สายใยแก้วนำแสง หรือดาวเทียม และจะต้องมีตัวกลางเชื่อมต่อเครือข่ายงาน (Network Adapter) และอุปกรณ์ประกอบอีกหลายชนิด ซึ่งยังมีโปรแกรมระบบปฏิบัติการเครือข่ายหรือ NOS (Network Operating System) ซึ่งจะทำหน้าที่เกี่ยวกับการจัดการ การใช้งานเครือข่าย ของผู้ใช้งานเครือข่ายแต่ละคนหรือเป็นตัวจัดการและควบคุมการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ของเครือข่าย การใช้ประโยชน์ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ด้านต่าง ๆ เช่น

- 1) การใช้ทรัพยากรในระบบร่วมกัน (Sharing)
- 2) การแชร์ไฟล์ (File Sharing)
- 3) การติดต่อสื่อสาร (Communication)
- 4) การใช้อินเทอร์เน็ตร่วมกัน (Internet Sharing)

การแบ่งระบบเครือข่ายตามขนาด การแบ่งรูปแบบนี้จะดูขนาดการครอบคลุมพื้นที่เป็นสำคัญ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะดังนี้

- 1) ระบบเครือข่ายขนาดเล็ก (Local Area Network: LAN)
- 2) ระบบเครือข่ายเมือง (Metropolitan Area Network: MAN)
- 3) ระบบเครือข่ายบริเวณกว้าง (Wide Area Network: WAN)

การจำแนกระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ตามระดับความปลอดภัยของข้อมูล [2] จำแนกได้ดังนี้

- 1) ระบบเครือข่ายอินทราเน็ต (Intranet)
- 2) ระบบเครือข่ายเอ็กสทราเน็ต (Extranet)
- 3) อินเทอร์เน็ต (Internet)

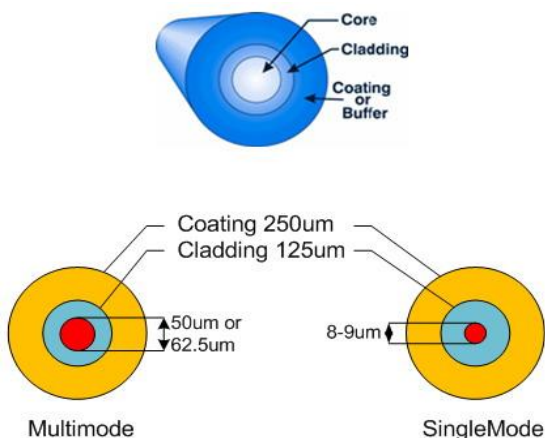
2.1.2 ใยแก้วนำแสง หรือ ไฟเบอร์ออปติก (Fiber Optic)

ไฟเบอร์ออปติก (Fiber Optic) ผลิตจากแก้วหรือพลาสติกคุณภาพสูง มีความยืดหยุ่นและโค้งงอได้ มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 8 -10 ไมครอน (10 ไมครอน = 10 ในล้านส่วนของเมตร = 10×10^{-6} = 0.00001 เมตร = 0.01 มิลลิเมตร) ซึ่งเล็กกว่าเส้นผมที่มีขนาด 40-120 ไมครอน ใยแก้วนำแสงทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งแสงจากปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง ด้วยความเร็วเกือบเท่าแสง เมื่อนำมาใช้ในการสื่อสารเครือข่าย จึงทำให้การส่ง-รับข้อมูลได้รวดเร็ว รับ-ส่งข้อมูลในระยะทางได้มากกว่า 100 กิโลเมตร และเนื่องจากใช้แสงเป็นตัวนำส่งข้อมูล จึงทำให้สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก ไม่สามารถรบกวนการส่งข้อมูลได้ ใยแก้วนำแสงจึงถูกนำมาใช้แทนตัวกลางอื่น ๆ ในการส่งข้อมูล เส้นใยแก้วนำแสงมีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือส่วนที่แสงเดินทางผ่าน เรียกว่า Core และส่วนที่หุ้ม Core อยู่เรียกว่า Cladding ทั้ง Core และ Cladding เป็น Dielectric สี 2 ชนิด โดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ Cladding มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีการหักเหของ Core เล็กน้อยประมาณ 0.2-3% และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสง สามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน Core เดินทางไปได้และกล่าวกันว่าเส้นใยแก้วนำแสงนั้นมีขนาดเล็กมากมีขนาดเท่าเส้นผม ซึ่งหมายความว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของ Cladding จะมีขนาดประมาณ 0.1 มิลลิเมตร ส่วน Core ที่แสงเดินทางผ่านนั้น มีขนาดเล็กลงไปอีกคือประมาณหลาย ไมโครเมตร จนถึงหลายสิบลไมโครเมตร (1 ไมโครเมตร = 10^{-3} มิลลิเมตร) ซึ่งมีค่าหลายเท่าของความยาวคลื่นของแสงที่ใช้งานค่าต่าง ๆ เหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่งและคุณสมบัติทางเมคานิกส์ที่ต้องการ เส้นใยแก้วนำแสงนอกจากมีคุณสมบัติการส่งดีเยี่ยมแล้วยังมีลักษณะเด่นอย่างอื่นอีกเช่น ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา [3]

สายใยแก้วนำแสงมี 2 ชนิด คือ แบบ Multi-Mode (MM) และแบบ Single-Mode (SM) ทั้งสองชนิดนี้มีแตกต่างของคือขนาดของเส้นใยแก้วนำแสงหรือที่เรียกว่า Core [4]

Multi-Mode (MM) ออปติคเคเบิลมีสีส้ม โยแก้วนำแสง บอกลักษณะ 50/125 หมายถึง ขนาด Core มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ไมครอน ขนาดเปลือกหุ้มเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 ไมครอน เนื่องจากมีขนาด Core ใหญ่ ทำให้แสงที่เดินทางกระจาย ทำให้แสงเกิดการหักล้างกัน จึงมีการสูญเสียของแสงมาก จึงส่งข้อมูลได้ไม่ไกลเกิน 200 เมตร ความเร็วก็ไม่เกิน 100 ล้านบิตต่อวินาที ที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร เหมาะสำหรับใช้ภายในอาคารเท่านั้น แต่มีข้อดีก็คือ ราคาถูกเพราะ Core มีขนาดใหญ่ สามารถผลิตได้ง่ายกว่า ดังรูปที่ 1

Single-Mode (SM) ออปติคเคเบิลเป็นสีเหลือง โยแก้วนำแสงบอกลักษณะ 9/125 หมายถึง ขนาด Core มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 ไมครอน ขนาดเปลือกหุ้มเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 ไมครอน เมื่อ Core มีขนาดเล็กมาก ทำให้แสงเดินทางเป็นระเบียบขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียลดลง ความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดประมาณ 2,500 ล้านบิตต่อวินาทีต่อหนึ่งความยาวคลื่นแสงที่ 1300 นาโนเมตร ด้วยระยะทางไม่เกิน 20 กิโลเมตร ระยะทางในการใช้งานจริงได้ถึง 100 กิโลเมตร แต่ความเร็วจะลดลง แต่ไม่ต่ำกว่า 1,000 ล้านบิตต่อวินาที ข้อดีของ SM อีกอันหนึ่งก็คือ มันจะทำงานที่ความยาวคลื่นที่ 1300 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่มีการลดทอนแสงน้อยที่สุด [4] [5] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โยแก้วนำแสง แบบ multi - mode (MM) และแบบ Single - mode (SM)

2.1.3 สวิตช์ (Switch)

เป็นอุปกรณ์ในระบบ Computer Network เช่นเดียวกับ Hub ทำหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์อื่น ๆ เข้าด้วยกันในระบบ โดยอาศัยการทำ Packet Switching ซึ่งจะรับประมวลผล

และส่งข้อมูลต่อไปยังปลายทาง เพียงแค่หนึ่ง หรือ หลาย Port ไม่ใช้การ Broadcast ไปทุก Port เหมือนกับ Hub Switch จะมีด้วยกันหลาย Port มีการระบุที่อยู่ (Address) ประมวลผลก่อนที่จะส่งข้อมูลต่อไปในระดับ Data Link Layer (Layer 2) ใน OSI Model บาง Switch สามารถประมวลผลในระดับ Network Layer (Layer 3) ซึ่งจะเป็นความสามารถในการทำ Routing มักจะใช้งานกับ IP Address เพื่อทำ Packet Forwarding เรามักจะเรียกว่า L3 - Switch หรือ Multilayer Switch [2] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Switch

Network Switch มีบทบาทใน Ethernet Local Area Networks (LANs) อย่างมาก ตั้งแต่ระบบ ขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ LAN จะประกอบด้วย Switch จำนวนหนึ่ง ที่ทำหน้าที่จัดการระบบ network เช่น Small Office/Home Office (SOHO) อาจจะใช้ Switch เพียงตัวเดียว รวมถึง Office ขนาดเล็ก หรือ ที่พักอาศัย ซึ่งสุดท้ายแล้วอาจจะนำไปเชื่อมต่อกับ Router เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อ Internet หรือ ทำ Voice over IP (VoIP)

2.1.4 เราเตอร์ (Router)

เราเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระบบเครือข่ายอย่างหนึ่ง ซึ่งถ้าแปลความหมายคำว่า Router หมายถึง เส้นทางนั่นเอง ดังนั้น การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ด้วย Router ทำให้เราสามารถเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ได้มากกว่าหนึ่งเครื่องในเวลาเดียวกัน ซึ่ง Router นั้นจะมีซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานเรียกว่า Internetwork Operating System (IOS) และตัว Router จะมีช่องที่ใช้เสียบต่อสายสัญญาณเรียกว่า Port LAN ซึ่งโดยทั่วไปมักมี 4 Ports หรือมากกว่า ใน Router 1 ตัว Router มีหน้าที่หาเส้นทางในการส่งผ่านข้อมูลที่ดีที่สุด และเป็นตัวกลางในการส่งต่อข้อมูล

ไปยังเครือข่ายอื่นและ สามารถเชื่อมโยงเครือข่ายที่ใช้สื่อสัญญาณหลายแบบแตกต่างกันได้ไม่ว่าจะเป็น Ethernet, Token Ring หรือ FDDI ทั้ง ๆ ที่ในแต่ละระบบจะมี Packet เป็นรูปแบบของตนเองซึ่งแตกต่างกัน โดยโปรโตคอลที่ทำงานในระดับบนหรือ Layer 3 ขึ้นไปเช่น IP, IPX หรือ AppleTalk เมื่อมีการส่งข้อมูลก็จะบรรจุข้อมูลนั้นเป็น packet ในรูปแบบของ Layer 2 คือ Data Link Layer เมื่อ Router ได้รับข้อมูลมาก็จะตรวจดูใน packet เพื่อจะทราบว่าใช้โปรโตคอลแบบใด จากนั้นก็จะตรวจดูเส้นทางส่งข้อมูลจากตาราง Routing Table ว่าจะต้องส่งข้อมูลนี้ไปยังเครือข่ายใดจึงจะต่อไปถึงปลายทางได้ แล้วจึงบรรจุข้อมูลลงเป็น Packet ของ Data Link Layer

2.2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.2.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

1) หลักสูตรรายวิชา วิชาการระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ รหัส 3105-9004 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

2) ศึกษาหลักการพัฒนาสื่อการสอน ให้บทเรียนมีความน่าสนใจและชวนให้ติดตาม จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ตำรา หนังสือเรียน สื่อออนไลน์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3) ศึกษาการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การหาประสิทธิภาพของชุดฝึก และความรู้เกี่ยวกับสมรรถนะวิชา

2.2.2 สูตรและสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

1) สูตรการคำนวณ ค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ [6]

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

2) สูตรการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(Standard Deviation) [6]

$$S.D. = \sqrt{\frac{n\sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (2)$$

3) สูตรที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพ ค่าเฉลี่ยของคะแนนกระบวนการเรียนรู้ ระหว่างเรียน (E_1) และ ค่าเฉลี่ยของคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน (E_2) [7]

$$E_2 = \frac{\left[\frac{\sum x}{N} \right]}{A} \times 100 \quad (3)$$

$$E_2 = \frac{\left[\frac{\sum x}{N} \right]}{B} \times 100$$

2.2.3 สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

1) เปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนวิชาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ใช้กลุ่มเดียวกัน โดยใช้ t-test (t-dependent) [6]

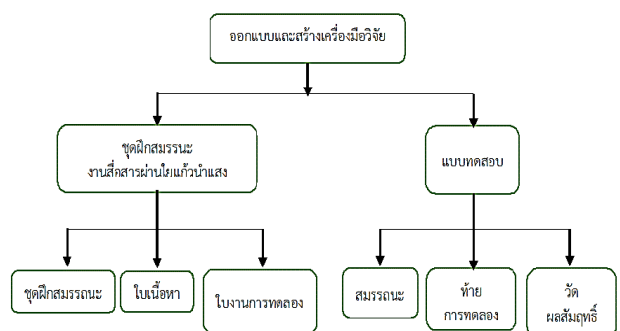
$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{\sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}} \quad (4)$$

2) เปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยหลังเรียนวิชาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยใช้ t-test (t-independent) [6]

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\left[\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2} \right] \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]}} \quad (5)$$

2.2.2 ออกแบบและสร้างเครื่องมือวิจัย

การออกแบบและสร้างเครื่องมือวิจัยสำหรับงานวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1 ชุดฝึกสมรรถนะประกอบด้วยชุด ฝึกสมรรถนะ ใบเนื้อหา ใบงานการทดลอง ส่วนที่ 2 คือแบบทดสอบ ประกอบด้วย แบบทดสอบสมรรถนะแบบทดสอบท้ายการทดลองและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากเรียนครบทุกหน่วยการเรียนรู้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการออกแบบและสร้างเครื่องมือวิจัย

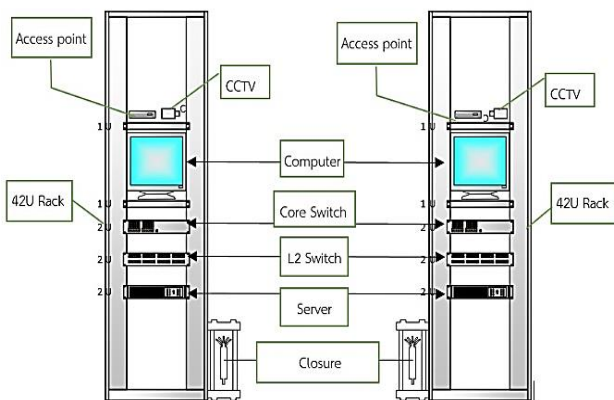
2.2.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2.2.3.1 ประชากรของการวิจัยได้แก่ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 2 สังกัดคณะกรรมการการอาชีวศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ รหัส 3105-9004 จำนวน 2 ห้องเรียน มีนักศึกษาทั้งหมด 35 คน

2.2.3.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคแพร่ ที่ลงทะเบียนเรียนในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ รหัส 3105-9004 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 2 ห้องเรียนรวมจำนวน 35 คน โดยการสุ่มอย่างง่าย และใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยสุ่ม มีขั้นตอนดังนี้ 1) สุ่มห้องเรียนมา 2 ห้องจากทั้งหมด 8 ห้อง โดยวิธีการจับสลาก 2) สุ่มเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยวิธีการจับสลาก จาก 2 ห้อง คือ ห้องเรียนที่ 1 เป็นกลุ่มทดลองจำนวน 14 คน ใช้วิธีการเรียนการสอนด้วยชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง และห้องเรียนที่ 2 เป็นกลุ่มควบคุมจำนวน 21 คน ใช้วิธีการเรียนการสอนด้วยวิธีปกติ

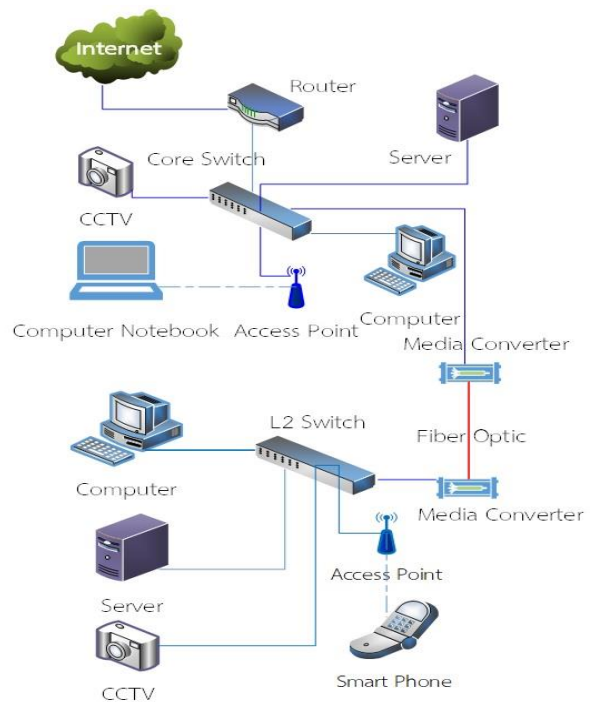
2.5 ออกแบบและสร้างชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง

การออกแบบวงจรชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง โดยกำหนดตำแหน่งการติดตั้งและการวางอุปกรณ์ประกอบด้วย Server, L2 Switch, Core Switch, Computer กล้อง CCTV และอุปกรณ์กระจายสัญญาณ Access Point อุปกรณ์จะถูกติดตั้งในตู้ RACK ขนาด 42U ทั้ง 2 ตู้แล้วนำแบบไปให้ผู้เชี่ยวชาญ ตรวจสอบ หลังจากนั้นทำการประกอบและติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ และให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้อง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการออกแบบชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง

การออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์เครือข่าย โดยเชื่อมต่ออุปกรณ์ ประกอบด้วย Server, L2 Switch, Core Switch, Computer กล้อง CCTV และ Access Point โดยการจำลองการเชื่อมต่อเป็นลักษณะ 2 อาคารเชื่อมต่อกันผ่านสายใยแก้วนำแสงซึ่งใช้ Media Converter เป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณจากสายใยแก้วนำแสงเป็นสาย LAN ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์เครือข่าย

การออกแบบสร้างใบงานการทดลองได้นำเอาสมรรถนะงานย่อยจำนวนทั้ง 16 สมรรถนะ มากำหนดเนื้อหาและหัวข้อเรื่องแล้วนำมาสร้างใบงานการทดลอง โดยกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่ผู้เรียนสามารถที่จะปฏิบัติได้ และผู้สอนสามารถวัดและสังเกตได้ เมื่อได้วัดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมแล้ว ก็สามารถจะกำหนดและออกแบบได้ว่าจะทำให้นักศึกษาทำการทดลองอย่างไร เพื่อให้ครอบคลุมกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งไว้นอกจากนี้ในใบงานการทดลองยังประกอบด้วย รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนการปฏิบัติงานและคำถามท้ายการทดลอง มีใบงานการทดลองทั้งหมดจำนวน 5 ใบงาน ดังนี้

- 1) การเข้าหัวแบบ Fast connector
- 2) การเชื่อมต่อระบบภาพ (CCTV)
- 3) การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (Internet)

4) การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN)

5) การเชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสงแบบหลอมละลาย

2.6 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการทดสอบด้วยแบบทดสอบทางการเรียนก่อนเรียน ใช้เวลาในการทดสอบจำนวน 1 ชั่วโมง

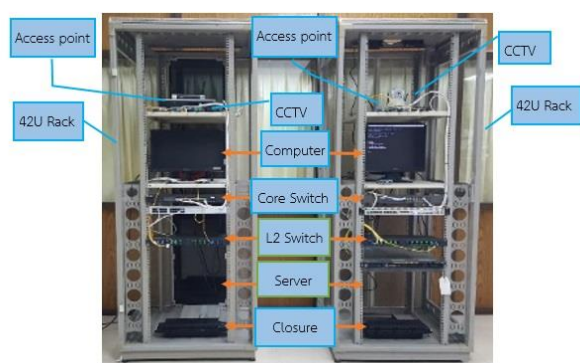
ให้นักศึกษากลุ่มควบคุมจำนวน 21 คน ใช้วิธีการเรียนการสอนด้วยวิธีปกติ และนักศึกษากลุ่มทดลอง จำนวน 14 คน ที่ใช้วิธีการเรียนการสอนด้วยชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง จำนวน 5 เรื่อง โดยทั้ง 2 กลุ่มใช้ใบเนื้อหาใบงานการทดลอง แบบทดสอบ คำถามท้ายการทดลองและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ ในวิชาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ รหัสวิชา 3105-9004 ที่ผู้เรียนศึกษาและปฏิบัติตลอดหลักสูตร

เมื่อสิ้นสุดการเรียนรู้จากการเรียนการสอนประกอบการฝึกปฏิบัติ ด้วยชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงครบทุกหน่วยการเรียนรู้ จึงให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบหลังเรียน (Post Test) โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังจากนั้นนำค่าเฉลี่ยของคะแนนกระบวนการเรียนรู้ระหว่างเรียนของกลุ่มทดลอง และค่าเฉลี่ยของคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน ของกลุ่มทดลอง มาการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพ E_1/E_2 [7]

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

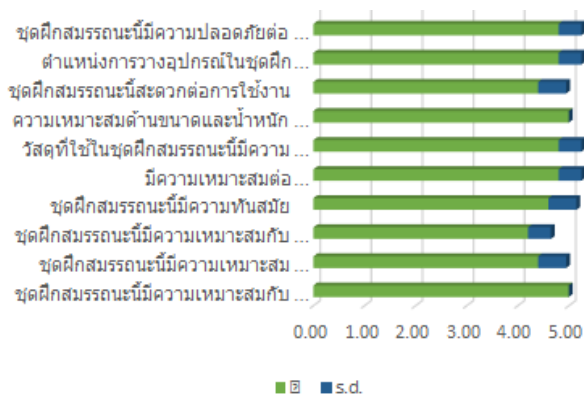
3.1 ผลการพัฒนาชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง

ผลการพัฒนาชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงทำการติดตั้งการวางอุปกรณ์เครือข่ายและเชื่อมต่อตามที่กำหนดแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การพัฒนาชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง

ผลการวิเคราะห์ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจากการออกแบบและพัฒนาชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง โดยผู้เชี่ยวชาญ มีผลการวิเคราะห์ระดับความคิดเห็นภาพรวม อยู่ในเกณฑ์ระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.68$ S.D.=0.39) แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

3.2 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง โดยกลุ่มทดลอง ได้จากกระบวนการเรียนรู้ระหว่างเรียนและทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียน มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คะแนนจากกระบวนการเรียนรู้ระหว่างเรียนและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของกลุ่มทดลอง

ที่มาของคะแนน	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
กระบวนการเรียนรู้ระหว่างเรียน	82.07
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียน	80.71

จากตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาคะแนนที่ได้จากการเรียนรู้ระหว่างเรียน มีค่าเท่ากับ 82.07 และคะแนน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ มีค่าเท่ากับ 80.71 สรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของชุดฝึกสมรรถนะที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมี ประสิทธิภาพที่ระดับ 82.07/80.71 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 และเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

3.3 ผลการเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยหลังเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

ผลวิเคราะห์การเปรียบเทียบคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มทดลอง โดยใช้สถิติทดสอบ t-test (t-dependent) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ย ก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มทดลอง

คะแนน	n	$\bar{X}$	S.D.	t	df	Sig.
ก่อนเรียน	14	22.21	2.22	28.39	13	0.000*
หลังเรียน	14	42.00	4.31			

*p < 0.05

จากตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียนของกลุ่มทดลองที่ใช้วิธีการเรียนการสอนด้วยชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านไย แก้วนำแสง มีค่าเฉลี่ยคะแนนหลังเรียนเท่ากับ 42.00 และค่าเฉลี่ยก่อนเรียนเท่ากับ 22.21 พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลวิเคราะห์การเปรียบเทียบคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ย ก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุม โดยใช้สถิติทดสอบ t-test (t-dependent) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุม

คะแนน	n	$\bar{X}$	S.D.	t	df	Sig.
ก่อนเรียน	21	22.04	2.63	14.47	20	0.000*
หลังเรียน	21	31.14	2.57			

*p < 0.05

จากตารางที่ 3 การเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุม ที่ใช้วิธีการเรียนการสอนด้วยวิธีปกติ มีค่าเฉลี่ยคะแนนหลังเรียนเท่ากับ 31.14 และค่าเฉลี่ยก่อนเรียนเท่ากับ 22.04 พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยหลังเรียนระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม โดยใช้สถิติทดสอบ t-test (t-independent) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

กลุ่ม	n	$\bar{X}$	S.D.	t	df	Sig.
ทดลอง	14	42.00	4.31	9.34	33	0.000*
ควบคุม	21	31.14	2.57			

*p < 0.05

จากตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยหลังเรียนของกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม

กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 42.00 กลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 31.14 พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนของกลุ่มทดลองที่ใช้วิธีการเรียนการสอนด้วยชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านไย แก้วนำแสง สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ใช้วิธีการเรียนการสอนด้วยวิธีปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3.3 อภิปรายผล

3.3.1 การพัฒนาชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านไย แก้วนำแสง

ผลการวิเคราะห์ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญต่อชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านไย แก้วนำแสง ดำเนินการตรวจสอบ คุณภาพด้วยแบบประเมินชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านไย แก้วนำแสง โดยมีระดับความคิดเห็น มีค่า $\bar{X}$ 4.55, S.D. = 0.59 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับคุณภาพมากที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของใบงานการทดลองต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยออกแบบสร้างและประกอบลงในชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านไย แก้วนำแสง เพื่อให้การทำงานของชุดฝึกสมรรถนะเป็นไปตามข้อกำหนดอย่างสมบูรณ์ โดยวิธีการเชื่อมต่อ การทดสอบด้วยเครื่องมือและชุดคำสั่ง ตามจุดที่กำหนดไว้ จากการทดสอบประสิทธิภาพต่อการทำงาน ของชุดฝึกสมรรถนะ เมื่อพบข้อบกพร่องก็ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขแต่ละรายการให้สมบูรณ์ถูกต้องทั้งหมดอีกครั้ง และในการทดลองครั้งที่ 2 ของการทดสอบประสิทธิภาพต่อการทำงานตามข้อกำหนดหลังจากมีการแก้ไขปรับปรุงการทำงานชุดฝึกสมรรถนะสมบูรณ์แล้วทุกจุด สอดคล้องกับ สัญญาโพธิ์วังษ์ [8] มีผลการวิเคราะห์ทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงาน ร้อยละ 100

3.3.2 การหาประสิทธิภาพของชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านไย แก้วนำแสง

ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการเรียนรู้ระหว่างเรียนและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังเรียน ตามในเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 มีค่าเท่ากับ 82.07/80.71 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ผู้วิจัย ได้นำผลการวิจัยได้นำผลการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุงพัฒนาชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านไย แก้วนำแสงให้มีความถูกต้องสมบูรณ์เหมาะสมกับสภาพการจัดการเรียนการสอนซึ่งสอดคล้องกับ ฉลองวุฒิ ศรีทองบริบูรณ์ [9] ที่ได้สร้างและหาประสิทธิภาพชุดฝึกทักษะปฏิบัติ วิชาการเครื่องมือกลเบื้องต้น เรื่องงานตัด งาน เจียรระโน และ

งานเจาะ ด้วยกระบวนการสอนรูปแบบ MIAP มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 ผลการวิจัยพบว่า ค่าประสิทธิภาพชุดฝึกทักษะปฏิบัติ เท่ากับ 81.02/80.08 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 80/80

3.3.3 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยหลังเรียนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

ผลการเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยของกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 42.00 และกลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 31.14 พบว่า ค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลอง สูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ผู้วิจัยได้ออกแบบสร้างและพัฒนาชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง ที่ประกอบด้วย ชุดฝึกสมรรถนะ ใบเนื้อหา ใบงานการทดลอง ที่ผ่านการออกแบบและพัฒนาอย่างเป็นอย่างดี อีกทั้งมีผู้เชี่ยวชาญคอยให้คำแนะนำปรึกษาจนได้ชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงที่มีประสิทธิภาพ มาใช้ในการจัดการเรียนการสอนสอดคล้องกับ ไพโรบลย์ กุลด้วง และคณะ [10] ได้ศึกษาบทเรียนผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อการฝึกอบรมที่มีชุดโปรแกรมจำลองเสมือนจริง เรื่องการควบคุมระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรมด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ผลการศึกษาสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของการฝึกอบรมบนเว็บด้วยโปรแกรมจำลองสมองกลฝังตัวในระบบควบคุมไฟฟ้าอุตสาหกรรมโดย PLC เท่ากับ 86.00/ 85.41 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่ 80/80 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มวิชาที่เรียน ด้วยการฝึกอบรมบนเว็บด้วยโปรแกรมจำลองแบบฝังตัวในระบบควบคุมไฟฟ้าอุตสาหกรรมโดย PLC นั้นสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญผู้ที่เรียนรู้อยู่ด้วยการฝึกอบรมบนเว็บโดยไม่ใช้โปรแกรมจำลองแบบฝังตัวที่ระดับ 0.05

4.บทสรุป

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้ผู้เรียนมีผลการเรียนที่สูงขึ้น ในรายวิชาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ รหัส 3105-9004 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคแพร่ โดยใช้ชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นดังนี้ 1) ออกแบบจำลองการสื่อสารระบบเครือข่ายระหว่าง อาคาร 2 อาคาร โดยทำการติดตั้งและการวางอุปกรณ์เครือข่ายชนิดต่าง ๆ เชื่อมต่อเป็น

ระบบ LAN ภายในอาคาร ระหว่าง 2 อาคารจะถูกเชื่อมต่อโดยใช้สายใยแก้วนำแสง การออกแบบใบเนื้อหา ใบงานการทดลอง ได้นำสมรรถนะงานย่อยจำนวน 16 สมรรถนะงานย่อยนำมาใส่ในใบงานการทดลองจำนวน 5 ใบงานและนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินชุดฝึกสมรรถนะ มีผลการประเมินอยู่ในระดับมากที่สุด เป็นเพราะว่าให้ผู้เชี่ยวชาญคอยตรวจสอบและให้คำแนะนำ 2) การหาประสิทธิภาพของชุดฝึกโดยใช้กลุ่มตัวอย่างจากการสุ่มเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยกลุ่มทดลองใช้วิธีการเรียนการสอนด้วยชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง กลุ่มควบคุมใช้วิธีการเรียนการสอนด้วยวิธีปกติแบบเดิม ผลการหาประสิทธิภาพชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสงของกลุ่มทดลองมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่ตั้งไว้ 3) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม นักศึกษากลุ่มทดลองที่ใช้วิธีการเรียนการสอนด้วยชุดฝึกสมรรถนะงานสื่อสารผ่านใยแก้วมีคะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยของสูงกว่านักศึกษา กลุ่มควบคุมที่ใช้วิธีการเรียนการสอนด้วยวิธีปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการให้ความช่วยเหลือแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธี อักษรกิตติ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัตน์ อัครวานวิตร รองศาสตราจารย์ ดร.มิชัย โลหะการ อาจารย์ไพโรจน์ พอใจ อาจารย์สัญญา โพธิ์วงษ์ และคุณชัชวาลย์ วัฒนพันธ์ วิศวกรระดับ 8 บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ที่ได้กรุณาที่ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นตรวจสอบแก้ไขงานวิจัยและรองศาสตราจารย์ ดร.ปาริชาติ บัวเจริญ ให้คำแนะนำตรวจสอบเครื่องมือและสถิติงานวิจัยครั้งนี้และผู้อำนวยการ คณะครู เจ้าหน้าที่ วิทยาลัยเทคนิคแพร่ ที่อำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ รวมทั้งนักศึกษาที่เข้าร่วมงานในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยจึงขอ กราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bureau of Vocational Education Standards. Diploma Courses, B.E. 2014: Available from: [http://bsq2.vec.go.th/course/Vocational/Vocational 7 / course5 7 .html](http://bsq2.vec.go.th/course/Vocational/Vocational%207/course57.html) [Accessed December 21, 2019]
- [2] Jatuchai Pangchan. Network System 2nd Edition. Nonthaburi: IDC Infographic Center. 2008.Thai.
- [3] Optical Fiber: Available from: <https://th.wikipedia.org/wiki/OpticalFiber> [Accessed December 21, 2019]
- [4] Somboon Teeravisitphong. Fiber Optic Communication Fiber Optic Communication. Bangkok: Triple Group. 2012.Thai.
- [5] Poonyawee Chamjarikul. Optical fiber communication system. Bangkok: Chulalongkorn University Press. 2007.Thai.
- [6] Luan Saiyot and Angkhana Saiyot. (2010). Educational research techniques. Edition 11. Bangkok: Suveiriyasarn.Thai.
- [7] Chaiyong Promwong. Testing media efficiency or teaching series. Silpakorn Education and Research Journal. Year 5 No. 1 (January - June 2013).
- [8] Sanya Pho Wong. (2017). Development of an industrial electronic performance training kit. Board WD 81-84 Industrial Electronics subject code 2105-2111. Vocational Certificate Program, BE 2013. Office of Vocational Education Commission.
- [9] Charongwut Srithongboriboon. Develop a set of practical skills Introduction to machine tool work, cutting, grinding and drilling with MIAP teaching style for professional learner level. Silpakorn Educational Research Journal. Volume 12. Issue 1, 2020: pp.281-296.
- [10] Praiboon Kulduang, Sirirat PetSangsri and Chantana Wiriyavejkul. Web- Based Training with Embedded Simulator on Industrial Electrical Control System by Programmable Logic Controller (PLC). Journal of Industrial Education Minister. Vol.14 No.1 (2015)

การเลือกสถานที่ตั้งจุดรับซื้อและการจัดเส้นทางขนส่งยางพารา

The Selection of Depots Location and Vehicle Routing for Para-Rubber

สมศักดิ์ แก้วพลอย^{1*} สุจิตรา แก้วพลอย² และวัชนะชัย จุ่มผา³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

160 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถนนสกลมารค ตำบลศรีไค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

³ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
วิทยาเขตตะวันออก

131 ตำบลพลวง อำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี 22210

Somsak Kaewploy^{1*}, Sujittra Kaewploy² and Watchanachai Jumpa³

¹Department of Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University

160 Kanchanawanit Road, Khao Rup Chang, Muang, Songkhla, Thailand, 90000

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

85 Sathonlamark Road, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani, Thailand, 34190

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Agriculture Industrial Technology,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Chanthaburi Campus

131 Pluang, Khao Khitchakut, Chanthaburi, Thailand, 22210

*ผู้รับผิดชอบบทความ: somsakp@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 08-8832-8112

Received: 16 November 2020, Revised: 25 January 2021, Accepted: 18 June 2021

บทคัดย่อ

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจุดรับซื้อจัดสรรผู้ขายและการจัดเส้นทางขนส่งยางพารา ในอดีตไม่เคยมีวิธีการแก้ปัญหาอย่างจริงจัง และมีรูปแบบ ทำให้ผู้ขายยางพาราต้องแบกรับภาระด้านต้นทุนสูงในการขนส่ง บทความวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีเมตริกแบบประหยัด ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการขนส่งยางพาราของเกษตรกรชาวสวนยาง โดยคำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลการแก้ปัญหาดังกล่าวพบว่าเปิดจุดรับซื้อจำนวน 10 จุด จำแนกออกเป็นความจุขนาดเล็ก 3 จุด ความจุขนาดกลาง 5 จุด และความจุแบบไม่จำกัด 2 จุด ซึ่งสามารถลดต้นทุนการขนส่งจากเดิม 354,335.22 บาท/วัน ลดลงเหลือ 203,171 บาท/วัน คิดเป็นร้อยละ 42.7 ดังนั้นการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีเมตริกแบบประหยัดในการแก้ปัญหา จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางขนส่ง

คำหลัก ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดสรรงาน การจัดเส้นทางขนส่ง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Abstract

In the past, the location routing problems of Para-rubber was not properly studied for solutions. As a result, the rubber seller has to cover the transportation cost. In this research, a mathematics model is applied to

develop an algorithm for solving the problem which aims to reduce transportation cost while considering the economic worth. Results show that deploying a total of 10 depots which consists of 3 small-capacity depots, 5 middle-capacity depots and 2 unlimited-capacity depots can reduce the transportation cost from 354,335.22 baht/day down to 203,171 baht/day or 42.7 percentage. In conclusion, the mathematics model and cost-saving algorithm are proven to be an attractive solution to the location routing problem.

Keywords: Location Allocation Problem, Vehicle Routing Problem, Mathematical Model

1. บทนำ

นับเป็นเวลากว่าศตวรรษหลังจากที่ประเทศไทยนำยางพาราเข้ามาปลูก จนเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศ โดยทรงความเป็นผู้นำในการผลิตและส่งออกยางพาราตลอดมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2534 พื้นที่ของภาคใต้ปลูกยางพารามากที่สุด รองลงมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกรวมภาคกลาง และภาคเหนือ ตามลำดับ การส่งออกยางพาราธรรมชาติของไทยส่งออกในรูปของวัตถุดิบผลิตภัณฑ์ยาง ไม่ยางพาราแปรรูปและผลิตภัณฑ์ไม้ คิดเป็นมูลค่า 678,942 ล้านบาทต่อปี สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรชาวสวนยาง ตลอดจนอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องมากมาย ยางพาราจึงมีบทบาทสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของเกษตรกรชาวสวนยางไทยกว่า 4 ล้านครอบครัว ซึ่งเป็นเกษตรกรรายย่อยมากกว่า 6 ล้านคน และเป็นสวนยางขนาดเล็กถึงร้อยละ 95 ของสวนยางทั้งหมดของประเทศ [1]

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการสร้างรายได้และความมั่นคงเกี่ยวกับชีวิตความเป็นอยู่ให้กับเกษตรกร โดยได้มีการจัดตั้งตลาดกลางยางพาราโดยให้มีการกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ ประกอบด้วย ตลาดกลางยางพารายะลา ตลาดกลางยางพาราสงขลา ตลาดกลางยางพารานครศรีธรรมราช ตลาดกลางยางพาราสุราษฎร์ธานี ตลาดกลางยางพาราบุรีรัมย์ และตลาดกลางยางพาราหนองคาย เพื่อเป็นศูนย์กลางในการรวบรวมยางและกระจายผลผลิตยางพาราไปยังผู้ซื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2]

ในความเป็นจริงแล้วระบบตลาดท้องถิ่นกลับมีอิทธิพลต่อตลาดการซื้อขายยางพาราเป็นอย่างมากนั่นคือเกษตรกรส่วนใหญ่จะนิยมขายยางพาราผ่านตลาดท้องถิ่น อันได้แก่ร้านค้ายางซึ่งกระจายอยู่ตามหมู่บ้าน ตำบลหรืออำเภอที่มีปริมาณการปลูกยางมาก ซึ่งการซื้อขายผ่านพ่อค้าคนกลางจะทำให้เกษตรกรถูกเอารัดเอาเปรียบและไม่ได้รับความเป็น

ธรรมในเรื่องราคา ทั้งนี้ปริมาณการซื้อขายยางในบางครั้งเกษตรกรมีปริมาณยางที่จะขายน้อยการจะไปส่งยางพารายังตลาดกลาง ถือเป็นเรื่องไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากจะมีต้นทุนในการขนส่งยางพาราเข้ามาเกี่ยวข้อง ในทางกลับกันหากเกษตรกรบางรายมีปริมาณยางพาราที่จะขายในปริมาณมาก รถกระบะเพียงคันเดียวที่มีความสามารถบรรทุกได้เต็มที่ไม่เกิน 3 ตัน อาจไม่สามารถบรรทุกได้เพียงเที่ยวเดียวซึ่งจะส่งผลให้เกิดต้นทุนในการขนส่งอันเป็นการลดรายได้ที่ควรจะได้รับของเกษตรกร

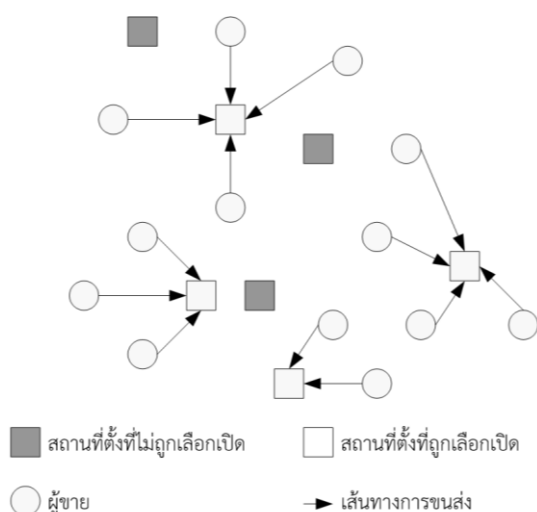
ด้วยความสำคัญของเกษตรกรชาวสวนยางที่รัฐบาลและตลาดกลางต้องให้การช่วยเหลือและแก้ปัญหาเพื่อให้เกิดความเป็นธรรม ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงได้ทำการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจุดรับซื้อและจัดเส้นทางขนส่ง โดยจัดเส้นทางยานพาหนะไปรับยางพาราจากผู้ขายยางพาราแต่ละรายมายังจุดรับซื้อ แทนที่ผู้ขายนำยางพาราไปขายยังตลาดกลางหรือพ่อค้าคนกลางหรือตลาดท้องถิ่น การขนส่งประเภทนี้จะช่วยลดการขนส่งที่ซ้ำซ้อนลงได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีการวางแผนการรับซื้อและการจัดเส้นทางขนส่ง ถือเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนมากกว่าปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งโดยทั่วไป นอกจากนี้ยังสามารถไปปรับใช้กับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบอื่น ๆ ได้อีกหลายรูปแบบ และที่ผ่านมายังมีผู้ศึกษาปัญหานี้ไม่มากนัก จึงนับเป็นปัญหาที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดจุดรับซื้อและการจัดสรรผู้ขายยางพารา ตลอดจนการจัดเส้นทางขนส่งของผู้ขายยางพาราไปยังจุดรับซื้อ ในพื้นที่ห้าจังหวัดชายแดนใต้ ประกอบด้วย จังหวัดสงขลา สตูล ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematics Model) และจัดเส้นทางด้วยวิธีแบบประหยัด (Saving Method)

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

ในการแก้ปัญหาของงานวิจัยฉบับนี้ เป็นการแก้ปัญหา 2 ระดับ คือระดับแรกเป็นการเลือกสถานที่ตั้งของจุดรับซื้อและการจัดสรรผู้ขายให้กับจุดรับซื้อ โดยใช้โปรแกรม Lingo ในการแก้ปัญหา จากนั้นระดับที่สองเป็นการจัดเส้นทางขนส่งของจุดรับซื้อให้กับผู้ขายอย่างพารา โดยใช้วิธีแบบประหยัด (Saving Method) ร่วมกับโปรแกรม Python

2.1 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดสรรผู้ขาย

สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งของจุดรับซื้อและการจัดสรรผู้ขาย (Location Allocation Problem; LAP) [3] เป็นปัญหาการขนส่งโลจิสติกส์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกสถานที่ตั้งของจุดรับซื้อ จากนั้นทำการจัดสรรผู้ขายอย่างพาราที่จะทำการรับหรือส่งไปยังจุดรับซื้อ เพื่อให้ระยะทางในการขนส่งสินค้ามีน้อยที่สุดและเพื่อให้ต้นทุนต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเลือกจุดรับซื้อและจัดสรรผู้ขายอย่างพารา

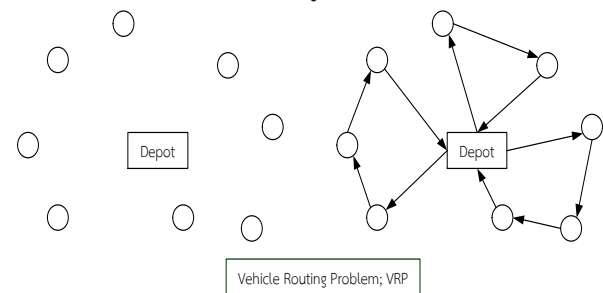
การเลือกสถานที่ตั้งของจุดรับซื้ออย่างพารา เมื่อผู้ขายอย่างพารา จะต้องนำพาราไปส่งขายให้กับตลาดกลางอย่างพารา โดยผู้ขายกระจายอยู่ตามหมู่บ้านต่าง ๆ ในแต่ละพื้นที่ของจังหวัด โดยตลาดกลางอย่างพารามีความจำเป็นต้องเปิดจุดรับซื้ออย่างพารา เพื่อให้ระยะทางในการเดินทางจากผู้ขายไปยังตลาดกลางอย่างพาราและจุดรับซื้อต่ำที่สุด

สาเหตุที่ทำให้สถานที่ตั้งของจุดรับซื้ออย่างพาราบางจุดไม่ได้เปิดเป็นจุดรับซื้ออย่างพารา เนื่องจากในการเปิดจุดรับซื้ออย่างพาราแต่ละจุดย่อมมีค่าใช้จ่ายทั้งค่าใช้จ่ายในการเริ่มต้น

สร้างจุดรับซื้ออย่างพารา และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน หากต้นทุนในการขนส่งไปยังจุดรับซื้ออย่างพาราที่เปิดทำการอยู่แล้วประหยัดกว่าค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของจุดรับซื้ออย่างพารานั้น ย่อมไม่ได้รับการพิจารณาให้เปิดเป็นจุดรับซื้ออย่างพารา

2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem; VRP) คือการกำหนดกลุ่มของเส้นทางการขนส่งจากจุดรับซื้อไปยังพาราจากผู้ขายแต่ละราย โดยที่ค่าใช้จ่ายหรือระยะทางในการขนส่งมีค่าต่ำที่สุด ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น เวลา จำนวนและขีดจำกัดของยานพาหนะ เป็นต้น [4-6] คำตอบที่ต้องการอยู่ในรูปจำนวนเต็ม (Integer) เท่านั้น หรือมีค่าเป็นไปได้เพียง 0 หรือ 1 คือพาหนะนี้จะเดินทางไป ($x=1$) หรือไม่เดินทางไป ($x=0$) ในเส้นทางนี้เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

การจัดเส้นทางขนส่งที่เหมาะสมสำหรับยานพาหนะนั้นจะมุ่งเน้นไปที่การหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการขนส่งพาราของผู้ขายอย่างพาราทุกรายด้วยยานพาหนะที่มีอยู่ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดในการดำเนินงาน เช่น ความจุของรถบรรทุก เวลาในการทำงานของพนักงาน เวลาในการขนส่ง เป็นต้น สำหรับตัวแปรสำคัญที่ใช้ในปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งจะประกอบไปด้วย 1) โครงข่ายถนน (Road Network) เป็นการเชื่อมต่อระหว่างผู้ขายแต่ละรายและตลาดกลางอย่างพารา 2) ยานพาหนะ (Vehicles) ทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายพาราระหว่างผู้ขายกับจุดรับซื้อหรือตลาดกลาง บนโครงข่ายถนน และ 3) ลูกค้า (Customer) หรือผู้ขาย (Seller) ผู้ที่ทำการขายพาราให้กับตลาดกลางหรือตลาดเครือข่าย

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem) เป็นปัญหาของการจัดการเพื่อหาจำนวนเส้นทางและลำดับของการเดินทางที่มีความเหมาะสมไปยังผู้ขายรายต่าง ๆ ในแต่ละเส้นทางและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือเป้าหมาย ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่สำคัญต่อการจัดเส้นทางเดินทางได้แก่ ข้อจำกัดในเส้นทาง (Route Capacities) และกรอบของเวลา (Time Window)

2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจุดรับซื้อและการจัดเส้นทางขนส่งยางพารา เป็นการแก้ปัญหา 2 ระดับ คือ ระดับแรกจะเป็นการเลือกสถานที่ตั้งของจุดรับซื้อและการจัดสรรผู้ขายยางพารา โดยการใช้โปรแกรม Lingo ในการแก้ปัญหา จากนั้นระดับที่สองเป็นการจัดเส้นทางขนส่งของจุดรับซื้อกับผู้ขายยางพารา โดยใช้วิธีแบบประหยัด (Saving Method) โดยใช้โปรแกรม Python

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ได้พัฒนาขึ้นสำหรับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งของจุดรับซื้อและการจัดสรรผู้ขายยางพาราไปยังจุดรับซื้อ ประกอบด้วยกลุ่มของดัชนี (Indices) พารามิเตอร์ (Parameters) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) สมการข้อช่วย (Constraints) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ดัชนี

i, j คือดัชนีของโหนดต่าง ๆ ของผู้ขายยางพาราจุดรับซื้อและตลาดกลางยางพารา j โดยที่ $j = 1$ คือตลาดกลางยางพาราสงขลา $j = 2$ คือตลาดกลางยางพารายะลา

l คือดัชนีของตลาดกลางยางพารา โดยที่ $l = 1$ คือตลาดกลางยางพาราสงขลา $l = 2$ คือตลาดกลางยางพารายะลา

a คือดัชนีขนาดจุดรับซื้อ

2) เซต

I คือเซตของตำแหน่งผู้ขายยางพารา โดยที่ $I = \{1, 2, \dots, 355\}$

J คือเซตของตำแหน่งที่สามารถเปิดจุดรับซื้อ โดยที่ $J = \{1, 2, \dots, 355\}$

L คือเซตของตำแหน่งตลาดกลางยางพาราโดยที่ $L = \{1, 2\}$, $LC \subset I$ และ $LC \subset J$

A คือเซตของตำแหน่งขนาดจุดรับซื้อ โดยที่ $A = \{1, 2, 3\}$

3) ตัวแปร

- ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameters)

E คือค่าน้ำมันเชื้อเพลิงของรถขนส่ง (บาท/กิโลเมตร*ตัน)

Q_i คือปริมาณยางพาราทั้งหมดที่มีอยู่ต่อวันของผู้ขายรายที่ i (ตัน/วัน)

D_{ij} คือระยะทางการขนส่งจากโหนด i ไปโหนด j (กิโลเมตร)

D^M กำหนดให้ระยะทางขนส่งยางพาราได้ไม่เกิน 480 กิโลเมตร (กำหนดความเร็วรถไม่เกิน 60 กม./ชม. ในเวลาปฏิบัติงาน 1 วัน (8 ชม.))

C_a คือปริมาณความสามารถในการรับยางพาราของขนาดจุดรับซื้อ a (ตัน/วัน)

M_a คือค่าเสื่อมราคาของขนาดจุดรับซื้อ a (บาท/วัน)

F_a คือค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการของจุดรับซื้อ a (บาทต่อวัน)

- ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variable)

$$Y_{ja} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการเปิดจุดรับซื้อยางพารา} \\ & \text{ที่จุด } j \text{ ขนาดจุดรับซื้อ } a \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

V_{ij} = ปริมาณยางพาราผู้ขายยางพาราที่ i ไปจุดรับซื้อหรือตลาดกลางที่ j (ตัน)

- ตัวแปรสนับสนุนการตัดสินใจ (Support Decision Variable)

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการเดินทางจากผู้ขายยางพาราที่ } i \\ & \text{ไปจุดรับซื้อหรือตลาดกลางที่ } j \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

4) สมการวัตถุประสงค์

$$\text{Min } Z = \left(\sum_{j \in J} \sum_{a \in A} Y_{ja} (F_a + M_a) \right) + E \left(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Z_{ij} D_{ij} \right) \quad (1)$$

5) สมการข้อช่วย

$$\sum_{j \in J} Z_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$2 * Z_{ij} D_{ij} \leq D^M \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3)$$

$$V_{ij} = Z_{ij} Q_i \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{a \in A} Y_{ja} \leq 1 \quad \forall j \in J, J \geq 3 \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} V_{ij} \leq \sum_{a \in A} Y_{ja} C_a \quad \forall j \in J, J \geq 3 \quad (6)$$

$$Z_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (7)$$

$$Y_{ja} \in \{0, 1\} \quad \forall a \in A, \forall j \in J \quad (8)$$

สมการที่ (1) คือสมการวัตถุประสงค์ที่มีเป้าหมายต้นทุนรวมต่ำสุด ประกอบด้วย ค่าเชื่อมการตั้งจุดรับซื้อ ค่าการขนส่งจากผู้ขายยางพาราไปจุดรับซื้อ สมการที่ (2) ผู้ขายยางพาราสามารถส่งได้เพียงหนึ่งจุดที่เปิดจุดรับซื้อหรือตลาดกลาง สมการที่ (3) ผู้ขายยางพาราสามารถส่งที่เปิดจุดรับซื้อหรือตลาดกลางไม่เกินระยะทางกำหนด สมการที่ (4) ปริมาณขนาดของยางพาราจากผู้ขายยางพารา i ไปจุดที่เปิดจุดรับซื้อหรือตลาดกลาง j สมการที่ (5) จุดที่เปิดจุดรับซื้อจะเลือกขนาดได้เพียงหนึ่งรูปแบบ สมการที่ (6) ปริมาณยางพาราที่รับจะไม่เกินขนาดของจุดรับซื้อที่เลือกเปิด สมการที่ (7) และสมการที่ (8) การกำหนดเขตการตัดสินใจแบบไบนารี

2.4 โปรแกรม LINGO

จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยได้ทำการเขียนขึ้นมา นั้น ได้ใช้โปรแกรม LINGO เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาในครั้งนี้ เนื่องจากการแก้ปัญหาที่ได้ผลลัพธ์อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งขนาดปัญหายังเป็นปัญหามิติขนาดเล็ก [7] จึงใช้โปรแกรม LINGO ในการแก้ปัญหา โดยองค์ประกอบของการเขียนตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 แสดงถึงการเขียนดัชนี (Index) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง (Parameter) ส่วนที่ 2 แสดงถึงการใส่ข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ และส่วนที่ 3 แสดงถึงสมการวัตถุประสงค์และสมการเงื่อนไข ต่าง ๆ ตามรูปแบบมาตรฐานทางคณิตศาสตร์ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นตั้งแต่สมการที่ 1-8 ตามลำดับ

2.5 วิธีเมตริกแบบประหยัด

ปี ค.ศ.1964 Clark and Wright นักวิจัยชาวอังกฤษ ได้นำเสนอการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีความต้องการของลูกค้าหลายรายและยานพาหนะมีความจุหลายขนาดส่งสินค้าออกจากคลังพัสดุแห่งเดียว โดยการพัฒนาขั้นตอนให้สามารถเลือกเส้นทางยานพาหนะที่เหมาะสมที่สุด และผลที่ได้จากการ

แก้ปัญหาวิธีนี้คือทำให้ทราบจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งและปริมาณสินค้าที่ขนส่งโดยยานพาหนะแต่ละคัน [8]

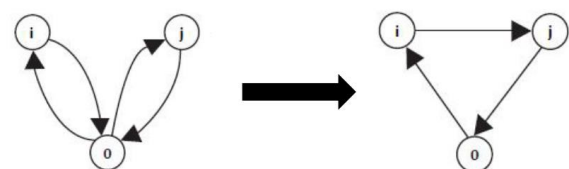
วิธีเมตริกแบบประหยัด (The Savings Matrix Method) โดยการจำลองระยะทาง เวลา หรือต้นทุนการขนส่ง ระหว่างคู่ของลูกค้าใด ๆ ด้วยเมตริก แล้วหาเมตริกการประหยัด (Savings Matrix) จากการรวบรวมลูกค้าคู่ใด ๆ เข้าด้วยกัน ขั้นตอนหลักในการใช้วิธี Savings คือ ขั้นตอนที่ 1 สร้าง Distance Matrix ขั้นตอนที่ 2 สร้าง Saving Matrix ขั้นตอนที่ 3 กำหนดลูกค้าให้กับยานพาหนะและเส้นทาง และขั้นตอนที่ 4 จัดลำดับลูกค้าในเส้นทาง ซึ่งสามขั้นตอนแรกใช้ในการกำหนดลูกค้าให้กับพาหนะ และขั้นตอนที่สี่ใช้ในการกำหนดเส้นทางยานพาหนะแต่ละคัน เพื่อให้ระยะทางที่ต้องเดินทางน้อยที่สุด

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขั้นตอนให้สามารถเลือกเส้นทางยานพาหนะที่เหมาะสม และผลที่ได้จากการแก้ปัญหาวิธีนี้คือทำให้ทราบจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง และปริมาณยางพาราที่ขนส่งโดยยานพาหนะแต่ละคัน โดยมีวิธีการดำเนินงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกจุดเริ่มต้นของจุดรับซื้อขึ้นมาหนึ่งจุดให้เป็นจุดที่หนึ่ง

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าของระยะทางในการขนส่งที่ประหยัด (Saving Cost) หรือค่า S_{ij} ซึ่งก็คือความประหยัดระหว่างจุด i และ j โดยที่ i, j คือผู้ขายยางพารา และ D คือจุดรับซื้อยางพารา โดยงานวิจัยนี้ใช้ค่าระยะทางในการคำนวณค่า S_{ij} ดังแสดงในสมการที่ 9

$$S_{ij} = C_{iD} + C_{Dj} - C_{ij} \quad (9)$$



รูปที่ 3 แนวคิดของค่าความประหยัด

ขั้นตอนที่ 3 เรียงลำดับค่า S_{ij} จากมากไปหาน้อย

ขั้นตอนที่ 4 สร้างเส้นทางของยานพาหนะโดยเชื่อมจุด i และ j ที่มีค่า S_{ij} มากที่สุด

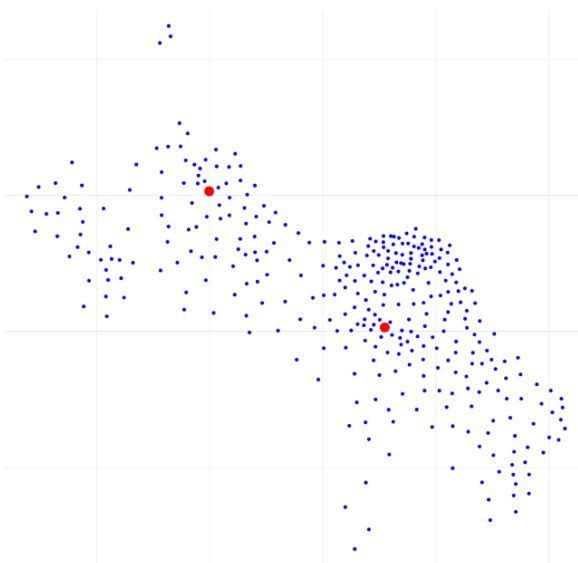
ขั้นตอนที่ 5 ทำซ้ำจนกว่าจะจัดเส้นทางได้ครบ โดยมีเงื่อนไขของข้อจำกัดในการเดินทางแต่ละยานพาหนะ จะต้องไม่

สินค้าไม่เกินความจุของยานพาหนะและต้องใช้เวลาในการเดินทางไม่เกินระยะเวลาที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 3 วิธีเมตริกแบบประหยัดเป็นทฤษฎีที่ยอมรับในการแก้ปัญหาการขนส่งยานพาหนะ ทฤษฎีนี้ไม่มีความซับซ้อน ค่าความประหยัด (S_{ij}) ที่ได้คือระยะทางที่สามารถลดได้ระหว่างผู้ขายใด ๆ หากเกิดค่าความประหยัดสูงก็หมายความว่าสามารถลดระยะทางได้มาก

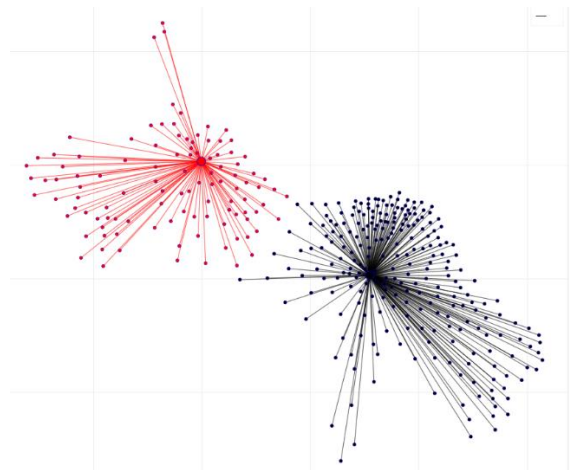
2.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลพิกัดที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของผู้ขายยางพาราและตลาดกลางยางพาราในพื้นที่ห้าจังหวัดชายแดนใต้ ประกอบด้วย จังหวัดสงขลา สตูล ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส จำแนกตามตำบลของผู้ขายแต่ละราย จำนวน 353 ราย โดยมีตลาดกลางยางพาราจำนวน 2 แห่ง คือตลาดกลางยางพาราสงขลา และตลาดกลางยางพารายะลา รวมทั้งหมด 355 แห่ง นำมาเขียนพิกัดแผนที่เพื่อให้เห็นภาพรวมของผู้ขายยางพาราและตลาดกลางยางพารา ดังแสดงในรูปที่ 4

ในการจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราของเกษตรกรชาวสวนยางปัจจุบัน ผู้ขายยางพารานำยางพาราของตนเองไปจำหน่ายที่ตลาดกลางยางพารา ด้วยยานพาหนะของตนเอง ไปจำหน่ายยังตลาดกลางแบบไป-กลับ (Direct Shipping) ดังแสดงในรูปที่ 5 ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการขนส่ง เนื่องจากไม่มีการรวมกลุ่มกันจัดส่ง เมื่อวิเคราะห์ระยะทางและต้นทุนในการขนส่งทั้งหมดพบว่ามีระยะทางในการขนส่งเท่ากับ 46,021.22 กม./วัน คิดเป็นต้นทุนในการขนส่งเท่ากับ 354,335.22 บาท/วัน



รูปที่ 4 ตำแหน่งพิกัดของผู้ขายยางพาราและตลาดกลาง



รูปที่ 5 เส้นทางการขนส่งของผู้ขายยางพารา

นอกจากนี้เก็บรวบรวมข้อมูลระยะทางระหว่างผู้ขาย และปริมาณยางที่ขาย โดยใช้ข้อมูลพิกัดตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์มาหาระยะทางทั้งหมด โดยใช้โปรแกรม Google Earth พร้อมทั้งสร้างเมตริกซ์ระยะทางระหว่างผู้ขายแต่ละราย และตลาดกลางยางพารา โดยใช้โปรแกรม Google Map ตามระยะทางจริงในแผนที่ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดย F1 แทนตลาดกลางยางพาราสงขลา F2 แทนตลาดกลางยางพารายะลา และ F3-F355 แทนผู้ขายแต่ละรายของเกษตรกรชาวสวนยางพารา เพื่อนำมากำหนดสถานะของปัญหาในการวิจัย โดยกำหนดเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematics Model) ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของจุดรับซื้อและจัดเส้นทางการขนส่งของผู้ขายยางพารา

ตารางที่ 1 เมตริกซ์ระยะทางของผู้ขายยางพาราและตลาดกลางยางพารา

พิกัด	F1	F2	...	F355	ปริมาณยาง (กก./วัน)
F1	0	136.4	...	135.2	0
F2	136.4	0	...	260.7	0
F3	228.55	95.81	...	353.15	25,252
.	.	.	...	.	.
.	.	.	...	.	.
F354	114.1	243.4	...	28.57	10,471
F355	134.8	264.1	...	0	1,783

2.7 สมมติฐานและลักษณะของปัญหา

1) ทราบตำแหน่งที่ตั้งของตลาดกลางยางพาราสงขลา ตลาดกลางยางพารายะลา และผู้ขายยางพารา โดยจะทำการ จัดเส้นทางขนส่งระหว่างตลาดกลางกับผู้ขายยางพารา และ จดรับซื้อจากผู้ขายยางพารา

2) ปริมาณยางพาราของผู้ขายแต่ละรายที่มีอยู่จะถูกแบ่ง ออกเป็นโหนดยางพารา (Rubber Node) หลาย ๆ โหนด ซึ่งมี จำนวนทั้งหมด 353 โหนด โดยผู้ขายยางพาราแต่ละราย สามารถขายยางพาราได้เพียงจุดรับซื้อใดจุดรับซื้อหนึ่งเท่านั้น

3) การเปิดจุดรับซื้อยางพารา สามารถเปิดได้ทุกตำแหน่ง ของผู้ขายยางพารา แต่บังคับต้องเปิดที่ตลาดกลางยางพารา สงขลา และตลาดกลางยางพารายะลาด้วยเสมอ โดยขนาด ความจุของจุดรับซื้อยางพารา มีจำนวน 3 ขนาด คือ (1) จุดรับ ซื้อขนาดเล็ก 50 ตันต่อวัน ต้นทุนในการเปิด 500,000 บาท (2) จุดรับซื้อขนาดกลาง 100 ตันต่อวัน ต้นทุนในการเปิด 750,000 บาท และ (3) จุดรับซื้อขนาดใหญ่ 200 ตันต่อวัน ต้นทุนในการ เปิด 1,000,000 บาท นอกจากนี้ในส่วนนี้ของตลาดกลาง ยางพาราสงขลา และตลาดกลางยางพารายะลาเปิดเป็นจุดรับ ซื้อจะมีขนาดความจุที่มากกว่าจุดรับซื้ออื่น ๆ เป็นแบบไม่จำกัด อายุการใช้งานของจุดรับซื้อกำหนดไว้ที่ 20 ปี

4) สำหรับการจัดเส้นทางขนส่ง รถขนส่งจะต้อง เดินทางจากจุดรับซื้อไปรับยางพาราจากผู้ขายด้วยยานพาหนะ ประกอบด้วย 3 ขนาดคือ (1) รถบรรทุก 6 ล้อ (น้ำหนักบรรทุก ไม่เกิน 10 ตัน) (2) รถบรรทุก 10 ล้อ (น้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 20 ตัน) และ 3 รถบรรทุก 10 ล้อและรถลากพ่วง (น้ำหนัก บรรทุกไม่เกิน 25 ตัน) การเลือกขนาดของยานพาหนะ เป็นการ เลือกขนาดตามความเหมาะสมโดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายของ การใช้ยานพาหนะ ซึ่งการจัดเส้นทางขนส่ง ตลาดกลาง ยางพาราสงขลาและตลาดกลางยางพารายะลา สามารถนำ ยานพาหนะมารับยางพาราจากผู้ขายมากกว่าหนึ่งเที่ยว

5) ไม่มีข้อกำหนดเรื่องเวลาที่ต้องรับ-ส่ง (No Time Window) หรือลำดับก่อนหลังในการรับ-ส่งสินค้า

6) มีจำนวนรถขนส่งเพียงพอต่อการขนส่งเสมอและรถ ขนส่งมีความสามารถในการบรรทุกยางพาราในปริมาณความจุ ที่กำหนด

7) จำนวนยางพาราที่จุดรับซื้อไปรับยางพาราจากผู้ขาย ยางพารานั้นเป็นจำนวนที่ทราบค่าแน่นอน

8) ไม่มีข้อจำกัดเรื่องระยะทางสูงสุดที่วิ่งได้ในแต่ละ เส้นทาง

9) ไม่มีข้อกำหนดเรื่องสินค้าคงคลัง (Inventory) ไม่มีการ เก็บยางพาราไว้ที่จุดรับซื้อและที่ตลาดกลางยางพาราไว้เกิน วันที่ได้รับ

10) การศึกษาเน้นระบบโลจิสติกส์ในการขนส่งยางพารา จากผู้ขายแต่ละรายมายังจุดรับซื้อหรือตลาดกลางเท่านั้น

3.ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 การเลือกสถานที่ตั้งและการจัดสรรผู้ขายยางพารา

ในการเลือกสถานที่ตั้งและจัดสรรผู้ขายยางพารา โดย กำหนดขนาดความจุของจุดรับซื้อและต้นทุนในการเปิด จำนวน 3 ขนาด ประกอบด้วย (1) จุดรับซื้อขนาดเล็ก (ความจุ 50 ตัน) ต้นทุนในการเปิด 500,000 บาท (2) จุดรับซื้อขนาดกลาง (ความจุ 100 ตัน) ต้นทุนในการเปิด 750,000 บาท และ (3) จุดรับซื้อขนาดใหญ่ (ความจุ 200 ตัน) ต้นทุนในการเปิด 1,000,000 บาท และนอกจากนี้ตลาดกลางยังสามารถเปิดเป็น จุดรับซื้อได้ด้วย โดยมีขนาดความจุแบบไม่จำกัด ซึ่งอายุการใช้ งานของจุดรับซื้อกำหนดไว้ที่ 20 ปี [9] เมื่อได้ข้อมูลนำเข้าครบ แล้ว จึงทำการแปลงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ให้เป็นคำสั่งในโปรแกรม Lingo แล้ว จึงนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาป้อนเข้าสู่โปรแกรม เพื่อให้โปรแกรม คำนวณการเลือกสถานที่ตั้งจุดรับซื้อและการจัดสรรผู้ขาย ยางพารา ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข หลังจากใช้เวลาในการ ประมวลผลนาน 24 ชั่วโมงจึงได้คำตอบ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นนำไปพลอตกราฟด้วยโปรแกรม Python ดังแสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 3 และรูปที่ 6 พบว่าในการแก้ปัญหาการเลือก สถานที่ตั้งของจุดรับซื้อ สามารถเลือกจุดรับซื้อได้จำนวน 10 จุดรับซื้อ ประกอบด้วย (1) จุดรับซื้อแบบไม่จำกัด จำนวน 2 จุดคือ พิกัดที่ 1 ตลาดกลางยางพาราสงขลา มีผู้ขายจำนวน 78 ราย และพิกัดที่ 2 ตลาดกลางยางพารายะลา มีผู้ขายจำนวน 96 ราย (2) จุดรับซื้อขนาดเล็ก จำนวน 3 จุด คือ พิกัดที่ 14 ตำบลบางขุนทอง อำเภอตากใบ จังหวัดนราธิวาส มีผู้ขาย จำนวน 17 ราย พิกัดที่ 23 ตำบลลูโบะสาวอ อำเภอบาเจาะ จังหวัดนราธิวาส มีผู้ขายจำนวน 15 ราย

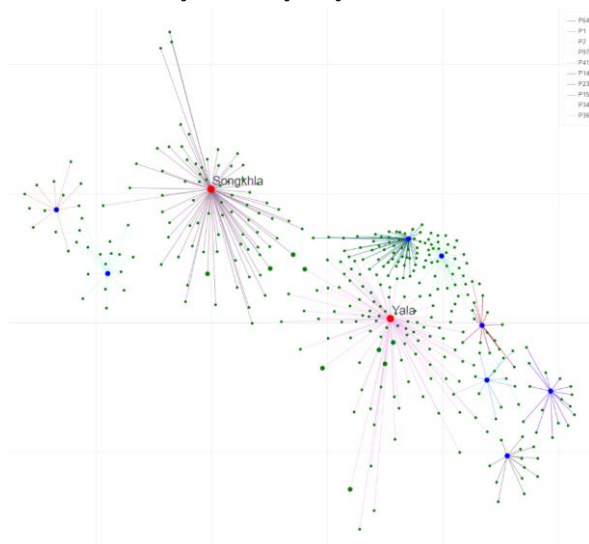
ตารางที่ 2 ตำแหน่งจุดรับซื้อและการจัดสรรผู้ขาย

จุด ที่	ตำแหน่งจุดรับซื้อ	ตำแหน่งผู้ขายยางพารา	จำนวนผู้ขาย (ราย)	ปริมาณ ยางพารา (กก.)
1	ตลาดกลางยางพาราสงขลา (F1)	F234 F235 F236 F237 F238 F239 F240 F241 F242 F243 F244 F245 F246 F247 F248 F249 F250 F251 F252 F253 F254 F255 F256 F257 F258 F259 F264 F265 F266 F267 F268 F269 F270 F271 F272 F273 F274 F275 F276 F277 F278 F279 F280 F281 F282 F283 F284 F285 F286 F287 F288 F289 F290 F291 F292 F293 F294 F295 F296 F297 F298 F299 F300 F301 F302 F312 F313 F314 F315 F316 F317 F318 F319 F320 F321 F322 F323 F324	78	992,214
2	ตลาดกลางยางพารา ยะลา (F2)	F3 F4 F5 F42 F43 F44 F45 F46 F47 F48 F50 F51 F58 F59 F61 F62 F63 F82 F83 F84 F86 F88 F90 F91 F92 F93 F125 F127 F132 F136 F178 F179 F180 F181 F182 F183 F184 F185 F186 F187 F188 F189 F190 F191 F192 F193 F194 F195 F196 F197 F198 F199 F200 F201 F202 F203 F204 F205 F206 F207 F208 F209 F210 F211 F212 F213 F214 F215 F216 F217 F218 F219 F220 F221 F223 F224 F225 F226 F227 F228 F229 F230 F231 F232 F233 F260 F263 F303 F304 F305 F306 F307 F308 F309 F310 F311	96	1,586,737
3	ต.บางขุนทอง อ.ตากใบ จ.นราธิวาส (F14)	F9 F10 F11 F12 F13 F14 F15 F16 F17 F24 F25 F69 F70 F71 F73 F74 F77	17	49,894
4	ต.ลูโบะสาวอ อ.บาเจาะ จ.นราธิวาส (F23)	F18 F19 F20 F21 F23 F26 F27 F31 F32 F33 F34 F35 F49 F128 F167	15	49,897
5	ต.บาโงสะโต อ.ระแงะ จ.นราธิวาส (F41)	F6 F7 F28 F29 F30 F36 F37 F38 F39 F40 F41 F60	12	99,368
6	ต.เกียร์ อ.สุคิริน จ.นราธิวาส (F64)	F52 F53 F54 F55 F56 F57 F64 F65 F66 F67 F68 F72 F75 F76	14	48,775
7	ต.ควน อ.ปะนาเระ จ.ปัตตานี (F97)	F8 F22 F78 F79 F80 F94 F95 F96 F97 F98 F99 F100 F101 F102 F103 F104 F105 F107 F109 F110 F113 F114 F115 F116 F129 F142 F143 F146 F147 F150 F156 F158 F159 F160 F161 F162 F163 F164 F165 F166 F222	41	85,350
8	ต.ราตาป็นยัง อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี (F155)	F81 F85 F87 F89 F106 F108 F111 F112 F117 F118 F119 F120 F121 F122 F123 F124 F126 F130 F131 F133 F134 F135 F137 F138 F139 F140 F141 F144 F145 F148 F149 F151 F152 F153 F154 F155 F157 F168 F169 F170 F171 F172 F173 F174 F175 F176 F177 F261 F262	49	53,300
9	ต.บ้านควน อ.ละงู จ.สตูล (F349)	F325 F326 F327 F328 F329 F330 F331 F332 F333 F341 F342 F343 F344 F345 F346 F347 F348 F349 F354	19	99,161
10	ต.เขาขาว อ.ละงู จ.สตูล (F351)	F334 F335 F336 F337 F338 F339 F340 F350 F351 F352 F353 F355	12	99,806
รวม			353	3,164,502

ตารางที่ 3 ตำแหน่งที่ตั้งจุดรับซื้อและการจัดเส้นทางขนส่งของผู้ขายยางพารา

จุดรับซื้อ	ที่ตั้งจุดรับซื้อ	ขนาดจุดรับซื้อ	จำนวนผู้ขาย (ราย)	จำนวนรถบรรทุก (คัน)				ต้นทุนรวม (บาท/วัน)
				10 ตัน	20 ตัน	25 ตัน	รวม (คัน)	
1	ตลาดกลางยางพาราสงขลา	ไม่จำกัด	78	1	3	39	43	57,266
2	ตลาดกลางยางพารายะลา	ไม่จำกัด	96	0	6	61	67	90,146
3	ต.ขุนทอง อ.ตากใบ จ.นราธิวาส	ขนาดเล็ก	17	1	1	1	3	4,384
4	ต.ลูโบะสาวอ อ.บาเจาะ จ.นราธิวาส	ขนาดเล็ก	15	0	2	1	3	4,932
5	ต.ลูบะโงะโต อ.ระแงง จ.นราธิวาส	ขนาดกลาง	12	1	0	4	5	8,357
6	ต.เกียร์ อ.สุคีริน จ.นราธิวาส	ขนาดเล็ก	14	0	3	0	3	4,658
7	ต.ควน อ.ปะนาเระ จ.ปัตตานี	ขนาดกลาง	41	3	2	2	7	8,905
8	ต.ราตาป็นยัง อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	ขนาดกลาง	49	4	1	1	6	6,987
9	ต.บ้านควน อ.ละงู จ.สตูล	ขนาดกลาง	19	0	1	4	5	8,905
10	ต.เขาขาว อ.ละงู จ.สตูล	ขนาดกลาง	12	0	2	3	5	8,631
รวม			353	10	21	116	147	203,171

พิกัดที่ 64 ตำบลเกียร์ อำเภอสูคีริน จังหวัดนราธิวาส มีผู้ขายจำนวน 14 ราย และ (3) จุดรับซื้อขนาดกลาง จำนวน 5 จุด พิกัดที่ 41 ตำบลบาโงสะโต อำเภอระแงง จังหวัดนราธิวาส มีผู้ขายจำนวน 12 ราย พิกัดที่ 97 ตำบลควนอำเภอปะนาเระ จังหวัดปัตตานี มีผู้ขายจำนวน 41 ราย พิกัดที่ 155 ตำบลราตาป็นยัง อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี มีผู้ขายจำนวน 49 ราย พิกัดที่ 349 ตำบลบ้านควน อำเภอละงู จังหวัดสตูล มีผู้ขายจำนวน 19 ราย พิกัดที่ 351 ตำบลเขาขาว อำเภอละงู จังหวัดสตูล มีผู้ขายจำนวน 12 ราย



รูปที่ 6 การเลือกสถานที่ตั้งและการจัดสรรผู้ขาย

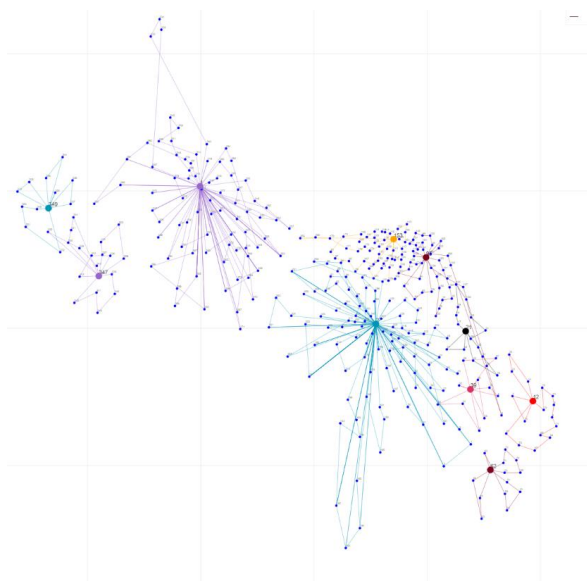
3.2 การจัดเส้นทางขนส่ง

หลังจากได้ตำแหน่งของจุดรับซื้อและจัดสรรผู้ขายให้กับจุดรับซื้อแล้ว จากนั้นทำการจัดเส้นทางขนส่ง

ยางพาราจากจุดรับซื้อไปยังลูกค้าแต่ละราย โดยการใช้วิธีการแบบประหยัด (Savings Method) ซึ่งค่าขนส่งยางพาราของผู้ขาย จะคำนวณโดยคิดตามระยะทางของผู้ขายแต่ละรายในอัตรา 4 บาทต่อกิโลเมตร ส่วนค่าเสื่อมราคาของรถบรรทุกจะคำนวณจากมูลค่าของรถบรรทุก ซึ่งมี 3 ประเภท ประกอบด้วย (1) รถบรรทุก 6 ล้อ มูลค่า 1,500,000 บาท ขนาดน้ำหนักบรรทุก 10 ตัน (2) รถบรรทุก 10 ล้อ มูลค่า 2,300,000 บาท ขนาดน้ำหนักบรรทุก 20 ตัน และ (3) รถบรรทุก 10 ล้อและรถลากพ่วง มูลค่า 3,000,000 บาท ขนาดน้ำหนักบรรทุก 25 ตัน โดยอายุการใช้งานของรถบรรทุกทุกประเภทกำหนดไว้เท่ากันที่ 12 ปี

เมื่อนำข้อมูลการเลือกสถานที่ตั้งของจุดรับซื้อและการจัดสรรผู้ขายยางพารา ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.1 จากนั้นนำมาหาเส้นทางขนส่งด้วยวิธีการแบบประหยัด โดยใช้โปรแกรม Python ในการวิเคราะห์ผลการเลือกสถานที่ตั้งของจุดรับซื้อและการจัดเส้นทางของผู้ขายยางพารา ดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อนำมาพลอตรูป ดังแสดงในรูปที่ 7

ตารางที่ 3 พบว่าในการเลือกสถานที่ตั้งของจุดรับซื้อ มีจำนวน 10 จุด (นับรวมตลาดกลาง) จำแนกออกเป็นจุดรับซื้อขนาดเล็กจำนวน 3 จุด และจุดรับซื้อขนาดใหญ่จำนวน 5 จุด โดยมีปริมาณยางในการรับซื้อ 3,164.5 ตัน/วัน โดยมีต้นทุนรวมทั้งสิ้น 203,171 บาท/วัน



รูปที่ 7 การจัดเส้นทางการขนส่งของผู้ขายยางพารา

เมื่อทำการเปรียบเทียบการแก้ปัญหาการขนส่งยางพาราของเกษตรกรชาวสวนยางพาราแบบเดิมที่เกษตรกรชาวสวนยางพารานำยางพาราไปจำหน่ายยังตลาดกลางยางพาราด้วยยานพาหนะของตนเองแบบไป-กลับ (Direct Shipping) กับการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจุดรับซื้อและการจัดสรรผู้ขายยางพารา จากนั้นทำการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีแบบเมตริกแบบประหยัด (Saving Metrix Method) พบว่าระยะทางในการขนส่งลดลงร้อยละ 69.4 และต้นทุนของการขนส่งลดลงร้อยละ 42.7 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบการจัดเส้นทางการขนส่งยางพารา

รายการ	ระยะทาง (กม.)	ต้นทุน (บาท/วัน)
แบบเดิม (Direct Shipping)	46,021.02	354,335.22
แบบ Location Routing Problem	14,067.66	203,171.00
ลดลง (ร้อยละ)	69.40	42.70

4. บทสรุป

บทความวิจัยนี้เป็นการแก้ปัญหา 2 ระดับ คือ (1) การเลือกสถานที่ตั้งของจุดรับซื้อและจัดสรรผู้ขายยางพาราให้กับจุดรับซื้อ โดยประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ และโปรแกรม Lingo ในการแก้ปัญหา และ (2) การจัดเส้นทางการขนส่งของจุดรับซื้อ โดยการใช้วิธีการเมตริกแบบประหยัด และโปรแกรม Phyton ในการแก้ปัญหา ซึ่งมีผู้ขายยางพาราจำนวน 353 ราย และมีตลาดกลางยางพาราจำนวน 2 แห่ง คือตลาดกลางยางพาราสงขลาและตลาดกลางยางพารายะลา

ผลการทดลองพบว่าจำนวนจุดรับซื้อจำนวน 10 จุด และมีต้นทุนรวมในการดำเนินการเท่ากับ 203,171 บาท/วัน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับดำเนินการแบบเดิมที่เป็นการขนส่งแบบโดยตรง (Direct Shipping) พบว่าสามารถลดต้นทุนและระยะทางได้มากกว่า 40% จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่าการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการใช้โปรแกรม Lingo ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการใช้วิธีการเมตริกแบบประหยัดสามารถลดระยะทางการขนส่งและลดต้นทุนลงได้จริง ทำให้ผู้ขายหรือตลาดกลางมีกำไรมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของตลาดกลางยางพาราโดยการประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาแบบต้องห้าม (Tabu Search) [10]

ข้อเสนอแนะเนื่องจากการแก้ปัญหานี้เป็นการแก้ปัญหาแบบ 2 ระดับ ดังนั้นควรสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถแก้ปัญหาทั้งการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางไปพร้อมกันหรือเรียกว่าปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทาง (Location Routing Problem; LRP) นอกจากนี้ควรใช้เทคนิคอื่นในการแก้ปัญหา เช่น วิธี Heuristics และ Metaheuristics เป็นต้น ซึ่งจะใช้เวลาในการหาคำตอบได้รวดเร็วกว่าการใช้โปรแกรม Lingo เนื่องจากโปรแกรม Lingo เหมาะกับปัญหขนาดเล็ก ดังนั้นในการหาคำตอบของการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจุดรับซื้อและการจัดเส้นทางการขนส่งยางพารานี้ สามารถนำข้อมูลที่ได้นำไปใช้สำหรับประกอบการพิจารณาหรือเป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการตัดสินใจแก้ปัญหาการขนส่ง

ยางพาราของเกษตรกรกับตลาดกลางยางพารา เพื่อ
แก้ปัญหาความไม่เป็นธรรมกับผู้ขายยางพาราต่อไปใน
อนาคตได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณตลาดกลางยางพาราสงขลาและ
ตลาดกลางยางพารายะลา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล
งานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณพนักงานเจ้าหน้าที่ ทุกท่าน
ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลเป็น
อย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Logistics Office. Optimization of industrial logistics in the southern region. Bangkok: Y C S Media; 2014.
- [2] Rubber Research Institute. Natural rubber production of Thailand. Bangkok: Thai Rubber Association; 2015.
- [3] Rapeepan P. Specialized topics in operations management. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University; 2017.
- [4] Laporte G, Louveaux FV. Solving stochastic routing problem with the integer L-shaped method. Fleet Management and Logistics. 1998; 159-167.
- [5] Fischetti M, Toth P, Vigo D. A branch and bound algorithm for the capacitated vehicle routing problem on directed graphs. Operation Research. 1994; 42(5): 846-859.
- [6] Lysgaard J, Letchford AN, Eglese RW. A new branch and cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem. Mathematical Programming. 2004 Jun;100(2):423-445.
- [7] Lambert DM, Cooper MC, Pagh JD. Supply chain management: implementation issues and research opportunities. The International Journal of Logistics Management. 1998 Jul 1; 9(2):1-20.
- [8] Clarke G, Wright JW. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. Operations Research. 1964 Aug;12(4): 568-581.
- [9] Somsak K, Sujittra K, Sombat S. The location routing problem with para rubber by using tabu search. Conference on Industrial Engineering, 2018 July 23- 26, Ubon Ratchathani; 2018. p. 348-1352.
- [10] Somsak K, Sindhuchao S. Solving location Routing Problem of the Central Rubber Market by Tabu Search. KMUTNB Int J Appl Sci Technol. 2017; 10(2); 145-151.

การประเมินประสิทธิภาพของเตาหลอมอะลูมิเนียมที่ใช้ถ่านโค้กร่วมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง Evaluation Performance of Furnace Casting Aluminum by Using Fuel Mixed Coke and Diesel

ศักดิ์สิทธิ์ ชื่นชนนาคจาต^{1*} และธงชัย เครือฝื่อ²

¹ สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก
52 หมู่ 7 ตำบลบ้านกร่าง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

² สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

83 หมู่ 11 ถนนสระบุรี-หล่มสัก ตำบลสะเตียง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000

Saksit Chuenchomnakjad^{1*} and Thongchai Khrueaphue²

¹ Program of Industrial Education and Technology, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok.

52 Moo 7, Ban Krang, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

² Program of Production Technology, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University.

83 Moo 11, Saraburi-Lom Sak Road, Tambon Sadiang, Amphoe Mueang, Phetchabun, Thailand, 67000

*ผู้รับผิดชอบบทความ: saksit273@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 09-1838-7299

Received: 30 October 2019, Revised: 9 March 2021, Accepted: 19 June 2021

บทคัดย่อ

วิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินประสิทธิภาพของเตาหลอมอะลูมิเนียมที่ใช้ถ่านโค้กร่วมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เพื่อการทดลองหลอมและหล่ออะลูมิเนียมให้เป็นรูปตราสัญลักษณ์วิศวกรรมด้วยวิธีการหล่อแบบโฟมหาย โดยเตาหลอมที่สร้างขึ้นจะมีรูปทรงกระบอกทำจากเหล็กเหนียว มีช่องสำหรับใส่ท่อส่งอากาศและน้ำมันดีเซล ผนังเตาภายในก่อด้วยอิฐทนไฟและฉนวนด้วยซีเมนต์ทนไฟเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อน อีกส่วนหนึ่งเป็นฐานของพัดลมเป่าอากาศและถังน้ำมันดีเซลมีโครงสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยพัดลมเป่าอากาศจะเชื่อมกับท่อส่งอากาศและน้ำมันดีเซล หลักการทำงานของเตาหลอมจะเริ่มด้วยการก่อเชื้อเพลิงถ่านโค้กให้ติดไฟรอบ ๆ ภายในห้องเผาไหม้แล้วปล่อยน้ำมันดีเซลหยดลงในท่อส่งอากาศที่มีพัดลมเป่าอากาศและนำพาน้ำมันเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเตาหลอม เพื่อให้เกิดความร้อนและหลอมอะลูมิเนียม ผลจากการทดสอบการหลอมอะลูมิเนียมน้ำหนัก 6 กิโลกรัม ความเร็วลมของพัดลมเป่าอากาศ 3.50 เมตร/วินาที อัตราการไหลของน้ำมัน 21 นาฬิกา/ลิตร ใช้ถ่านโค้กทั้งหมด 3.30 กิโลกรัม และน้ำมันดีเซล 2 ลิตร เตาหลอมสามารถทำอุณหภูมิของน้ำอะลูมิเนียมเหลวได้สูงถึง 678 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 110 นาที ซึ่งเป็นเวลาน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับผลทดสอบที่ความเร็วลมอื่น ๆ และเตามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับร้อยละ 5.61

คำสำคัญ เตาหลอม อะลูมิเนียม ถ่านโค้ก น้ำมันดีเซล

Abstract

This research aimed to evaluate the performance of aluminum casting furnace using coke and diesel fuel. The melting and casting of aluminum for engineering logo were tested by the lost foam method. The cylindrical roll steel furnace was constructed from mild steel. There was a slot for supplying air ducts and diesel fuel. The inner wall of the furnace was made from fire-resistant brick and plastered with fire-resistant cement for heat insulation. Another part was the base of the air blower fan and the diesel tank. The air blower fan was connected to the air ducts and diesel fuel. The mechanism of the furnace started with the formation of coke

fuel to ignite around the inside of combustion chamber, drop the diesel oil into the air hose with an air blower fan and carry the oil into the combustion chamber of the furnace to produce heat and melt aluminum. The result of the aluminum casting test with weighs of 6 kg, the air blower fan speed of 3.50 m/s, oil flow rate of 21 min/liter, coke of 3.30 kg and diesel fuel of 2 liter showed that the furnace made the temperature of liquid aluminum up to 678 degrees Celsius with 110 minutes which was the minimum time compared to the test results at other wind speeds and the furnace has thermal efficiency equal to 5.61 percent.

Keywords: Furnace, Aluminum, Coke, Diesel fuel

1. บทนำ

การหล่อโลหะ (metal casting) หมายถึง การขึ้นรูปโลหะโดยนำโลหะมาหลอมเหลว แล้วเทหรือฉีดเข้าสู่แบบหล่อหรือแม่พิมพ์เมื่อโลหะแข็งตัวก็จะได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างตามต้องการ จากนั้นจึงเอาชิ้นงานมาตกแต่งหรือนำไปผ่านกระบวนการทางความร้อน คุณสมบัติของชิ้นงานหล่อจะเกี่ยวข้องกับธรรมชาติของโลหะที่จะนำมาหล่อ ชนิดแบบหล่อ ขนาดรูปร่างของชิ้นงาน และอัตราการเย็นตัวเป็นอย่างมาก การหล่อจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตโลหะ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีความเรียบง่าย มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า และสามารถผลิตโลหะได้เป็นจำนวนมาก [1]

อุตสาหกรรมด้านการหล่ออะลูมิเนียมเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อภาคเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยอะลูมิเนียมสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ใช้เป็นวัสดุสำหรับเป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรอุปกรณ์ และชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ต้องการน้ำหนักเบา ความแข็งแรงสูง เช่น เป็นชิ้นส่วนในเครื่องบิน และรถยนต์ เพื่อลดน้ำหนักของยานพาหนะให้น้อยลงและช่วยในการประหยัดเชื้อเพลิง หรือนำไปใช้เป็นวัสดุและชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ทนต่อการกัดกร่อนในชั้นบรรยากาศ เช่น ท่อ กรอบประตู กรอบหน้าต่าง และวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ เป็นต้น เนื่องจากชิ้นส่วนที่หล่อด้วยอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติทางกลที่ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของโลหะชนิดอื่น ๆ อีกทั้งอะลูมิเนียมยังสามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ขึ้นรูปได้ง่าย เหมาะสำหรับการกระบวนการผลิตที่ไม่ต้องการความสลัดซับซ้อน ดังนั้นข้อได้เปรียบทางวิศวกรรมของอะลูมิเนียม ผสมหล่อก็น้ำหนักเบา (ต่อหน่วยปริมาตร) เบากว่าเหล็กประมาณ 3 เท่าจึงได้เปรียบกว่าเหล็กในเรื่องความแข็งแรงต่อน้ำหนักหมายความว่าถ้าใช้อะลูมิเนียมหนักเท่ากับเหล็ก ก็จะได้ความแข็งแรงเท่ากับเหล็กแต่จะให้ความหนาเพิ่มขึ้น กระบวนการหล่ออะลูมิเนียมในภาคอุตสาหกรรมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อกระบวนการผลิตและการขึ้นรูป ซึ่งมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาหลอมโลหะอะลูมิเนียมโดยใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันหมักร่วมก๊าซปิโตรเลียม

หลอมอะลูมิเนียมน้ำหนัก 4 กิโลกรัม แล้วนำมาเปรียบเทียบกับเตาหลอมที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง พบว่าเตาหลอมดังกล่าวมีประสิทธิภาพทางความร้อนเท่ากับ 6.47% และ 6.64% ตามลำดับ แต่ค่าใช้จ่ายโดยรวมของการใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันหมักร่วมก๊าซปิโตรเลียมช่วยลดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า [2] นอกจากนี้ สุรพล ชูสวัสดิ์ [3] ได้ออกแบบและสร้างหัวเชื้อเตาไฟฟ้าที่ใช้หัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซออกซิเจนเซทิลิน เพื่อใช้ในการทดสอบการหลอมโลหะ การทดสอบสมรรถนะของเตาทดสอบโดยการหลอมโลหะบริสุทธิ์ และโลหะผสม ที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 1,200 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าให้ผลเป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือ สามารถใช้ในการหลอมโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสมที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 1,200 องศาเซลเซียส และพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการหลอมโลหะ ได้แก่ ปริมาณก๊าซเชื้อเพลิง ปริมาณและชนิดของวัสดุหลอม

ขั้นตอนการหล่ออะลูมิเนียมบางขั้นตอนต้องอาศัยความชำนาญและความละเอียดของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งวิศวกรหรือผู้ปฏิบัติงานนอกจากต้องมีความรู้ความสามารถและความชำนาญแล้วนั้นยังต้องมีความเข้าใจในหลักการทางทฤษฎีและทางปฏิบัติควบคู่กันไปจึงทำให้ได้ผลผลิตที่มีประสิทธิภาพในการใช้งาน ซึ่งในขณะนี้ภายในประเทศยังไม่มีสถานที่เปิดอบรมให้ความรู้ และสร้างทักษะแก่ผู้ที่สนใจหรือแม้แต่สถาบันที่จะเปิดสอนให้กับนักศึกษายังมีไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับตลาดแรงงานในอุตสาหกรรมที่ต้องการสูง [4] ดังนั้นการเรียนรู้ในสถานศึกษาจึงมีความสำคัญมากสำหรับการเตรียมความพร้อมทางด้านพื้นฐานให้กับนักศึกษา

ทางคณะผู้จัดทำจึงได้เล็งเห็นความสำคัญด้านการเรียนการสอนเป็นหลักโดยเฉพาะการเรียนในภาคปฏิบัติควบคู่กับทฤษฎีที่จะทำให้ผู้ศึกษาสามารถเข้าใจและเกิดทักษะ ได้อย่างรวดเร็วขึ้น แต่เนื่องจากสาขาวิศวกรรมอุตสาหการยังไม่สามารถจัดซื้อเครื่องมือได้ เนื่องจากเตาหลอมที่มีขายในท้องตลาดปัจจุบันมีราคาแพง จึงได้มีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเตาหลอมอะลูมิเนียม [5-6] ที่ใช้ถ่านโค้กร่วมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหลอมในการหลอมอะลูมิเนียม เตาหลอมที่ได้สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนในรายวิชา

ปฏิบัติงานหล่อโลหะสำหรับครูช่างอุตสาหกรรมปฏิบัติงานอบชุบโลหะสำหรับครูช่างอุตสาหกรรมวิศวกรรมการหล่อโลหะและโลหะวิทยาในงานวิศวกรรม

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

องค์ประกอบหลักของถ่านโค้กคือคาร์บอน นอกจากนี้ถ่านโค้กที่ดีจะมีความชื้น ชี้อ่อน กัมมะถัน และฟอสฟอรัส ถ่านโค้กสำหรับใช้งานทั่วไปจะใช้ในการให้ความร้อน ถ่านโค้กมีข้อดีคือให้ความร้อนสูงกว่าถ่านหิน และมีควันและฝุ่นตายน้อยกว่า

คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล การติดไฟ (ignition quality) คุณสมบัติในการติดไฟของน้ำมันดีเซล จะแสดงถึงความสามารถในการติดเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำ การป้องกัน การน็อกในเครื่องยนต์ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบ การเผาไหม้อย่างรวดเร็วจะมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง ความสะอาด (cleanliness) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญ น้ำมันดีเซลต้องมีความสะอาดทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ เช่น จะต้องไม่มีตะกอนน้ำ กากถ่าน หรือเขม่าที่น้อยที่สุด น้ำมันดีเซลมีช่วงจุดเดือดที่พอเหมาะทำให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังมีจุดวาบไฟสูงพอสมควร ทำให้มีความปลอดภัยในการเก็บรักษาและการขนส่ง

อะลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์สูงจึงทำให้อะลูมิเนียมสามารถเข้าไปแทนที่เหล็กและทองแดงได้ เพราะมีความต้านทานไฟฟ้ายอยู่ในเกณฑ์ต่ำรองจากทองแดง นอกจากนี้อะลูมิเนียมยังมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนได้ดีในบรรยากาศทั่วไป เพราะอะลูมิเนียมเมื่อทิ้งไว้ในอากาศบริเวณผิวจะรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศให้อะลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งป้องกันไม่ให้ออกซิเจนแทรกซึมลงไปทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมภายในได้ อะลูมิเนียมจะต้องไม่มีสารมลทินพวกฟอสฟอรัส หรือของแข็งที่ไม่ต้องการ ดังนั้นการหล่ออะลูมิเนียมจึงต้องมีการเตรียมวัสดุที่จะใช้ในการหล่อให้มีคุณภาพสูง คุณสมบัติที่สำคัญของอะลูมิเนียมมีหลายประการดังต่อไปนี้

1. มีคุณสมบัติทางกลกว้างขวางกว่า กล่าวคือความแข็งแรง ความแข็ง และคุณสมบัติทุกชนิดจะเปลี่ยนแปลงอย่างมากตามธาตุผสมหรือการอบชุบ ถ้าเปรียบเทียบกับเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียวที่มีความแข็งแรงต่ำอะลูมิเนียมผสมจะได้เปรียบเรื่องน้ำหนักเบากว่า

2. มีคุณค่าทางสถาปัตยกรรมและศิลปะการตกแต่ง

3. มีคุณสมบัติด้านการผุกร่อน เช่นทนการผุกร่อนต่อบรรยากาศธรรมดาหรือน้ำจืด

4. ไม่มีพิษจึงนิยมทำภาชนะต่าง ๆ และเครื่องครัวพวกหม้อหุงข้าว เป็นต้น

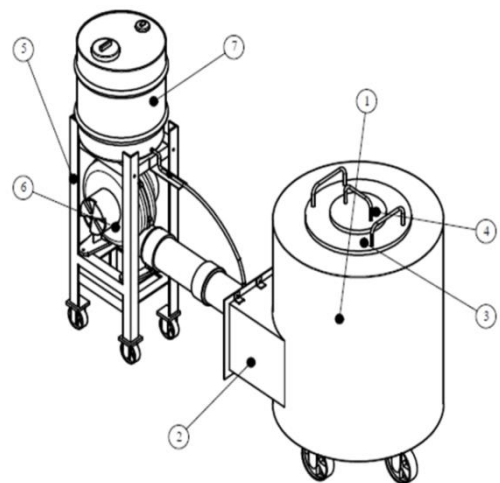
5. เป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดี จึงนิยมทำชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า

6. การตัดแต่งด้วยเครื่องมือกลกระทำได้ง่าย

7. มีคุณสมบัติทางความร้อนดี เพราะมีอุณหภูมิหลอมเพียง 660 องศาเซลเซียสเทียบกับเหล็กหล่อ 1,135 องศาเซลเซียส นับได้ว่าอะลูมิเนียมผสมใช้อุณหภูมิต่ำมากจึงไม่มีปัญหาเรื่องวัสดุทนไฟของเตาหลอมและทรายหล่อเพราะอุณหภูมิเต้านอกจากนั้นในทางปฏิบัติยังนิยมใช้แบบหล่อถาวรและแบบหล่อแม่พิมพ์กันอย่างกว้างขวางอีกด้วย

2.2 การออกแบบเตาหลอมอะลูมิเนียม

การออกแบบเตาหลอมอะลูมิเนียมโดยใช้ถ่านโค้กร่วมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการหลอมอะลูมิเนียม มีขั้นตอนการทำงานคือ ก่อถ่านโค้กให้ติดไฟรอบ ๆ ภายในห้องเผาไหม้จากนั้นหยดน้ำมันดีเซลโดยใช้วาล์วเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน และใช้พัดลมเป่าน้ำมันและอากาศเข้าไปในห้องเผาไหม้ โครงสร้างของเตาหลอมอะลูมิเนียมแสดงดังรูปที่ 1



- | | |
|------------------------|----------------------------|
| 1. ตัวถังเตา | 5. ถังพักตะกอนและถังน้ำมัน |
| 2. ปล่องใส่ท่อส่งอากาศ | 6. พัดลมเป่าอากาศ |
| 3. ฝาปิดเตา | 7. ถังน้ำมัน |
| 4. ฝาระบายอากาศ | |

รูปที่ 1 โครงสร้างเตาหลอมอะลูมิเนียม

2.3 การสร้างเตาหลอมอะลูมิเนียม

1. สร้างตัวถังเตาลักษณะเป็นทรงกระบอกม้วนจากเหล็กที่มีความหนา 0.25 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 62 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร มีช่องปล่องใส่ท่อส่งอากาศ มีขนาดความกว้าง 38 เซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 2

2. สร้างปล่องใส่ท่อส่งอากาศ ลักษณะของปล่องเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากเหล็กที่มีความหนา 0.25 เซนติเมตร มีส่วนโค้งรับกับตัวถังเตา รัศมีส่วนโค้ง 31 เซนติเมตร ด้านหน้ามีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม 25 x 30 เซนติเมตร

3. สร้างฝาปิดเตา ลักษณะฝาเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 38 เซนติเมตร โดยออกแบบให้ช่องระบายอากาศตรงกลางเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร ออกแบบให้มีหูจับ 2 ข้างเพื่อสะดวกในการปิดเปิด แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 การม้วนเหล็กเป็นรูปทรงกระบอก และการเจาะช่องเพื่อใส่ปล่องท่ออากาศ



รูปที่ 3 ฝาปิดเตาตามขนาดที่กำหนดไว้ทั้งสองฝา



รูปที่ 4 เรียงอิฐทนไฟภายในเตาหลอม

4. สร้างฝาระบายอากาศ ลักษณะฝาเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 5.50 เซนติเมตร ออกแบบให้มีหูจับเพื่อสะดวกในการปิดเปิด

5. ก่ออิฐทนไฟภายในเตาหลอมโดยเรียงสลับกับให้โค้งเข้ารูปเตา จากนั้นทำการเจียรแต่งอิฐออกเพื่อรองรับกับฝาของเตา เมื่อก่ออิฐและเจียรนัยแต่งเสร็จแล้วภายในเตา จะมีลักษณะดังรูปที่ 4

6. สร้างฐานวางพัดลมเป่าอากาศและถังน้ำมันลักษณะฐานมีโครงสร้างเป็นทรงสี่เหลี่ยมมีความยาว 70 เซนติเมตร และมีขนาดความกว้าง 27 เซนติเมตร ชั้นแรกของฐานมีความสูง 13 เซนติเมตร ชั้นที่สองมีความสูง 20.50 เซนติเมตร และชั้นที่สามมีความสูง 64 เซนติเมตร มีส่วนที่ยื่นออกจากชั้นบนสุดมีความยาว 20 เซนติเมตร ตัวฐานติดตั้งอยู่บนล้อเลื่อนสามารถเคลื่อนที่ได้ แสดงดังรูปที่ 5

7. สร้างระบบการทำงานของเตาหลอม คือ ก่อถ่านโค้กให้ติดไฟรอบ ๆ ภายในห้องเผาไหม้ จากนั้นหยดน้ำมันดีเซลโดยใช้หัวลวเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน และใช้พัดลมเป่าน้ำมันและอากาศเข้าไปในห้องเผาไหม้โดยเตาหลอมที่สร้างเสร็จแล้วจะมีลักษณะดังรูปที่ 6

2.4 กระบวนการทดสอบเตาหลอมอะลูมิเนียม

การทดสอบเตาหลอมอะลูมิเนียมจะนำเอาอัตราความเร็วลมของพัดลมเป่าอากาศและอัตราการไหลของน้ำมันดีเซลที่เหมาะสมมาทำการทดสอบร่วมกับถ่านโค้กในการหลอมอะลูมิเนียม โดยการทดสอบเตาหลอมจะทดสอบทั้งหมด 4 ครั้ง แต่ละครั้งจะใช้ปริมาณของอะลูมิเนียม 6 กิโลกรัม และปริมาณถ่านโค้ก 5 กิโลกรัม ทำการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดเป็นช่วง ๆ และสังเกตดูการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการหลอมไปในทิศทางใดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำมันและความเร็วลม โดยในการทดสอบหล่ออะลูมิเนียมจะใช้กรรมวิธีการหล่อแบบโฟมหาย มีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดแบบโฟมให้เป็นรูปตราสัญลักษณ์คณะวิศวกรรมศาสตร์

2. นำทรายหล่มาอัดแบบโฟมที่ตัดเตรียมไว้ โดยใช้กระสวนไม้เป็นตัวประกอบแบบหล่อ แสดงดังรูปที่ 7

3. นำท่อวางลงบนแบบโฟม เพื่อเป็นช่องสำหรับเทน้ำอะลูมิเนียมและช่องสำหรับให้น้ำอะลูมิเนียมออกเมื่อน้ำอะลูมิเนียมแทนที่แบบแล้ว จากนั้นอัดทรายหล่อให้แน่นเสมอกับแบบไม้ แสดงดังรูปที่ 8

4. ทำการก่อไฟภายในเตาหลอมให้รอบแต่จะเว้นช่องว่างตรงกลางไว้สำหรับใส่แท่นวางเบ้าหลอม เพราะถ่านโค้กจะเป็นเชื้อเพลิงช่วยให้ถ่านโค้กติดไฟ

5. เมื่อถ่านติดไฟรอบเตา นำเบ้าหลอมวางบนแท่นวางเบ้าให้อยู่กึ่งกลางของเตาหลอม

6. ใส่ถ่านโค้กตามปริมาณที่ได้กำหนดไว้ในกาทดสอบให้รอบเข้าหลอม จากนั้นเปิดพัดลมเป่าอากาศเพื่อให้ถ่านโค้กนั้นติดไฟ หลังจากนั้นปิดฝาเตาเพื่อลดการสูญเสียความร้อน



รูปที่ 5 การประกอบฐาน ติดตั้งพัดลม ถังน้ำมัน และวาล์วควบคุมน้ำมัน



รูปที่ 6 เตาหลอมอะลูมิเนียม



รูปที่ 7 การอัดแบบหล่อทราย



รูปที่ 8 การวางท่อแบบโฟม



รูปที่ 9 ใส่อะลูมิเนียมลงในเข้าหลอม



รูปที่ 10 อะลูมิเนียมที่หลอมเหลว



รูปที่ 11 แกะแบบหล่อออก



รูปที่ 12 ชิ้นงานจากเตาหลอม

7. เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที ให้วัดอุณหภูมิในเบ้าหลอม สังเกตลักษณะเบ้าหลอมเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดง

8. ใส่อะลูมิเนียมตามน้ำหนักที่กำหนดไว้โดยใช้กระบวย เหล็กเพื่อป้องกันอันตรายจากความร้อน แสดงดังรูปที่ 9

9. สังเกตการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านโค้ก แล้วทำการวัด อุณหภูมิที่อะลูมิเนียมเป็นช่วง ๆ โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบ อินฟราเรด เมื่ออะลูมิเนียมหลอมเหลวให้ตักน้ำอะลูมิเนียมลงในแบบหล่อทรายที่เตรียมไว้ อะลูมิเนียมที่หลอมเหลวแสดง ดังรูปที่ 10

10. เมื่อน้ำอะลูมิเนียมเต็มทั่วทั้งแบบ รอปประมาณ 10 นาที จากนั้นแกะอะลูมิเนียมออกจากแบบหล่อ แสดงดังรูปที่ 11-12

2.5 การทดสอบประสิทธิภาพของเตาหลอม

การทดสอบประสิทธิภาพของเตาในการหลอมอะลูมิเนียม ทำได้โดยกำหนดตัวแปรหลัก คือ ความเร็วลมจากพัดลมเป่า อากาศ และตัวแปรรอง คือ เชื้อเพลิงที่ใช้ในการหลอม ทำการ ทดสอบความเร็วลมแต่ละระดับที่ป้อนเข้าสู่ช่องเตาหลอมที่มี ผลต่อระยะเวลาในการหลอม และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยใช้ เครื่องวัดความเร็วลมและเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด หลังจากนั้นนำผลการทดสอบหลอมอะลูมิเนียมที่ได้ในข้างต้น มาคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาหลอม [7]

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 การทดสอบความเร็วลมจากพัดลมเป่าอากาศ

ความเร็วลมจากพัดลมเป่าอากาศจะทำการทดสอบโดย กำหนดระดับสเกลของพัดลมเป่าอากาศขึ้นมาและทำการวัด ความเร็วลมแต่ละระดับนั้นด้วยเครื่องวัดความเร็วลมได้ผล การทดสอบดังตารางที่ 1 โดยความเร็วลมที่ระดับสเกล 1 ให้ ความเร็วลมต่ำสุดที่ 3.50 เมตร/วินาที และความเร็วลมที่ ระดับสเกล 4 ให้ความเร็วลมสูงสุดที่ 6.90 เมตร/วินาที

3.2 การทดสอบอัตราการไหลของวาล์วน้ำมัน

อัตราการไหลของน้ำมันจะทำการทดสอบโดยกำหนด สเกลของวาล์วน้ำมันขึ้นมาและทำการวัดอัตราการไหลใน สเกลระดับนั้นด้วยการเปิดวาล์วแล้วให้น้ำมันไหลลงใส่ภาชนะ ตวงแล้วจับเวลา ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 2

จากผลการทดสอบอัตราไหลของน้ำมันในแต่ละระดับสเกล อัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุดคือระดับ 1 โดยมีอัตราการไหล นานที่สุดที่ประมาณ 21 นาที/ลิตร ส่วนระดับอื่น ๆ นั้นไม่ เหมาะสมที่จะนำไปทดสอบต่อ เนื่องจากให้อัตราการไหลของ น้ำมันที่มากทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงมากเกินไป

3.3 การทดสอบหาอัตราความเร็วลมที่ใช้กับเตาหลอม

การทดสอบหาอัตราความเร็วลมที่ใช้กับเตาหลอม อะลูมิเนียมจะนำเอาอัตราความเร็วลมของพัดลมเป่าอากาศ และอัตราการไหลของน้ำมันดีเซลที่เหมาะสมมาทำการ ทดสอบร่วมกับถ่านโค้กในการหลอมอะลูมิเนียม โดยการ ทดสอบเตาหลอมจะทดสอบทั้งหมด 4 ครั้ง แต่แต่ละครั้งจะทำการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดเป็นช่วงๆ โดยมีผลการทดสอบดังนี้

จากการทดสอบทั้งหมด 4 ครั้ง พบว่าการทดสอบครั้งที่ 1 ที่ความเร็วลม 3.50 เมตร/วินาที อัตราการไหลของน้ำมัน 21 นาที/ลิตร ปริมาณถ่านโค้กที่ใช้ 3.30 กิโลกรัม สามารถหลอม อะลูมิเนียมจำนวน 6 กิโลกรัม ภายในระยะเวลา 100 นาที เป็นการทดสอบที่ใช้เวลาในการทำให้อุณหภูมิอะลูมิเนียมถึง จุดหลอมเหลว 660 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลาที่น้อย ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบอื่น ๆ โดยอุณหภูมิ เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 6 องศาเซลเซียส/นาที และอะลูมิเนียมที่ทดสอบ หลอมละลายสามารถเทลงแบบหล่อได้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความเร็วลมของพัดลมเป่าอากาศ

ระดับของสเกล	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
1	3.50
2	4.90
3	6.30
4	6.90

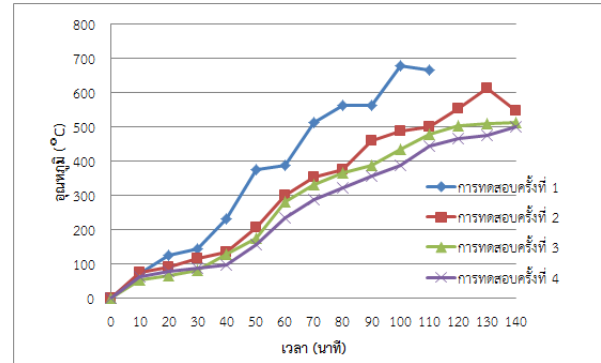
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบอัตราการไหลน้ำมันดีเซลโดยประมาณ

ระดับของสเกล	อัตราการไหล (นาทิลิตร)
1	21
2	3
3	1
4	0.67
5	0.72

ผลการทดสอบครั้งที่ 2 ที่ความเร็วลม 4.90 เมตร/วินาที สามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้ที่ 613 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 110 นาที ใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมด 140 นาที เชื้อเพลิงน้ำมันที่ใช้ทั้งหมด 2 ลิตร ปริมาณถ่านโค้กที่ใช้ 4.80 กิโลกรัม อุณหภูมิมีการเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4 องศาเซลเซียส/นาที สามารถทำให้น้ำอะลูมิเนียมละลายได้ภายใน 110 นาที แต่ไม่สามารถทำการตักน้ำอะลูมิเนียมใส่ลงในแบบได้ เนื่องจากน้ำอะลูมิเนียมที่ได้นั้นเย็นตัวในระยะเวลาอันรวดเร็วสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะเชื้อเพลิงถ่านโค้กที่ให้พลังงานความร้อนแก่เตาหลอมนั้นเผาไหม้หมดไป การทดสอบในครั้งนี้จึงใช้กับเตาหลอมได้หากมีการเติมเชื้อเพลิงถ่านโค้กให้พลังงานความร้อนกับเตาหลอม

ผลการทดสอบครั้งที่ 3 ที่ความเร็วลม 6.30 เมตร/วินาที สามารถทำอุณหภูมิอะลูมิเนียมได้ที่ 513 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 110 นาที ใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมด 140 นาที เชื้อเพลิงน้ำมันที่ใช้ทั้งหมด 2 ลิตร ปริมาณถ่านโค้กที่ใช้ 4.60 กิโลกรัม มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ย 3.6 องศาเซลเซียส/นาที แต่อะลูมิเนียมไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะหรือไม่หลอมเหลว เพราะอุณหภูมิของอะลูมิเนียมยังไม่ถึงจุดหลอมเหลว การทดสอบนี้จึงไม่สามารถใช้งานกับเตาหลอมได้

การทดสอบครั้งที่ 4 ที่ความเร็วลม 6.90 เมตร/วินาที สามารถทำอุณหภูมิอะลูมิเนียมได้ที่ 502 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 110 นาที ใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมด 140 นาที เชื้อเพลิงน้ำมันที่ใช้ทั้งหมด 2 ลิตร ปริมาณถ่านโค้กที่ใช้ 4.70 กิโลกรัม มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ย 3.5 องศาเซลเซียส/นาที สถานะของอะลูมิเนียมไม่มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการทดสอบครั้งที่ 3 เพราะอุณหภูมิของอะลูมิเนียมยังไม่ถึงจุดหลอมเหลว ผลการทดสอบครั้งที่ 1 - 4 แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบอัตราความเร็วลมที่ใช้กับเตาหลอมอะลูมิเนียมจากการทดสอบครั้งที่ 1 - 4

ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำมันดีเซลมีผลต่อการเผาไหม้ของถ่านโค้ก กล่าวคือเมื่อมีอัตราการไหลของน้ำมันดีเซลมากทำให้ถ่านโค้กเกิดการเผาไหม้ได้ดี สามารถทำอุณหภูมิอะลูมิเนียมถึงจุดหลอมเหลว 660 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลาที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบอื่น ๆ จึงใช้ถ่านโค้กน้อยที่สุดคือ 3.30 กิโลกรัม นอกจากนี้ความเร็วลมจากพัดลมเป่าอากาศก็มีผลต่อการหลอมเหลวของอะลูมิเนียมเป็นอย่างมากเช่นกัน โดยถ้าปริมาณอากาศจากพัดลมเป่าอากาศมากเกินไปก็จะพาพลังงานความร้อนออกจากห้องเผาไหม้เร็วขึ้นแทนที่จะถ่ายเทให้กับผนังเตาและเบ้าหลอมโลหะซึ่งทำให้การสูญเสียความร้อนไปกับไอเสียส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาทดสอบไม่สูงเท่าที่ควร [8]

3.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพของเตา

จากการที่ได้ผลการทดสอบหลอมอะลูมิเนียมที่ได้ในข้างต้น จะนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาหลอมโดยคำนวณจากสมการ (1) ซึ่งคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ถ่ายเทให้กับวัตถุและความร้อนของเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไป [9] ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของเตาหลอม} = \frac{\text{ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับวัตถุ}}{\text{ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไป}} \quad (1)$$

โดยความร้อนที่ถ่ายเทให้กับวัตถุ (Q_m) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) ดังนี้

$$Q_m = M_m C_{p,m} (T_{m,out} - T_{m,in}) + M_m LH \quad (2)$$

เมื่อ
 Q_m คือ ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับวัตถุ (kcal/hr)
 M_m คือ ปริมาณของวัตถุที่รับความร้อน (kg/hr)
 $C_{p,m}$ คือ ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของวัตถุรับความร้อน (kcal/kg °C)
 $T_{m,out}$ คือ อุณหภูมิของวัตถุรับความร้อนออกจากระบบ(°C)

$T_{m,in}$ คือ อุณหภูมิของวัตถุรับความร้อนเข้าระบบ ($^{\circ}\text{C}$)

LH คือ ค่าความร้อนแฝงของวัตถุรับความร้อน
(kcal/kg)

จากการคำนวณได้ค่าความร้อนที่ถ่ายเทให้กับวัตถุ คือ
1,710.76 kcal/hr

สำหรับความร้อนของเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไป (Q_f) คือ ความร้อนที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิง สามารถคำนวณได้จากสมการ (3) ดังนี้

$$Q_f = M_f LHV \quad (3)$$

เมื่อ

Q_f คือ ความร้อนของเชื้อเพลิง (kcal/hr)

M_f คือ ปริมาณที่ใช้ของเชื้อเพลิง (kg, l/hr)

LHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kcal/kg, l)

จากการคำนวณได้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้คือ 30,468 kcal/hr

เมื่อคำนวณพบว่าประสิทธิภาพของเตาหลอมอะลูมิเนียมโดยใช้ถ่านโค้กร่วมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มีค่าประสิทธิภาพของเตาร้อยละ 5.61

3.5 ค่าใช้จ่ายของการหลอม

ราคาถ่านโค้ก 1 กิโลกรัมละ 35 บาท น้ำมันดีเซลลิตรละ 30 บาท รวมเป็นเงิน 849 บาท แสดงดังตารางที่ 3 อะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 20 กิโลกรัม เป็นเงิน 2,000 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการทดสอบทั้งหมดรวมเป็นเงิน 2,849 บาท

ตารางที่ 3 สรุปค่าใช้จ่ายของการหลอมในแต่ละครั้ง

ทดสอบครั้งที่	ถ่านโค้ก (กิโลกรัม)	น้ำมันดีเซล (ลิตร)	รวมเป็น เงิน
1	3.30	2	175.50
2	4.80	2	228.00
3	4.60	2	221.00
4	4.70	2	224.50
รวม	17.40	8	849.00

อัตราการไหลของน้ำมัน ปริมาณถ่านโค้กที่ใช้ อุณหภูมิ [10] และเวลาในการเผา มีผลต่อประสิทธิภาพการหลอมอะลูมิเนียม นอกจากนี้ความเร็วลมจากพัดลมเป่าอากาศยังส่งผลต่ออุณหภูมิภายในเตาทดสอบ เนื่องจากถ้าความเร็วลมจากพัดลมเป่าอากาศมากเกินไปจะพาพลังงานความร้อนออกจากห้องเผาไหม้เร็วขึ้นแทนที่จะถ่ายเทให้กับผนังเตาและเป่าหลอม ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาทดสอบลดต่ำลง ข้อดีของเตาหลอมที่สร้างขึ้น ได้แก่ ขั้นตอนในการปฏิบัติการหลอมกระทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก ราคาต้นทุนในการสร้างและการซ่อมบำรุงไม่สูงเมื่อเทียบกับราคาในท้องตลาด สามารถแยกส่วนระหว่างพัดลมเป่าอากาศและตัวเตาหลอมได้ โดยทั้ง 2 ส่วนนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้สะดวก และสามารถหลอมอะลูมิเนียม

ในปริมาณที่มากกว่า คือ 6 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่หลอมได้เพียงครั้งละ 4 กิโลกรัม [3]

4. บทสรุป

จากการใช้งานเตาหลอมโดยใช้ถ่านโค้กร่วมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เพื่อใช้ในการหลอมอะลูมิเนียมสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. อัตราความเร็วลมจากพัดลมเป่าอากาศ 3.50 เมตร/วินาที ปริมาณถ่านโค้ก 3.30 กิโลกรัม อัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง 21 นาฬิกา/ลิตร เป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงร่วมที่เหมาะสมที่สุดในการใช้หลอมของอะลูมิเนียมกับเตาหลอมอะลูมิเนียมที่จัดสร้างขึ้น

2. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหลอมมีค่าร้อยละ 5.61

3. ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในการหลอมแต่ละครั้งคิดเป็นเงิน 849 บาท และมีต้นทุนในการผลิตเตาหลอมประมาณ 20,000 บาท ซึ่งมีราคาต่ำกว่าราคาในท้องตลาด

4. มีคู่มือการใช้งานเตาหลอมอะลูมิเนียม ซึ่งเนื้อหาประกอบไปด้วยรายละเอียดของเตาหลอม ปัญหาและการแก้ปัญหาของเตาหลอม การบำรุงรักษาและซ่อมแซม ขั้นตอนการปฏิบัติงานและการใช้เตาหลอมอะลูมิเนียมอย่างปลอดภัย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัยจากสาขาวิศวกรรมอุตสาหการและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก และสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้ข้อมูลความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างเตาหลอมอะลูมิเนียม

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Arunachalam R, Krishnan PK, Muraliraja R. A review on the production of metal matrix composites through stir casting–furnace design, properties, challenges, and research opportunities. Journal of Manufacturing Processes. 2019;42:213-45.
- [2] Supasin S, Chaitep S, Vittayapadung S. Compare thermal efficiency aluminum crucible furnace using lard oil share liquefied petroleum gas and diesel oil. Research Journal Kasalongkham. 2017; 11(3):317-326. Thai.



- [3] Chusawat S. Design of laboratory crucible furnace by using oxygen-acetylene gas. Available from: <http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2553/2852> [Accessed 15th October 2018]. Thai.
- [4] Trakulku K. Polymer Technology. Xpress Media Publishing, Bangkok; 1990. Thai.
- [5] Panwar N, Chauhan A, Pali HS, Sharma MD. Fabrication of aluminum 6061 red- mud composite using stir casting and micro structure observation. Materials Today: Proceedings. 2020; 21: 2014–23.
- [6] Srisomroeng P, Suebthet S, Sukyot T. Design and build a servo press for use in sheet metal forming. Industrial Engineering Network Conference Annual; 2012 Oct 17-19; Cha-am, Phetchaburi; 2012. p. 256-259. Thai.
- [7] Rezazadeh N, Hosseinzadeh H, Wu B. Effect of burners configuration on performance of heat treatment furnaces. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2019;136: 799-807.
- [8] Pugasa K, Yongcharoen W. Energy improvement of aluminum melting furnace employing bunker oil burner type. Journal of Energy Research. 2015; 12(1):1-15. Thai.
- [9] Yunus AC. Heat transfer: a practical approach 2nd Edition. New Yorks: McGraw-Hill; 2013.
- [10] Dhaneswara D, Fatriansyah JF, Ramadhan R, Ashari A. The effect of melting temperature aluminum metal casting using mixed degasser based sodium fluoride and sodium nitrate. MATEC Web of Conferences. 2019;269:p. 07001.

การพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับรับซื้อขวดน้ำดื่มใส่อัตโนมัติด้วยการใช้เซ็นเซอร์วัดน้ำหนัก ร่วมกับการประมวลผลภาพ และแจ้งผลผ่านไลน์โนติฟาย

Development of PET Bottle Purchasing Machine using Load Cell and Image Processing with LINE Notify

ไกรสร เรือนแก้ว¹ เรวัต อุตโม¹ วัฒนชัย ศรีกลิ่น¹ ปรัชญ์ ปิยะวงศ์วิศาล¹ อนุชล หอมเสียง¹
และ ขวัญชัย เอื้อวิริยานุกุล¹ *

¹ หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Grisorn Reunkaw¹, Rawat Aoutamo¹, Wattanachai Srikrin¹, Pratch Piyawongwisal¹, Anuchon
Homsiang¹ and Kwanchai Eurviriyankul¹ *

¹ Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

*ผู้รับผิดชอบบทความ: kwanchai@rmutl.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 08-3762-5128

Received: 16 June 2020, Revised: 17 February 2021, Accepted: 30 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับรับซื้อขวดพลาสติกใส่อัตโนมัติ 3 ขนาด และแจ้งเตือนผลการทำงานผ่านไลน์โนติฟาย โดยมีขั้นตอนการทำงานคือ หากผู้ใช้งานระบบไม่เคยใช้งานมาก่อนต้องสมัครสมาชิกผ่านตู้หยอดเหรียญเพื่อสร้างบัญชี หลังจากนั้นผู้ใช้งานสามารถหยอดขวดลงในช่องรับขวด ระบบจะตรวจสอบว่าขวดมีน้ำหนักอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่ด้วยเซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนัก และใช้ภาพจากกล้องเพื่อตรวจจับว่าเป็นขวดหรือไม่ด้วยสถาปัตยกรรมการเรียนรู้เชิงลึก MobileNet-SSD หากเป็นสิ่งแปลกปลอมระบบจะสั่งให้ เซอร์โวมอเตอร์ ทำการหมุนเพื่อพลิกฐานรองในการคืนสิ่งแปลกปลอมทันที แต่ถ้าเป็นขวดระบบจะทำการวัดขนาดของขวดด้วยการอ่านค่าความกว้างของขวด เมื่อได้ค่าน้ำหนักกับขนาดขวดมาแล้ว ระบบจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลว่าตรงกันหรือไม่ โดยขวดเล็กขนาด 600 ml จะมีค่าจากเซ็นเซอร์ 60-70 หน่วย (ซึ่งเป็นค่าที่อ่านได้จากโมดูลขยายสัญญาณ HX711) และขนาดความกว้างอยู่ที่ 171-184 พิกเซล ขวด 750ml จะมีค่าเซ็นเซอร์ 85-90 หน่วย และความกว้างอยู่ที่ 186-219 พิกเซลและขวด 1500ml จะมีค่าเซ็นเซอร์ 120-150 หน่วย และความกว้างอยู่ที่ 226-299 พิกเซล ระบบจึงจะทำการรับขวดแต่ถ้ามีเงื่อนไขใดไม่ตรงตามที่กำหนดไว้ก็จะทำการคืนขวด เมื่อเซอร์โวมอเตอร์ ทำการหมุนคืนขวดหรือรับขวดเสร็จสิ้นฝาช่องรับขวดก็จะเปิดให้หยอดเพิ่ม เมื่อรับขวดแล้วระบบจะทำการ บันทึกจำนวนขวดและคำนวณจำนวนเงินเข้าสู่บัญชีผู้ใช้งานและส่งข้อความแสดงผลการรับซื้อขวดผ่านไลน์โนติฟาย ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถรับขวด 3 ขนาด ได้ถูกต้องทั้งหมด 26 ครั้งจากจำนวนการทดสอบ 30 ครั้งคิดค่าความถูกต้องเป็น 87 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในการทดสอบการปฏิเสธสิ่งแปลกปลอม 3 ประเภทได้แก่ กระดาษ ท่อพีวีซี และแท่งกวาด จำนวน 30 ครั้งระบบสามารถทำงานได้ถูกต้องทั้งหมดคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ ผู้รับซื้อขวดอัตโนมัติ เซ็นเซอร์วัดน้ำหนักแบบโหลดเซล การประมวลผลภาพ โมบายเน็ต ไลน์โนติฟาย ราสเบอร์รี่พาย

Abstract

The objective of this research is to develop a prototype machine for purchasing empty plastic bottles of 3 sizes for recycling with notification via LINE Notify. At the initial use, the user must create an account. The user can then sign in and insert empty bottles into the front slot. When a bottle is inserted, the system checks whether the weight is within the specified range by using a weighing sensor. In addition, a camera is used to capture the object's image and the system determines whether or not it is a bottle using MobileNet-SSD object detector. If not, a servo motor immediately turned over the tray to return that object. Otherwise, the system proceeds

to measure the size of the bottle by its width. The weight and size of the bottle are then compared to the pre-defined standard values. A 600 ml bottle should weigh between 60-70 unit (which is read by the HX711 amplifier module) and have a width of 171-184 pixels. A 750 ml bottle should weigh between 85-90 units and have a width of 186-219 pixels and a 1500ml bottle should weigh between 120-150 units and have a width of 226-299 pixels. If the conditions are met, the bottle will be accepted, otherwise it was returned by rotating the tray holding the bottle with a servo motor. After accepting the bottle, the system will update the bottle number, make a payment to the account, as well as send a message to the user through LINE Notify. The experiment results showed that the proposed system was able to accept bottles 26 times out of the 30 tests (an accuracy of about 87 percent). In addition, three different types of erroneous objects were tested for rejection including paper, a PVC pipe and a glue stick for 30 times. The system was able to correctly reject such objects with 100 percent accuracy.

Keywords: Automatic Bottle Purchasing Machine, Weight Sensor (Load Cell), Image processing, MobileNets, LINE Notify, Raspberry Pi

1. บทนำ

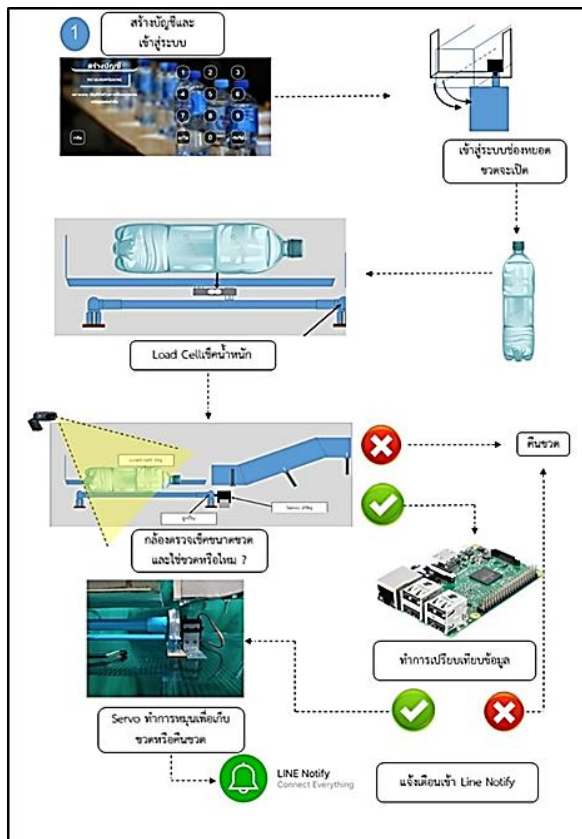
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับรับซื้อขวดพลาสติกใสอัตโนมัติ 3 ขนาด และแจ้งเตือนผลการทำงานผ่านไลน์โนติฟาย เพื่อสนับสนุนการคัดแยกขวดพลาสติกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ในการคัดแยกขวดนั้นคณะผู้วิจัยได้ใช้หลักการของการวัดน้ำหนักขวดด้วยเซ็นเซอร์วัดน้ำหนักแบบโหลดเซลล์ ร่วมกับการประมวลผลภาพด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อใช้ในการจดจำและวัดขนาดของความกว้างของขวดเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการทำงานของระบบ หากค่าที่วัดได้ ไม่สอดคล้องกับค่าที่ถูกกำหนดไว้โดยโปรแกรม ระบบจะทำการคืนขวดโดยใช้ เซอร์โวมอเตอร์ที่เชื่อมต่อกับฐานรองขวดหมุน เพื่อพลิกฐานรองให้ขวดไหลลงไปยังช่องคืนขวด แต่หากค่าที่วัดสอดคล้องกับค่าที่ถูกกำหนดไว้ในโปรแกรม ระบบจะสั่งการให้ เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปในทิศทางตรงกันข้ามเพื่อให้ขวดไหลลงในช่องรับขวด ระบบจะทำการบันทึกค่าน้ำหนักของขวดและจำนวนเงินที่ได้จากการรับซื้อขวดลงฐานข้อมูลของระบบตามบัญชีผู้ใช้งานระบบ โดยผู้ใช้งานระบบจำเป็นต้องลงทะเบียนผู้ใช้งานผ่านหน้าจอแบบระบบสัมผัส และแจ้งผลการรับซื้อผ่านไลน์โนติฟาย การทดสอบระบบแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำหนักของขวดร่วมกับการประมวลผลภาพโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อใช้ในการจดจำและวัดขนาดของขวดพลาสติกทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 87 จากการทดสอบทั้งหมด

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพในการตรวจจับวัตถุที่ต้องการเช่น [1, 2] ซึ่งเทคนิคที่สำคัญในการประมวลผลภาพที่ใช้งานงานวิจัยนี้มีดังนี้ SSD: Single

Shot MultiBox Detector [3] เป็นสถาปัตยกรรมการเรียนรู้เชิงลึกที่ใช้ในการจำแนกและระบุตำแหน่งของวัตถุในภาพโดยวัตถุที่ถูกตรวจจับในภาพจะถูกตีกรอบสี่เหลี่ยมและถูกระบุความเชื่อมั่นว่าวัตถุดังกล่าวเป็นวัตถุประเภทใดซึ่งสถาปัตยกรรมดังกล่าวมีความถูกต้องในการทำงานในการวัดแบบ Mean average precision (mAP) อยู่ที่ประมาณ 23.4 เปอร์เซ็นต์ (ด้วยสถาปัตยกรรม SSD300 mAP@(.5,.95)) บน COCO dataset [4] ซึ่งเป็นชุดข้อมูลรูปภาพที่เผยแพร่โดย Microsoft สำหรับการทดสอบด้านการจดจำและจำแนกวัตถุในรูปภาพ MobileNets [5] เป็นสถาปัตยกรรมการเรียนรู้เชิงลึกที่มีความสามารถในการจดจำวัตถุ ซึ่งถูกออกแบบให้มีขนาดโมเดลที่เล็ก เพื่อที่จะสามารถทำงานบนอุปกรณ์แบบพกพาเช่นโทรศัพท์มือถือ หรือเครื่องคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดียว (single-board computer) ได้โดยใช้เวลาน้อยลงเมื่อเทียบกับสถาปัตยกรรมอื่นแต่ก็ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ยกตัวอย่างเช่น MobileNetSSD-300 (ขนาดภาพที่ถูกทดสอบในระบบจะถูกลดขนาดให้เป็น300*300 พิกเซล) ได้ค่า mAP@(.5,.95) อยู่ 19.3 percent ในขณะที่จำนวน parameter สามารถลดลงได้ถึง 2 – 5 เท่าตัวจึงทำให้สถาปัตยกรรม MobileNet-SSD ถูกนำมาใช้บนอุปกรณ์มือถือและ single-board computer เช่นราสเบอร์รี่พาย ที่ถูกใช้ในงานวิจัยนี้สำหรับการประมวลผลภาพเพื่อใช้การตรวจจับขวดในภาพ ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมถึงวิธีการในการวัดความถูกต้องในการตรวจจับวัตถุในภาพจากบทความ A Survey on Performance Metrics for Object-Detection Algorithms [6] โหลดเซลล์ (Load cells) เป็นทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ที่ทำการแปลงค่าความตึงเครียดของ strain gage เป็นสัญญาณไฟฟ้า แต่สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าต่ำจึงมีการใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณ HX711 ซึ่งเป็น 24-bit

Analog to Digital Converter ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเพื่อที่และส่งข้อมูลให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว Raspberry Pi ในการประมวลผลต่อไป [7] เซอร์โวมอเตอร์ (Servomotor) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ผู้ใช้งานสามารถควบคุมตำแหน่งของแกนความเร็ว และความเร็วในการหมุนได้ ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) เป็นคอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยวที่ได้รับความนิยมใช้งานด้านการควบคุมและหุ่นยนต์โดยอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ดังกล่าวมีขนาดเล็กและสามารถติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์ที่จะถูกควบคุมได้อย่างสะดวก จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเราสามารถออกแบบขั้นตอนการทำงานของระบบได้ดังนี้



รูปที่ 1 ภาพรวมของระบบ

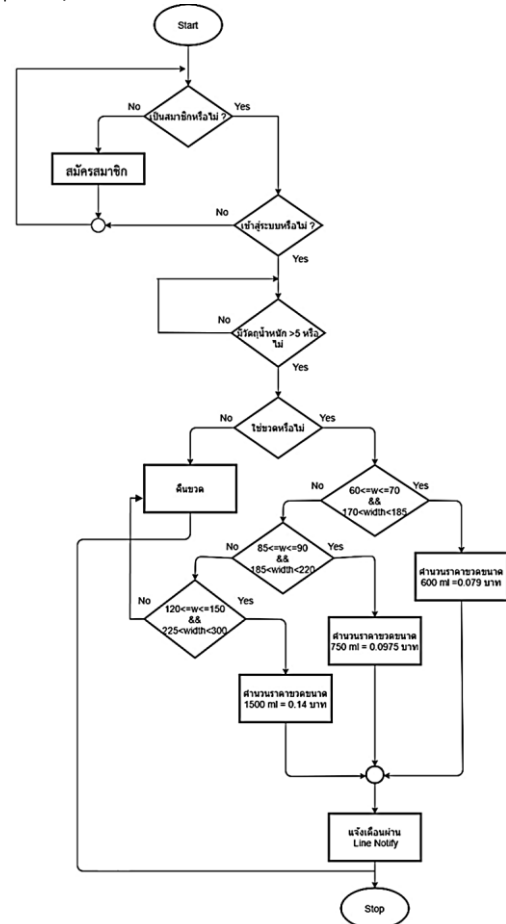
รูปที่ 1 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ เมื่อทำการเข้าสู่ระบบสำเร็จจะเปิดช่องหยุดเมื่อผู้ใช้งานหยุดขวดเข้าไป ขั้นตอนแรกของการทำงานจะเป็นส่วนของการตรวจสอบน้ำหนัก ถ้าเงื่อนไขไม่ตรงตามที่กำหนด ระบบจะทำการคืนขวดทันทีแต่ถ้าน้ำหนักอยู่ในช่วงที่กำหนดระบบทำการวัดขนาดความกว้างและตรวจสอบว่าตรงกับเงื่อนไขของขวดขนาดใดในโปรแกรมยกตัวอย่างเช่น ขวด 600 ml มีน้ำหนัก 60-70 หน่วย (ประมาณ 14 - 15 กรัม) และความกว้าง 171-185 พิกเซล ถ้าขนาดความกว้างของขวดไม่ตรงตามที่กำหนดระบบจะทำการคืนขวด แต่ถ้าข้อมูลถูกต้องตามเงื่อนไขจะคำนวณราคา

ของขวดแต่ละขนาดจากนั้นทำการส่งแจ้งเตือนยอดเงินผ่านทาง LINE Notify

ตารางที่ 1 ข้อมูลน้ำหนักและความกว้างของขวดที่ถูกระบุไว้ในโปรแกรม

ประเภทขวด (ml.)	น้ำหนักขวด (หน่วย)	ขนาดความกว้าง (พิกเซล)
600	60-70	171-184
750	85-90	186-219
1500	120-150	226-299

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลน้ำหนักที่ได้จากการอ่านค่าจาก อุปกรณ์ขยายสัญญาณ HX711 และความกว้างของขวดที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้อง USB Webcam ที่ต่อเข้ากับ Raspberry Pi board



รูปที่ 2 ผังงานของระบบ

รูปที่ 2 แสดงผังการทำงานของโปรแกรมที่มีการตัดสินใจว่าเป็นขวดพลาสติกที่ต้องการหรือไม่ โดยระบบจะทำการตรวจสอบก่อนคุณสมบัติของขวดตามค่าที่เรากำหนดในโปรแกรมตามตารางที่ 1 ต่อไปเราจะอธิบายถึงรายละเอียดของอุปกรณ์และขั้นตอนการทำงานของแต่ละส่วนของระบบ

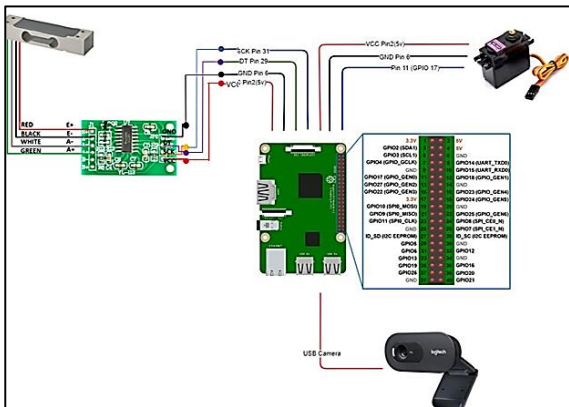
2.1 หลักการทำงานของฝาเปิด-ปิดช่องหยุดขวด

เมื่อผู้ใช้งานทำการ login เข้าสู่ระบบแล้ว ช่องรับขวดจะถูกเปิดโดยการทำงานของ เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 2 ถ้าวัดได้ถูกหยุด

ลงไปเมื่อมีน้ำหนักขึ้นมามากกว่า 5 หน่วย ระบบก็จะสั่งให้ปิดฝาช่องรับขวดเนื่องจากมีวัตถุลงไปในเครื่องแล้ว เมื่อ เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 ที่เชื่อมต่อกับถาดรองรับขวดหมุนกลับยังตำแหน่งเดิม (หมุน 2 ครั้ง เพราะ เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 ต้องเคลื่อนที่ครั้งแรกในการ รับ หรือคืนขวดที่เข้ามาสู่ระบบและต้องเคลื่อนที่ครั้งที่สองในการหมุนกลับมายู่ในตำแหน่งเดิม)ระบบจะสั่งให้ เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 2 ทำการเปิดฝาเพื่อให้รับขวดรอบต่อไปทันที

2.2 การออกแบบวงจรของ Hardware

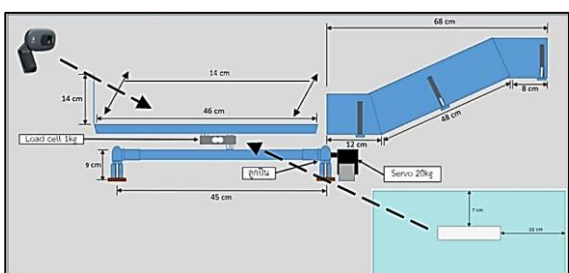
รูปที่ 3 แสดงถึงการเชื่อมต่อใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายโดย โหลดเซลล์แบบแท่งจะเชื่อมต่อกับวงจรขยายสัญญาณ HX711 โดยสายสีแดง ดำ ขาว เขียวจะเชื่อมต่อกับขา E+ E- A- A+ ตามลำดับ output ของ HX711 ได้แก่ GND DT SCK และ VCC จะถูกเชื่อมต่อกับขา 31 29 6 และ 2 ของ Raspberry Pi ตามลำดับ เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 และ 2 ถูกเชื่อมต่อกับ GPIO17 (pin11) และ GPIO27 (pin13) ตามลำดับ



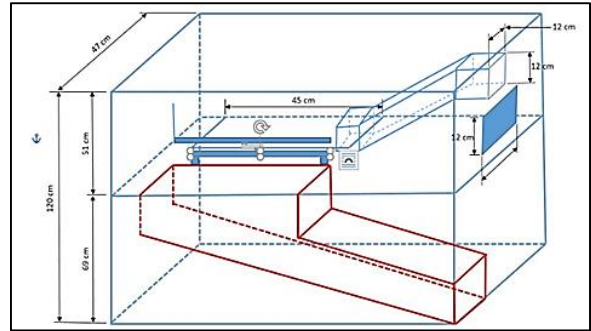
รูปที่ 3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของ Hardware

2.3 การออกแบบโครงสร้างภายใน

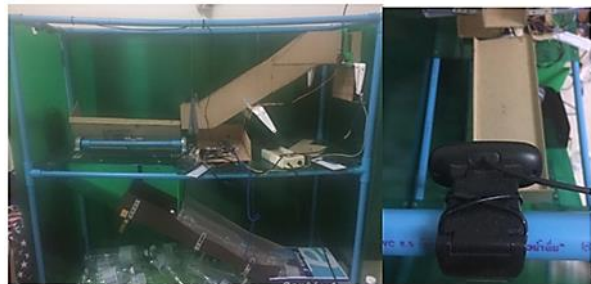
รูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงถึงความกว้างและความยาวของโครงสร้างภายในของระบบที่ใช้ในการรองรับขวด ส่วนสำคัญคือถาดที่รองรับขวดเมื่อถูกหยอดเข้าสู่ระบบ จะมีขนาด 14 cm.*26 cm. โหลดเซลล์จะถูกยึดติดตรงกึ่งกลางข้างล่างของถาด USB Webcam ถูกติดตั้งสูงขึ้นไปจากถาด 14 cm. เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 จะเชื่อมกับท่อ PVC ที่เชื่อมต่อกับโหลดเซลล์ ดังนั้นการสั่งงาน เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 ให้หมุน จึงทำให้เกิดการพลิกของถาดและทำให้เกิดการรับหรือคืนขวดขึ้น



รูปที่ 4 ออกแบบโครงสร้างภายในด้านข้าง



รูปที่ 5 การออกแบบโครงสร้าง 3 มิติ



รูปที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์

รูปที่ 6 แสดงการการประกอบและติดตั้งระบบตามโครงสร้างที่ออกแบบไว้ webcam ถูกติดตั้งบนโครง PVC ให้ทำการจับภาพจากถาดรองรับขวดที่อยู่ด้านใต้ในแนวเฉียง

2.4 หลักการตรวจสอบขวดพลาสติก

เซ็นเซอร์ชั่งน้ำหนัก (Load Cell) จะทำหน้าที่เช็ค น้ำหนักเมื่อมีสิ่งของเข้ามาไม่ว่าจะเป็นขวดหรือสิ่งแปลกปลอมที่มีค่าตั้งแต่ 5 หน่วยขึ้นไป (ซึ่งเป็นค่าที่ส่งมาจากแผงวงจร HX711) เมื่อมีน้ำหนักเข้าและอยู่ในช่วงน้ำหนักที่ถูกกำหนดไว้ในโปรแกรมตามตารางที่ 1 และรูปที่ 2 ระบบจะอ่านภาพจากกล้อง Webcam และตัดสินใจว่าเป็นขวดหรือไม่ ถ้าระบบตัดสินใจว่าเป็นขวด ระบบก็จะทำการวัดขนาดของขวดโดยวัดเฉพาะแค่ความกว้างเท่านั้น เพราะความยาวทำการวัดได้ยากเนื่องจาก กลไกโครงสร้างทำมาใหญ่เกินไปจึงทำให้ขวดอาจไม่อยู่ตำแหน่งที่กล้องตรวจจับ ได้เหมาะสม เราใช้ MobileNetSSD ซึ่งเป็นโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ได้อธิบายในส่วนที่ 2 โดยผู้สร้างโมเดลได้มีการสอนให้โมเดลดังกล่าวสามารถจดจำรูปแบบวัตถุได้เช่น ขวด รถ แก้ว ไม้ หมา แมว ดังนั้นเราจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เข้ากับระบบของเราเพื่อตรวจจับ ขวดพลาสติก และอ่านค่าความกว้างของขวดมาเปรียบเทียบกับค่าที่เราได้ทดสอบกับขวดต้นแบบเพื่อเพิ่มความแม่นยำจดจำและจำแนกขวด ซึ่งเราได้กำหนดตัวแปรความกว้างให้มีชื่อว่า w (ความกว้าง) ส่วน h (ความสูง) ซึ่งค่านี้ไม่ได้นำมาใช้ เพราะฐานที่ขวดวางอยู่มีขนาดใหญ่เกินไป อาจทำให้เกิดความผิดพลาดง่าย ส่วนตัวแปรที่ใช้ในการทำงานของระบบอีกหนึ่งตัวแปรคือ Bottle ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่นของระบบว่าขวด และมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ยกตัวอย่าง เช่น รูปที่ 7 แสดงผลการตรวจสอบ

ขวดพลาสติกที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบ โดยขวดดังกล่าวมีความกว้าง (w) เป็น 228 พิกเซล และความสูง (h) เป็น 554 พิกเซล อย่างไรก็ตามเราสามารถสังเกตได้ว่าความสูงนั้น ไม่ใช่ความสูงทั้งหมดของขวดพลาสติกเนื่องจากภาพที่กล้องจับได้ไม่ครอบคลุมส่วนท้ายของขวด นี่จึงเป็นเหตุผลถึงการตัดสินใจไม่



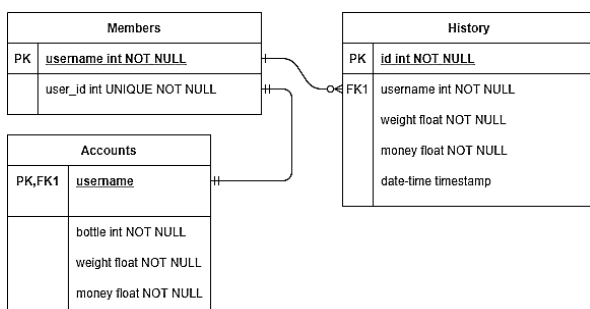
รูปที่ 7 ภาพตัวอย่างผลการตรวจสอบและรับขวดพลาสติก

โดยระบบสามารถระบุได้ว่าวัตถุที่ถูกป้อนเข้าไปเป็นขวดและค่าความเชื่อมั่นเป็น 84.99 เปอร์เซนต์ เมื่อเงื่อนไขในการตรวจสอบครบถ้วนคือ มีน้ำหนัก และค่าความเชื่อมั่นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด (ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดค่าความเชื่อมั่นต่ำสุดที่ยอมรับได้คือค่าความน่าจะเป็นอยู่ที่ 0.2) ระบบจะทำการรับขวดโดยสั่งการให้ เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 หมุนตามเข็มนาฬิกาไปอีก 35 องศาเพื่อทำให้ฐานรองขวดพลิกและทำให้ขวดลงทางช่องเก็บด้านขวามือและหมุนกลับมายังตำแหน่งเดิม

หากระบบตรวจสอบแล้วพบว่าไม่ใช่ขวดหรือน้ำหนักหรือความกว้างของขวดไม่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด ระบบจะสั่งการให้ เซอร์โวมอเตอร์ตัวที่ 1 หมุนทวนเข็มนาฬิกาไปอีก 20 องศาเพื่อคืนสิ่งแปลกปลอมและหมุนกลับมายังตำแหน่งเดิม หลังจากนั้นระบบจะทำการบันทึกข้อมูลของขวดลงสู่บัญชีผู้ใช้งานในฐานข้อมูลของระบบที่ทำงานใน Raspberry Pi ต่อไป

2.5 ฐานข้อมูลของระบบ

รูปที่ 8 และรูปที่ 9 แสดง Entity-Relationship Diagram และตัวอย่างข้อมูลที่ถูกบันทึกอยู่ในตาราง history ตามลำดับ โดยตาราง history มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการเก็บบันทึกประวัติในการใช้งานระบบของ user แต่ละคน



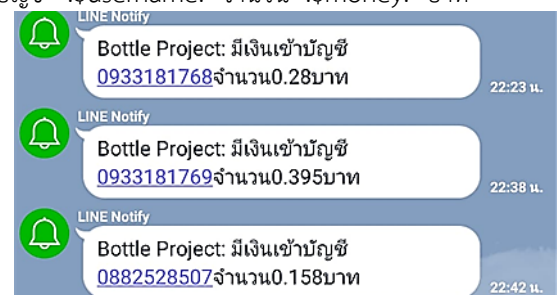
รูปที่ 8 Entity-Relationship Diagram ของระบบ

+ Options									
		id	username	bottle	weight	money	date-time		
☐	Edit			2	0933181768	2	234	2.87	2020-05-29 15:43:17
☐	Edit			3	0933181769	4	0	0.56	2020-05-29 15:46:26
☐				4	0933181768	0	227	0	2020-05-29 15:50:25
☐				5	0933181768	1	164	0.14	2020-05-29 15:54:16
☐				6	0933181768	4	375	0.377	2020-05-29 15:56:42

รูปที่ 9 ตัวอย่าง Relational Instance ของตาราง history โดยเรากำหนดให้ username เป็นเบอร์โทรศัพท์ของผู้ใช้งาน เพื่อใช้ในการระบุตัวตนของผู้ใช้งาน ส่วนตาราง Accounts นั้นเป็นตารางชั่วคราวที่ใช้เก็บข้อมูลของการใช้งานระบบในครั้งล่าสุดโดยเมื่อผู้ใช้งานไม่ประสงค์ที่จะป้อนขวดเข้าสู่ระบบแล้ว ผู้ใช้งานจะทำการกดปุ่มสิ้นสุดการทำงานที่ปรากฏบนหน้าจอ หลังจากนั้นระบบจะทำการ update ข้อมูลล่าสุดของจำนวนขวด จำนวนเงิน และน้ำหนักรวมลงในตาราง Accounts ซึ่งกระบวนการทำงานส่วนนี้จะเป็นส่วนของโปรแกรมที่เขียนด้วย ภาษาไพทอน ซึ่งใช้ในการวัดค่าน้ำหนักและตรวจสอบขวด (detection.py) หลังจากนั้นก็จะเป็นการแจ้งผลการทำงานให้ผู้ใช้งานผ่านไลน์โนติฟาย

2.6 การแจ้งเตือนผ่านไลน์โนติฟาย (LINE Notify)

หลังจากที่มีการ update ข้อมูลของขวดที่ระบบได้รับเข้าสู่ฐานข้อมูลที่ติดตั้งใน Raspberry Pi ในตาราง accounts แล้วโปรแกรมที่ทำงานในส่วนของการแสดงผลออกหน้าจอ (cong.php) ก็จะทำการดึงข้อมูลล่าสุดของการป้อนขวดจากตาราง Accounts และส่งข้อมูลผ่านไลน์โนติฟายโดยการเรียกใช้ API ตาม URL <https://notify-api.line.me/api/notify> โดยผู้ใช้งาน จะต้องกำหนดค่าโทเค็นที่ได้จากการสมัครใช้งานไลน์โนติฟาย (access token) และข้อความที่ต้องการส่ง ยกตัวอย่างเช่น \$sToken = "d02qO00bBRIgNPIOxvB5..."; \$sMessage = "มีเงินเข้าบัญชี " . \$username. "จำนวน" . \$money. "บาท"



รูปที่ 10 ตัวอย่างการแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify

รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างการแจ้งเตือนข้อมูลการใช้งานระบบล่าสุดผ่านโปรแกรมไลน์โนติฟาย ซึ่งหลังจากที่ระบบได้ส่งข้อมูลเสร็จแล้วระบบจะทำการ insert ข้อมูลการใช้งานล่าสุดลงตาราง history เพื่อเก็บเป็นประวัติการใช้งานระบบและ update ตาราง account ในส่วนของผู้ใช้งานระบบให้มีค่าจำนวนขวด (bottle) น้ำหนัก (weight) และเงิน (money) ให้เป็น 0 เพื่อรองรับการใช้งานครั้งต่อไปของผู้ใช้รายดังกล่าว

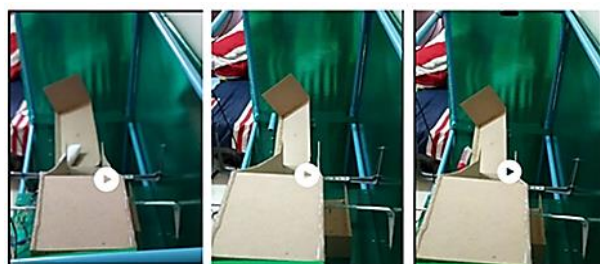
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความถูกต้องในการทำงานของระบบโดยการป้อนขวด 3 ขนาด (600ml, 750ml และ 1500ml) ขนาดละ 10 ครั้ง และได้มีการทดสอบระบบด้วยการป้อนสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ระบบจำนวน 3 ประเภท (กระดาษ, ท่อ PVC และ แท่งแก้ว)



รูปที่ 11 ตัวอย่างภาพการตรวจสอบขวดทั้ง 3 ขนาด

รูปที่ 11 แสดงภาพตัวอย่างของการตรวจสอบขวดทั้ง 3 ขนาดที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบและระบบทำการตรวจสอบว่าเป็นวัตถุที่เป็นขวด โดยระบุถึงความมั่นใจว่าเป็นขวดเป็น 99.56%, 99.34% และ 84.99% และ ความกว้างของขวดเป็น 162 พิกเซล, 185 พิกเซลและ 228 พิกเซล สำหรับขวดขนาด 600ml, 750ml และ 1500ml ตามลำดับ



รูปที่ 12 ตัวอย่างการป้อนสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ระบบ

รอบ/ วิธี	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ค่าความ แม่นยำ
600ml	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	90%
750ml	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	80%
1500ml	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	90%
สิ่งแปลกปลอม แบบกระดาษ	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	100%
สิ่งแปลกปลอม แบบท่อ PVC	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	100%
สิ่งแปลกปลอม แบบแท่งแก้ว	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	100%

ตารางที่ 2 ตารางสรุปผลการทดลองของระบบ

ตารางที่ 2 แสดงผลการการทดสอบระบบด้วยขวดจำนวน 3 ประเภทและสิ่งแปลกปลอมจำนวน 3 ประเภทผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถรับขวดได้ถูกต้องเป็น 90%, 80% และ 90% สำหรับขวดขนาด 600ml, 750ml และ 1500ml ตามลำดับสำหรับการทดสอบทั้งหมด 30 ครั้ง และระบบสามารถตรวจสอบและคืนสิ่งแปลกปลอมทั้ง 3 ประเภทได้ทุกครั้งจากการทดสอบทั้งหมด 30 ครั้ง จากรูปที่

12 เราสามารถสังเกตได้ว่าระบบจะทำการพลิกแท่นรองรับขวดให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาเพื่อทำการคืนวัตถุแปลกปลอมออกจากระบบ ความผิดพลาด 4 ครั้ง (x) ในการทำงานของระบบสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ขวดขนาด 600 ml. รอบที่ 10 เกิดจากการไหลของขวดที่ไม่ตรงตามตำแหน่งของกล้องในการวัดขนาดความกว้างและอยู่จุดที่เซ็นเซอร์วัดน้ำหนักได้ไม่ถูกต้อง

2. ขวดขนาด 750 ml. รอบที่ 4 เกิดจากแสงสะท้อนเข้ามาในตู้ทำให้กล้องวัดค่าความกว้างแปรปรวน วัดความกว้างของขวดได้มากเกินไปที่กำหนดไว้

3. ขวดขนาด 750ml. รอบที่ 8 เกิดจากการไหลติดขอบของฐานวางจึงทำให้ไหลเคล็ดน้ำหนักได้น้อยทำให้ไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด

4. ขวดขนาด 1500ml. รอบที่ 7 เกิดจากการป้อนขวดแล้วตำแหน่งที่ไหลลงของขวดเอียงไปด้านขวาทำให้กล้องวัดค่าความกว้างได้มากเกินไปที่กำหนดไว้

ดังนั้นเราสามารถสรุปถึง 5 ปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องในการตรวจสอบขวด คือ 1. ตำแหน่งของขวดบนแท่นวัดน้ำหนัก 2. แสงสะท้อน 3. การป้อนขวดเข้าสู่ช่องป้อนไหลที่ไม่ดี 4. กล้อง 5. ระยะจากกล้องถึงขวดพลาสติก

4. บทสรุป

คณะผู้วิจัยที่สร้างเครื่องต้นแบบสำหรับรับซื้อขวดน้ำดื่มใส่อัตโนมัติด้วยการใช้เซ็นเซอร์วัดน้ำหนักร่วมกับการประมวลผลภาพ และแจ้งผลผ่านไลน์โนติฟาย โดยระบบสามารถรับขวดเปล่าได้ 3 ขนาดคือ 600ml, 750ml และ 1500ml. ระบบใช้น้ำหนักของขวดวัดโดยโหลดเซลล์และภาพของขวดจับภาพโดยกล้อง USB webcam เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าวัตถุที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบนั้นเป็นประเภทของขวดที่ต้องการหรือไม่ โดยน้ำหนักของขวดต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดและภาพของขวดจะถูกนำเข้าสู่ระบบการเรียนรู้เชิงลึกที่มีสถาปัตยกรรมแบบ MobileNetSSD-300 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะระบุว่าภาพของวัตถุดังกล่าวเป็นขวดน้ำที่ความน่าจะเป็นเท่าไรและมีความกว้างของขวดเท่าไร หากวัตถุที่ถูกป้อนเข้าสู่ระบบมีเงื่อนไขถูกต้องตามที่ที่กำหนดไว้ในโปรแกรมระบบก็ทำการรับขวดบันทึกข้อมูลจำนวนขวด น้ำหนัก และราคาของการรับซื้อขวดเข้าสู่ฐานข้อมูล หลังจากนั้นระบบจะทำการแจ้งผลการทำงานให้ผู้ซื้อทราบผ่านไลน์โนติฟาย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าจากการทดลอง 30 ครั้ง ระบบสามารถรับขวดน้ำได้ถูกต้องเป็น $(90+80+90)/3 = 86.7\%$ และระบบสามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม 3 ประเภทได้แก่ กระดาษ ท่อ PVC และ แท่งแก้วได้ถูกต้อง 100% ความผิดพลาดในการตรวจสอบขวดของระบบเกิดจากหลายปัจจัยยกตัวอย่างเช่น ตำแหน่งของขวดบนแท่นรองรับ



หรือภาพของขวดที่ถูกจับได้จากกล้อง และปัญหาสำคัญของ
เครื่องต้นแบบนี้คือไม่สามารถโอนเงินเข้าบัญชีของสมาชิกได้
ทันทีเนื่องจากระบบการโอนเงิน ณ ปัจจุบันผ่านอินเทอร์เน็ต
ยังไม่สนับสนุนในการโอนจากบัญชีแบบอัตโนมัติ

ผู้ที่สนใจสามารถศึกษา source code ของงานวิจัยนี้ได้
จาก <https://github.com/DBMSRmutl/waterbox>

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลล้านนา คณาจารย์ และบุคลากรทุกท่าน รวมถึง
ครอบครัวที่มีส่วนช่วยเหลือและให้กำลังใจในการดำเนินงาน
วิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Laopracha N, Saisangjan U, Chamchong R. Method development for verification the complete ancient statues by image processing. Engineering and Applied Science Research. 2015;42(2),203-210. Available from: <https://ph01.tcithaijo.org/index.php/easr/article/view/34905> [Accessed 11th February 2021]
- [2] Zhao ZQ, Zheng P, Xu ST, Wu X. Object Detection With Deep Learning: A Review. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2019;30(11):3212-32. Available from: <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2018.2876865> [Accessed 11th February 2021].
- [3] Liu W, Anguelov D, Erhan D, Szegedy C, Reed S, Fu C-Y, Berg AC. Ssd: Single Shot multibox detector. In European conference on Computer vision 2016 Oct 8 (pp.21-37). Springer, Cham.
- [4] Lin TY, Maire M, Belongie S, Hays J, Perona P, Ramanan D, Dollar P, Zitnick CL. Microsoft coco: Common Objects in Context. In European conference on computer vision 2014 Sep 6 (pp.740-755). Springer, Cham.
- [5] Howard AG, Zhu M, Chen B, Kalenichenko D, Wang W, Weyand T, Andreetto M, Adam H. Mobilenets: Efficient convolutional neural Networks for mobile vision applications. arXiv preprint arXiv:1704.04861. 2017 Apr 17.
- [6] Padilla R, Netto SL, da Silva EA. A Survey on performance metrics for object-detection algorithms. In 2020 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP) 2020 Jul 1 (pp. 237-242). IEEE.
- [7] Chattoraj S, Bhowmik S, Vishwakarma K, Roy P. Design and implementation of low cost electronic toll collection system in India. 2017 Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT) 2017 Feb 22 (pp. 1-4). IEEE.

การปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต กรณีศึกษาโรงงานประกอบรถยนต์

Improving Production Line Performance

A Case Study of an Automotive Assembly Plant

วิเรข คำจันทร์¹ อธิวัฒน์ ธันย์วัชรมงคล¹ และศักดิ์ดา คำจันทร์^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

59 หมู่ 1 ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

Wirekha Khamjan¹, Athiwat Thanwacharamongkol¹ and Sakda Khamjan^{1*}

¹Industrial Engineering Major, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University Chalemphrakiat Sakon Nakhon Province Campus 59 Moo.1, Chiangkrua Sub District, Muang, Sakon Nakhon, Thailand, 47000

*ผู้รับผิดชอบบทความ: sakda.kh@ku.th เบอร์โทรศัพท์ 09-5657-8679

Received: 2 November 2020, Revised: 19 March 2021, Accepted: 30 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานสถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ กรณีศึกษาโรงงานประกอบรถยนต์ โดยประยุกต์ใช้แผนภูมิคน-เครื่องจักร (Man-Machine Chart) ในการวิเคราะห์การปฏิบัติงาน รวมถึงการใช้เทคนิคการตั้งคำถาม (5W1H) ร่วมกับหลักการลดความสูญเปล่า (ECRS) เพื่อใช้แก้ไขปัญหาสัดส่วนเวลาการทำงานของพนักงานที่น้อยเมื่อเทียบกับเวลาว่าง (Idle Time) ที่เกิดขึ้น หลังทำการปรับปรุงการทำงาน สามารถลดจำนวนพนักงานจาก 3 คน เหลือเพียง 1 คน โดยรอบเวลาการทำงาน (Cycle Time) ยังคงเท่าเดิม คือ 120 วินาทีต่อชิ้น ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน เดิมร้อยละ 58.33 หลังทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 100 สามารถลดต้นทุนด้านค่าแรงของพนักงานลงจากเดิม 54,000 บาทต่อเดือนต่อกะการทำงาน ลดลงเหลือ 18,000 บาทต่อเดือนต่อกะการทำงาน

คำสำคัญ การปรับปรุงประสิทธิภาพ แผนภูมิคน-เครื่องจักร เทคนิคการตั้งคำถาม หลักการลดความสูญเปล่า เวลาว่าง

Abstract

This research presents the improvement of employees' efficiency in the automobile part of glass windshield sealer station, a case study of an automotive assembly plant. A combination of the techniques of Man-Machine Chart, 5W1H, and ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify) was applied to analyze and to solve the problem of employees' inadequate performance time comparing to the idle time. The study has resulted in reducing the number of employees from 3 to 1 and can maintain cycle time rate at 120 seconds per item. The work performance has been improved from 58.33 percent to 100 percent. In addition, the results show that the labor costs have been reduced from 54,000 baht/month/shift to 18,000 baht/month/shift.

Keywords: Performance Improvement, Man-Machine Chart, 5W1H, ECRS, Idle Time

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์มีการแข่งขันกันสูง ซึ่งสวนทางกับสภาวะทางเศรษฐกิจที่ยังประสบปัญหาการชะลอตัว ส่งผลให้การดำเนินธุรกิจของผู้ประกอบการต้องมีการออกแบบและวางแผนการผลิตให้เหมาะสมตรงตามความต้องการของลูกค้าและควบคุมต้นทุนให้ต่ำที่สุด โดย

แนวทางหลักของผู้ประกอบการส่วนใหญ่แล้ว จะมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ กำจัดความสูญเปล่าของกระบวนการผลิตออกไป เพื่อให้เกิดความได้เปรียบทางการแข่งขันอย่างยั่งยืน อีกทั้งควรมีการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เหมาะสมกับขั้นตอนการทำงานเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

จากการชะลอตัวของเศรษฐกิจ โรงงานประกอบรถยนต์ ภูมิศึกษา จึงประสบปัญหาด้านความต้องการสินค้าที่ลดลง จำเป็นต้องมีการปรับลดกำลังการผลิตตามความต้องการของลูกค้า ทั้งนี้โรงงานประกอบรถยนต์ภูมิศึกษายังคงแบกรับภาระต้นทุนค่าแรงงานเท่าเดิม ดังนั้นแนวทางการแก้ไข ปัญหาของทางโรงงาน คือ การปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานหรือโยกย้ายแรงงานไปยังแผนกอื่นที่มีความจำเป็นและทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งจากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานประกอบรถยนต์ภูมิศึกษา โดยทำการศึกษาศาณิกานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ พบว่าสัดส่วนการทำงานของพนักงานค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับเวลาว่างของพนักงาน พนักงานและเครื่องจักรทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสียเวลาที่ไม่จำเป็น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งศึกษาหาแนวทางการปรับปรุง และกำหนดขั้นตอนกระบวนการผลิตของสาณิกานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ โดยประยุกต์ใช้แผนภูมิคน-เครื่องจักร (Man-Machine Chart) ร่วมกับเทคนิคการตั้งคำถาม (5W1H) และหลักการลดความสูญเปล่า (ECRS) พร้อมทั้งปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานในสายการผลิตของสาณิกานทากาวกระจกหน้ารถยนต์

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

แผนภูมิคน-เครื่องจักร (Man-Machine Chart) [1] เป็นแผนภูมิแสดงการทำงานร่วมกันระหว่างคนและเครื่องจักร ซึ่งอาจจะมีตั้งแต่หนึ่งคนกับหนึ่งเครื่องจักรขึ้นไป จุดมุ่งหมายของแผนภูมินี้ ใช้แสดงให้เห็นสัดส่วนการว่างงานของคนและเครื่องจักร เพื่อพิจารณากระบวนการว่าควรต้องลดหรือเพิ่มจำนวนคนในการทำงานหรือไม่ แผนภูมิประเภทนี้มักวิเคราะห์โดยใช้แกนของเวลา และตารางสรุปเวลาการทำงาน การวิเคราะห์จะใช้กราฟแท่งแทนกิจกรรมแต่ละประเภท โดยใช้การระบายสีหรือสัญลักษณ์แทนกิจกรรมที่เป็นอิสระ กิจกรรมร่วม หรือการว่างงาน ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยปี 2563 [2] ได้มีการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการผลิต เพื่อหาแนวทางการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตขนมปัง ผ่า ภูมิศึกษาโรงงานผลิตขนมปัง โดยปรับปรุงกระบวนการผลิต เนื่องจากปัญหากระบวนการผลิตที่ไม่สามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง เกิดการรอคอยงาน มีเวลาว่างงานเกิดขึ้นกับพนักงานและเครื่องจักร จึงนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้หลักการวิเคราะห์การปฏิบัติงานระหว่างคน-เครื่องจักร (Man-Machine Chart) หลักการตั้งคำถาม (5W1H) ร่วมกับหลักการลดความสูญเปล่า (ECRS) มาใช้ในการปรับปรุงการทำงาน ซึ่งผลที่ได้จากการปรับปรุงการดำเนินงาน สามารถลดขั้นตอนการทำงานลง และลดจำนวนพนักงานจากเดิม 9 คน ต่อวัน เหลือ 8 คนต่อวัน อีกทั้งสามารถเพิ่มรอบการทำงาน

ต่อวันจากเดิม 7 รอบ เป็น 9 รอบ ส่งผลให้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 28.57

เทคนิคการตั้งคำถาม (5W1H) [3] คือ การตั้งคำถามเกี่ยวกับงานที่ทำ แนวทางการดำเนินงาน วัตถุประสงค์ที่ต้องใช้เครื่องมือ-อุปกรณ์ที่ใช้ เงื่อนไข สภาพแวดล้อมในการทำงาน รวมไปถึงรูปแบบของผลิตภัณฑ์เอง ให้สมมติว่างานนั้นไม่มีอะไรสมบูรณ์ แล้วเริ่มตั้งคำถามโดยใช้คำว่า อะไร? ใคร? ที่ไหน? เมื่อไหร่? ทำไม? อย่างไร? (What? Who? Where? When? Why? How? : 5W1H) และจากการศึกษางานวิจัยปี 2561 [4] ได้มีการประยุกต์ใช้การตั้งคำถาม (5W1H) และแผนผังก้างปลา เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุการติดฉลากเอียง ซึ่งเป็นข้อบกพร่องของขั้นตอนการติดฉลากขวดแก้วภูมิศึกษา โรงงานน้ำตาลสดสเตอร์ไลส์ จากการวิเคราะห์พบว่าเครื่องจักรขาดการบำรุงรักษา พนักงานปรับความเร็วตามความเคยชิน ดังนั้นจึงแก้ปัญหาโดยการจัดทำมาตรฐานการทำงาน ผลที่ได้จากการปรับปรุงสามารถลดข้อบกพร่องของการติดฉลากเอียงลงได้ร้อยละ 57.45

หลักการลดความสูญเปล่า (ECRS) [5] เป็นหลักการพื้นฐานในการปรับปรุงกิจกรรมของพนักงาน ประกอบด้วย การกำจัด (Eliminate: E) หรือการลดขั้นตอนการทำงานให้เหลือน้อยที่สุด การรวมกัน (Combine: C) หรือการรวมขั้นตอนหรือชิ้นงานเข้าด้วยกัน การจัดใหม่ (Rearrange: R) หรือการลดการว่างงานของมือหรือหลักเลียงการถือของอยู่ในมือ และการทำงานให้ง่าย (Simplify: S) หรือการพยายามให้เป็นไปตามหลักการของเศรษฐศาสตร์การเคลื่อนไหว ซึ่งเป็นหลักการที่สามารถใช้ในการเริ่มต้นลดความสูญเปล่าในองค์กรธุรกิจทั่วไป ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยปี 2560 [6] มีการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS เพื่อใช้ในการการลดต้นทุนคลังบรรจุภัณฑ์ ภูมิศึกษาผู้ผลิตโคมไฟ โดยเน้นการมีส่วนร่วมของคนในองค์กรด้วยการปรับแนวความคิดการทำงานของคนในองค์กร โดยผลที่ได้สามารถลดต้นทุนได้ 375,442.59 บาท และในปีเดียวกันนี้ [7] ได้มีการศึกษาปัญหาการส่งมอบสินค้าที่ใช้เวลาเกินมาตรฐานของศูนย์กระจายสินค้าบริเวณแห่งหนึ่งของภาคเหนือ โดยศึกษากระบวนการจัดสินค้าแบบยกหีบ การใช้รถยกพาเลทในการทำงานแบบเดิม โดยได้นำเอาหลักการลดความสูญเปล่า และความสูญเปล่า 7 ประการ (7 Wastes) รวมถึงการใช้เทคนิคควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control) มาใช้ในการปรับปรุงการทำงาน ผลที่ได้สามารถลดต้นทุนการทำงานได้ 210,600 บาทต่อเดือน

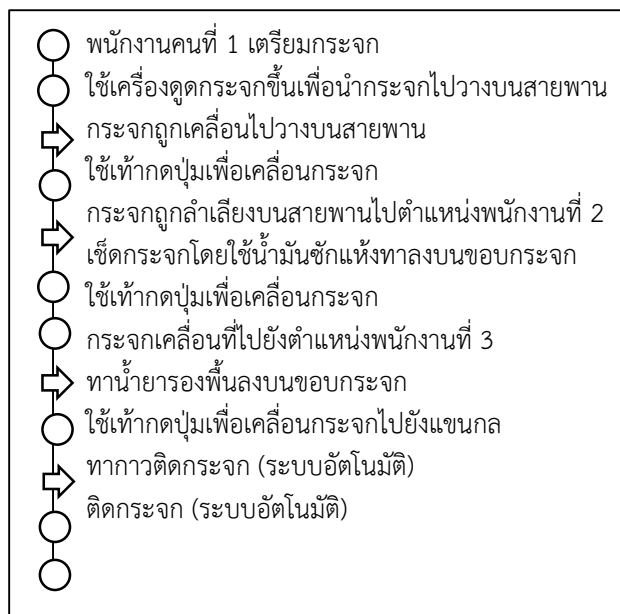
2.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิต

ข้อมูลเบื้องต้นของแผนกประกอบสาณิกานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ มีพนักงานปฏิบัติงานทั้งหมด 3 คน ต่อ 1

กะการทำงาน และมีพนักงานปฏิบัติงานทั้งหมด 6 คน ต่อสายการผลิตทั้งหมด ต่อ 1 วัน (กะทำงาน 2 กะ) ใช้เวลาในการปฏิบัติงานหรือรอบการทำงาน (Cycle Time) ต่อ 1 ชิ้นงาน 120 วินาที ซึ่งต้นทุนแรงงานของพนักงานเฉลี่ยต่อคนต่อเดือนประมาณ 18,000 บาท (ข้อมูลจากฝ่ายบุคคล โรงงานกรณีศึกษา)

สายการผลิตสถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ กระบวนการผลิตจะเริ่มตั้งแต่ การใช้เครื่องอัตโนมัติหยิบจับชิ้นงาน จนถึงกระบวนการทากาวที่ตัวชิ้นงานเพื่อติดกระจก โดยกระบวนการผลิตของสถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตของสถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์

จากกระบวนการผลิตของสถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานหลักของพนักงานแต่ละคน โดยมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมกระจก พนักงานคนที่ 1 ใช้เครื่องดูดกระจกอัตโนมัติ เพื่อยกกระจกขึ้นวางบนสายพานและใช้แทคดที่ปั๊มอัตโนมัติให้กระจกไหลไปยังพนักงานคนที่ 2 เพื่อเช็ดกระจก

ขั้นตอนที่ 2 เช็ดกระจก พนักงานคนที่ 2 ทำการเช็ดขอบกระจก โดยใช้น้ำมันชักแห้งทาลงบนขอบกระจก จากนั้นใช้แทคดที่ปั๊มอัตโนมัติให้กระจกไหลไปยังพนักงานคนที่ 3 เพื่อทาน้ำยารองพื้นกระจก

ขั้นตอนที่ 3 ทาน้ำยารองพื้นกระจก พนักงานคนที่ 3 ใช้น้ำยารองพื้น ทาลงบนขอบกระจก จากนั้นใช้แทคดที่ปั๊มอัตโนมัติให้กระจกไหลไปยังแขนกลเพื่อทากาวและติดกระจก

เนื่องจากกระจกหน้ารถยนต์มีขนาดที่ใหญ่และมีน้ำหนักมาก การส่งต่อกระจกจากพนักงานคนที่ 1 ไปพนักงานคนที่ 2

และต่อไปยังพนักงานคนที่ 3 จำต้องใช้สายพานลำเลียงช่วยในการส่งต่องาน ซึ่งระยะทางการส่งต่อนั้นมีระยะทางที่สั้นมาก ทำให้ใช้เวลาในการส่งต่อน้อย จึงได้รวมเวลาของกระบวนการก่อนหน้ารวมกับการลำเลียงกระจกบนสายพานดังแสดงในแผนภูมิคน-เครื่องจักร หัวข้อถัดไป

2.1.2 วิเคราะห์ข้อมูลกระบวนการผลิตก่อนปรับปรุงการทำงาน

จากรูปที่ 1 กระบวนการผลิตของสถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ นำข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยประยุกต์ใช้แผนภูมิคน-เครื่องจักร เพื่อหาความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากเวลาว่างงานของพนักงาน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนภูมิคน-เครื่องจักร ก่อนปรับปรุงการทำงาน

พนักงาน	เวลา (วินาที)	พนักงาน	เวลา (วินาที)	พนักงาน	เวลา (วินาที)	เครื่องจักร	เวลา (วินาที)
1		2		3			
ใช้เครื่องยกกระจกขึ้นวางบนสายพานและลำเลียงกระจก	70	ว่าง	70	ว่าง	90	ใช้เครื่องยกกระจกขึ้นวางบนสายพานและลำเลียงกระจก	70
ว่าง	50	เช็ดกระจกและลำเลียง	20	ทาน้ำยารองพื้นและลำเลียง	30	ว่าง	50

กำหนดให้

กิจกรรม	สัญลักษณ์
การทำงานเป็นเอกเทศ	
การทำงานร่วมกัน	
การว่างงาน	

ตารางที่ 2 เวลาการทำงานก่อนการปรับปรุง

เวลา (วินาที)	พนักงานคนที่			เครื่องจักร
	1	2	3	
เวลาว่าง (Idle Time)	50	100	90	50
เวลาทำงาน (Working Time)	70	20	30	70
รอบเวลาการผลิต (Cycle Time)	120	120	120	120
ร้อยละของเวลาทำงาน	58.33	16.67	25.00	58.33

เมื่อทำการวิเคราะห์แผนภูมิคน-เครื่องจักร ดังตารางที่ 2 พบว่า เวลาการทำงานทั้งหมด คือ 120 วินาทีต่อชิ้น เวลาการทำงานของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 70 วินาที คิดเป็นร้อยละ 58.33 พนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 20 วินาที คิดเป็นร้อยละ 16.67 พนักงานคนที่ 3 เท่ากับ 30 วินาที คิดเป็นร้อยละ 25

และเวลาการทำงานของเครื่องจักรเท่ากับ 70 วินาที คิดเป็นร้อยละ 58.33 แสดงให้เห็นว่า พนักงานและเครื่องจักรมีเวลาว่างงาน (Idle Time) ทำให้มีเกิดเวลางานที่สูญเสียไป

อีกทั้งประสิทธิภาพการทำงานของคน-เครื่องจักรต่ำ โดยพนักงานคนที่ 1 ว่างงานคิดเป็นร้อยละ 41.67 พนักงานคนที่ 2 ว่างงานคิดเป็นร้อยละ 83.33 พนักงานคนที่ 3 ว่างงานคิดเป็นร้อยละ 75.00 และเครื่องจักรว่างงานคิดเป็นร้อยละ 41.67 จึงควรมีการปรับปรุงการทำงานของพนักงานเพื่อลดเวลาการว่างงานและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้กับพนักงานและเครื่องจักร ดังนั้นจึงได้นำเทคนิคการตั้งคำถามและหลักการลดความสูญเสีย มาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต

2.1.3 กำหนดแนวทางที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงการทำงาน

การใช้เทคนิคการตั้งคำถาม (5W1H) เป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมและช่วยให้เข้าถึงปัญหาได้ดี โดยจำต้องสมมติว่างานที่ทำนั้นยังไม่สมบูรณ์ แล้วเริ่มตั้งคำถาม ดังตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ได้แสดงการใช้เทคนิคการตั้งคำถามเพื่อใช้เป็นแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน

ตารางที่ 3 การใช้เทคนิคการตั้งคำถามกับพนักงานคนที่ 1

ประเด็น	คำถาม	คำตอบ
อะไร? (What?)	(1) จะทำอะไร?	(1) จะยกกระจกขึ้นวางบนสายพาน
	(2) ทำไม่ต้องทำ?	(2) เพื่อส่งกระจกไปให้พนักงานคนที่ 2
	(3) ถ้าไม่ทำจะเกิดอะไรขึ้น?	(3) กระจกก็จะไม่ได้หากว
	(4) จำเป็นต้องทำหรือไม่?	(4) จำเป็นต้องทำ
ใคร? (Who?)	(1) ใครเป็นคนทำ?	(1) พนักงานคนที่ 1
	(2) ทำไม่ต้องเป็นคนนั้น?	(2) เพราะมีความชำนาญและประสบการณ์การทำงานสูง
	(3) มีคนอื่นทำได้ไหม?	(3) ไม่มีใครทำได้ เพราะใช้เครื่องยกกระจกไม่เป็น
	(4) หากคนที่เชี่ยวชาญน้อยกว่ามาฝึกได้ไหม?	(4) สามารถหาพนักงานมาฝึกได้
ที่ไหน? (Where?)	(1) จะทำงานที่ไหน?	(1) ทำที่สถานีงานทากวกระจก
	(2) ทำไม่ต้องทำที่นั่น?	(2) เพราะเป็นพื้นที่การทำงาน
	(3) มีที่ไหนใหม่ที่ดีกว่านี้?	(3) ตอนนี้ยังไม่มี
เมื่อไหร่? (When?)	(1) จะทำเมื่อไหร่?	(1) ทำตอนนี้
	(2) ทำไม่ต้องทำตอนนี้?	(2) ถ้าไม่ทำกระบวนงานจะไม่ต่อเนื่อง
	(3) ทำเวลาอื่นได้ไหม?	(3) ทำเวลาอื่นไม่ได้
	(4) งานเหล่านี้ถูกลำดับขั้นตอนเวลาหรือยัง?	(4) งานนี้ถูกลำดับขั้นตอนเวลาไว้แล้ว
ทำไม? (Why?)	(1) ทำไม่ต้องทำวิธีนี้?	(1) เพราะต้องทำงานตามคู่มือการปฏิบัติงาน
	(2) ทำวิธีอื่นได้ไหม?	(2) ทำวิธีอื่นไม่ได้
อย่างไร? (How?)	(1) จะทำงานนี้ได้อย่างไร?	(1) ศึกษาคู่มือการปฏิบัติงานและฝึกฝนให้เกิดความชำนาญ
	(2) จะทำงานโดยวิธีไหน?	(2) หย็ยเครื่องดูดกระจกไปติดที่กระจกแล้วยกขึ้นไปวางไว้บนสายพานให้กระจกไหลไปที่พนักงานคนที่ 2

ตารางที่ 4 การใช้เทคนิคการตั้งคำถามกับพนักงานคนที่ 2

ประเด็น	คำถาม	คำตอบ
อะไร? (What?)	(1) จะทำอะไร?	(1) จะเช็คกระจก
	(2) ทำไม่ต้องทำ?	(2) เพื่อให้กระจกสะอาดก่อนส่งกระจกไปทาน้ำยารองพื้น
	(3) ถ้าไม่ทำจะเกิดอะไรขึ้น?	(3) กระจกจะไม่สะอาด มีฝุ่นติด ทำให้หากวไม่ติด
	(4) จำเป็นต้องทำหรือไม่?	(4) จำเป็นต้องทำ
ใคร? (Who?)	(1) ใครเป็นคนทำ?	(1) พนักงานคนที่ 2
	(2) ทำไม่ต้องเป็นคนนั้น?	(2) เพราะเป็นหน้าที่
	(3) มีคนอื่นทำได้ไหม?	(3) มีพนักงานคนที่ 1 และ 3 ทำได้
	(4) หากคนที่เชี่ยวชาญน้อยกว่ามาฝึกได้ไหม?	(4) สามารถหาพนักงานมาฝึกได้
ที่ไหน? (Where?)	(1) จะทำงานที่ไหน?	(1) ทำที่สถานีงานทากวกระจก
	(2) ทำไม่ต้องทำที่นั่น?	(2) เพราะเป็นพื้นที่การทำงาน
	(3) มีที่ไหนใหม่ที่ดีกว่านี้?	(3) ตอนนี้ยังไม่มี
เมื่อไหร่? (When?)	(1) จะทำเมื่อไหร่?	(1) ทำตอนนี้
	(2) ทำไม่ต้องทำตอนนี้?	(2) ถ้าไม่ทำกระบวนงานจะไม่ต่อเนื่อง
	(3) ทำเวลาอื่นได้ไหม?	(3) ทำเวลาอื่นไม่ได้
	(4) งานเหล่านี้ถูกลำดับขั้นตอนเวลาหรือยัง?	(4) งานนี้ถูกลำดับขั้นตอนเวลาไว้แล้ว
ทำไม? (Why?)	(1) ทำไม่ต้องทำวิธีนี้?	(1) เพราะทำงานตามคู่มือการปฏิบัติงาน
	(2) ทำวิธีอื่นได้ไหม?	(2) ทำวิธีอื่นไม่ได้
อย่างไร? (How?)	(1) จะทำงานนี้ได้อย่างไร?	(1) ศึกษาคู่มือการปฏิบัติงานและฝึกฝนให้เกิดความชำนาญ
	(2) จะทำงานโดยวิธีไหน?	(2) ใช้แท่นน้ำยาเช็ดที่กระจกแล้วกดปุ่มให้กระจกไหลไปที่พนักงานคนที่ 3

ตารางที่ 5 การใช้เทคนิคการตั้งคำถามกับพนักงานคนที่ 3

ประเด็น	คำถาม	คำตอบ
อะไร? (What?)	(1) จะทำอะไร?	(1) ทาน้ำยารองพื้นกระจก
	(2) ทำไม่ต้องทำ?	(2) เพราะเป็นหน้าที่
	(3) ถ้าไม่ทำจะเกิดอะไรขึ้น?	(3) กระจกจะไม่สะอาดหากวได้
	(4) จำเป็นต้องทำหรือไม่?	(4) จำเป็นต้องทำ
ใคร? (Who?)	(1) ใครเป็นคนทำ?	(1) พนักงานคนที่ 3
	(2) ทำไม่ต้องเป็นคนนั้น?	(2) เพราะเป็นหน้าที่
	(3) มีคนอื่นทำได้ไหม?	(3) มีพนักงานคนที่ 1 และ 2 ทำได้
	(4) หากคนที่เชี่ยวชาญน้อยกว่ามาฝึกได้ไหม?	(4) สามารถหาพนักงานมาฝึกได้
ที่ไหน? (Where?)	(1) จะทำงานที่ไหน?	(1) ทำที่สถานีงานทากวกระจก
	(2) ทำไม่ต้องทำที่นั่น?	(2) เพราะเป็นพื้นที่การทำงาน
	(3) มีที่ไหนใหม่ที่ดีกว่านี้?	(3) ตอนนี้ยังไม่มี
เมื่อไหร่? (When?)	(1) จะทำเมื่อไหร่?	(1) ทำตอนนี้
	(2) ทำไม่ต้องทำตอนนี้?	(2) ถ้าไม่ทำตอนนี้กระจกที่ถูกทำความสะอาดแล้วจะมีฝุ่น ทำให้ต้องเอากลับไปเช็ดทำความสะอาดใหม่
	(3) ทำเวลาอื่นได้ไหม?	(3) ทำเวลาอื่นไม่ได้
	(4) งานเหล่านี้ถูกลำดับขั้นตอนเวลาหรือยัง?	(4) งานนี้ถูกลำดับขั้นตอนเวลาไว้แล้ว
ทำไม? (Why?)	(1) ทำไม่ต้องทำวิธีนี้?	(1) เพราะทำงานตามคู่มือการปฏิบัติงาน
	(2) ทำวิธีอื่นได้ไหม?	(2) ทำวิธีอื่นไม่ได้
อย่างไร? (How?)	(1) จะทำงานนี้ได้อย่างไร?	(1) ศึกษาคู่มือการปฏิบัติงานและฝึกฝนให้เกิดความชำนาญ
	(2) จะทำงานโดยวิธีไหน?	(2) ใช้แท่นน้ำยารองพื้น พารเมอร์ 435-40 ทาลบนขอบกระจก

จากการใช้เทคนิคการตั้งคำถามก่อนหน้า ได้นำหลักการลดความสูญเสียมาประยุกต์ใช้ร่วม ดังนี้

(1) การรวมงานเข้าด้วยกัน (Combine: C) เดิมมีขั้นตอนการทำงานที่พนักงานทั้ง 3 คน ต้องแยกกันทำ จากการลงพื้นที่ศึกษาหน้างาน พบว่า ขั้นตอนที่ 2 และ 3 สามารถรวมขั้นตอนการทำงานที่ใกล้เคียงกันเป็นขั้นตอนเดียว

แนวทางปรับปรุงจึงรวมขั้นตอนที่ 3 ให้พนักงานคนที่ 2 ทำเพียงคนเดียว

(2) การจัดลำดับขั้นตอนของงานใหม่ (Rearrange: R) เดิมมีพนักงานทำงาน 3 คน แนวทางปรับปรุงจึงมอบหมายงานขั้นตอนที่ 2 และ 3 ให้พนักงานคนที่ 2 ทำเพียงคนเดียว โดยที่พนักงานคนที่ 1 ยังคงทำงานขั้นตอนที่ 1 เหมือนเดิม

จากแนวคิดดังกล่าว ได้ทำการทดลองปฏิบัติ สามารถการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต โดยลดจำนวนพนักงานจาก 3 คน เหลือพนักงานเพียง 2 คน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แผนภูมิคน-เครื่องจักร (พนักงาน 2 คน เครื่องจักร 1 เครื่อง)

พนักงาน 1	เวลา (วินาที)	พนักงาน 2	เวลา (วินาที)	เครื่องจักร	เวลา (วินาที)
ใช้เครื่องยกกระจกขึ้นวางบนสายพานและลำเลียงกระจก	70	ว่าง	70	ใช้เครื่องยกกระจกขึ้นวางบนสายพานและลำเลียงกระจก	70
ว่าง	50	เช็คกระจกและลำเลียง	20	ว่าง	50
		ทาน้ำยารองพื้นและลำเลียง	30		

ตารางที่ 7 เวลาการทำงานร่วมระหว่างพนักงาน 2 คน กับเครื่องจักร 1 เครื่อง

เวลา (วินาที)	พนักงาน		เครื่องจักร
	คนที่ 1	คนที่ 2	
เวลาว่าง (Idle Time)	50	70	50
เวลาการทำงาน (Working Time)	70	50	70
รอบเวลาการผลิต (Cycle Time)	120	120	120
ร้อยละของเวลาทำงาน	58.33	41.67	58.33

หลังจากทำการวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน ทำให้สามารถลดจำนวนพนักงานจาก 3 คน เหลือเพียง 2 คน ซึ่งรอบเวลาการทำงานยังคงเท่ากับ 120 วินาที ต่อชิ้น โดยที่เวลาทำงาน เวลาว่างงาน และประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานคนที่ 1 เท่าเดิม คือ 70 วินาที และเวลาว่างงานเท่ากับ 50 วินาที ส่วนเวลาทำงานของพนักงานคนที่ 2 เพิ่มขึ้น จากเดิมเวลาทำงาน 20 วินาที เป็น 50 วินาที หรือคิดเป็นร้อยละ 41.67 และเครื่องจักรยังคงมีประสิทธิภาพการทำงานเท่าเดิม ถึงอย่างไรก็ตาม จากการปรับปรุงการทำงาน ยังมีเวลางานที่สูญเปล่าเกิดขึ้น จึงควรมีการวิเคราะห์และ

ปรับปรุงการทำงานของพนักงานอีกครั้ง ซึ่งควรจะลดเวลาการว่างงานลง ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานและเครื่องจักรได้ ด้วยการใช้เทคนิคการตั้งคำถาม ซึ่งได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ และใช้หลักการลดความสูญเสียเปล่า ดังนี้

(1) การรวมงานเข้าด้วยกัน (Combine: C) จากเดิมพนักงานคนที่ 1 ปฏิบัติงานขั้นตอนที่ 1 และพนักงานคนที่ 2 เป็นผู้ปฏิบัติงานขั้นตอนที่ 2 และ 3 เมื่อใช้หลักการลดความสูญเสียเปล่าเข้ามาวิเคราะห์พบว่า งานที่พนักงานคนที่ 2 ปฏิบัติอยู่นั้น สามารถรวมงานให้เป็นขั้นตอนเดียวกันได้ แนวทางปรับปรุงจึงรวมงานขั้นตอนที่ 2 และ 3 ที่พนักงานคนที่ 2 ปฏิบัติอยู่ ให้พนักงานคนที่ 1 ทำคนเดียว โดยที่พนักงานคนที่ 1 จะปฏิบัติงานทั้ง 3 ขั้นตอน เพียงคนเดียว

(2) การจัดลำดับขั้นตอนของงานใหม่ (Rearrange: R) เดิมมีพนักงานทำงาน 2 คน แนวทางปรับปรุงจึงมอบหมายงานให้พนักงานคนที่ 1 ทำงานเพียงคนเดียว

ซึ่งแนวคิดดังกล่าว ได้ทำการทดลองปฏิบัติ สามารถการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต โดยลดจำนวนพนักงานจาก 2 คน เหลือพนักงานเพียง 1 คน ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แผนภูมิคน-เครื่องจักร (พนักงาน 1 คน เครื่องจักร 1 เครื่อง)

พนักงาน 1	เวลา (วินาที)	เครื่องจักร	เวลา (วินาที)
ใช้เครื่องยกกระจกขึ้นวางบนสายพานและลำเลียงกระจก	70	ใช้เครื่องยกกระจกขึ้นวางบนสายพานและลำเลียงกระจก	70
เช็คกระจกและลำเลียงกระจก	20		
ทาน้ำยารองพื้นและลำเลียงกระจก	30	ว่าง	50

ตารางที่ 9 เวลาการทำงานร่วมระหว่างพนักงาน 1 คน กับเครื่องจักร 1 เครื่อง

เวลา (วินาที)	พนักงานคนที่ 1	เครื่องจักร
เวลาว่าง (Idle Time)	0	50
เวลาการทำงาน (Working Time)	120	70
รอบเวลาการผลิต (Cycle Time)	120	120
ร้อยละของเวลาทำงาน	100	58.33

เมื่อทำการวิเคราะห์แผนภูมิคน-เครื่องจักร ดังตารางที่ 9 พบว่า ยังคงรักษาเวลาของรอบการทำงานได้เท่าเดิม โดยที่เวลาทำงานของพนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 120 วินาทีต่อชิ้น หรือคิดเป็นร้อยละ 100 ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้น แต่เวลาทำงานของเครื่องจักรยังคงเท่าเดิม

ซึ่งหลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต สถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ ส่งผลให้สามารถลดจำนวนพนักงานจาก 3 คน เหลือ 2 คน และสุดท้ายเหลือเพียง 1 คน โดยที่ไม่มีเวลาสูญเสียที่เกิดจากการปฏิบัติงานของพนักงาน และทำให้พนักงานมีประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 100 จากวิธีการปรับลดพนักงาน ได้นำหลักการประเมินประสิทธิภาพในการทำงาน (Determining the Rating Factor) ด้วยระบบของจอร์จ เวสติงเฮาส์ จูเนียร์ (George Westinghouse, Jr) มาใช้ [1] โดยพิจารณา 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ทักษะหรือความชำนาญ (Skill) ความพยายาม (Effort) ความสม่ำเสมอ (Consistency) สภาพแวดล้อมในการทำงาน (Conditions)

สาเหตุที่มอบหมายขั้นตอนการทำงานทั้งหมดให้กับพนักงานคนที่ 1 ปฏิบัติเพียงคนเดียว เพราะพนักงานคนที่ 1 มีทักษะและมีความชำนาญในงานที่ทำสูง มีความพยายามและมีความตั้งใจที่จะทำงาน สามารถทำงานเพียงคนเดียวได้ทั้ง 3 ขั้นตอน ประกอบกับงานย่อยทั้ง 3 ขั้นตอน มีการเคลื่อนไหวที่ง่ายและไม่มีการออกแรงการทำงานมากนัก จากการทดสอบพนักงานทั้งสามคน พนักงานคนที่ 1 มีความสม่ำเสมอในการทำงานและใช้เวลาทำงานในแต่ละรอบไม่เกินรอบการทำงานเดิม จึงทำให้พนักงานคนที่ 1 เป็นผู้ที่ได้รับมอบหมายงานเพียงคนเดียว ในส่วนของกระบวนการผลิตของสถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ ซึ่งเป็นงานที่ง่ายไม่ซับซ้อน โดยคณะทีมงานทางวิศวกรได้ทำการจัดสถานีงานใหม่ให้กับพนักงานเพื่อให้ปฏิบัติงานได้ง่ายและคล่องตัวที่สุด และออกแบบท่าทางการทำงานที่ถูกต้องตามหลักการทางกายศาสตร์ (Ergonomics) เพื่อลดความเมื่อยล้าให้กับพนักงาน โดยแนวทางปฏิบัติงานยังต้องมีการฝึกฝนพนักงานเพื่อให้เกิดความชำนาญ ทั้งนี้ควรจะต้องฝึกพนักงานให้มีทักษะการทำงานที่หลากหลาย (Multi Skill) เพื่อที่พนักงานจักทำงานแทนกันได้กรณีที่มีพนักงานป่วยหรือลางาน

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตของสถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์เบื้องต้น พบว่าพนักงานมีเวลาว่างงานที่สูงเมื่อเทียบกับเวลาการทำงาน จึงได้นำเสนอเครื่องมือที่ช่วยวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานอย่างเป็นระบบเพื่อใช้ในการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน โดยได้นำแผนภูมิคน-เครื่องจักร (Man-Machine Chart) หลักการลด

ความสูญเสียเปล่า (ECRS) เทคนิคการตั้งคำถาม (5W1H) มาประยุกต์ใช้ในสายการผลิตสถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ เพื่อปรับปรุงการทำงานและลดเวลาว่างสูญเสียเปล่าที่เกิดขึ้นกับพนักงาน ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองปฏิบัติงานจริงสามารถประเมินผลการทำงานก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการผลิตสถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการเปรียบเทียบการดำเนินงานก่อนและหลังการปรับปรุงการทำงาน

เวลา (วินาที)	ก่อนปรับปรุง				หลังปรับปรุง	
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	เครื่องจักร	คนที่ 1	เครื่องจักร
เวลาว่าง (Idle Time)	50	100	90	50	0	50
เวลาการทำงาน (Work Time)	70	20	30	70	120	70
ร้อยละของเวลาทำงาน	58.33	16.67	25.00	58.33	100	58.33

การวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการทำงานของพนักงาน สามารถรวมงานของพนักงานคนที่ 2 และ 3 ให้พนักงานคนที่ 1 ทำงานในครั้งเดียวได้ ส่งผลให้ลดจำนวนพนักงานลง จากเดิมใช้พนักงาน 3 คน หลังจากปรับปรุงใช้พนักงานเพียง 1 คน โดยรอบเวลาการทำงานยังคงเท่ากับเวลาการทำงานเดิมที่ใช้พนักงานทำงาน 3 คน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานคนที่ 1 เพิ่มขึ้น จากเดิมร้อยละ 58.33 หลังทำการแก้ไขปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 100 แต่เครื่องจักรยังคงมีประสิทธิภาพการทำงานร้อยละ 58.33 เท่าเดิม ซึ่งจากการปรับปรุงกระบวนการทำงานของพนักงานสถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ กรณีศึกษาโรงงานประกอบรถยนต์ครั้งนี้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานให้ดีขึ้น

4. บทสรุป

การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานสามารถลดจำนวนพนักงานจาก 3 คน เหลือเพียง 1 คน โดยที่พนักงานยังปฏิบัติงาน 3 ขั้นตอนหลัก ซึ่งรอบเวลาการทำงานยังคงเท่าเดิม คือ 120 วินาทีต่อชิ้น ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานก่อนการปรับปรุง เดิมร้อยละ 58.33 หลังทำการปรับปรุง ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 100 ทำให้ไม่เกิดเวลาสูญเสียเปล่า อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนด้านค่าแรงของพนักงานลงได้ ซึ่งเดิมต้นทุนค่าแรงงาน จะเป็นค่าแรงพนักงาน 3 คนต่อกระบวนการทำงาน

เฉลี่ยคนละประมาณ 18,000 บาทต่อเดือน รวม 54,000 บาทต่อเดือนต่อการทำงาน หลังทำการปรับปรุงกระบวนการทำงานของพนักงาน ต้นทุนด้านค่าแรงพนักงานลดลงเหลือเพียง 18,000 บาทต่อเดือนต่อการทำงาน และในส่วนของข้อเสนอแนะ การที่สามารถลดพนักงานแผนกประกอบสถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ลงได้ ทางแผนกยังคงต้องฝึกฝนพนักงานคนอื่น ๆ ให้สามารถทำงานนี้ได้เช่นกัน เพื่อให้พนักงานที่ทำงานตำแหน่งดังกล่าว สามารถลาหรือหยุดงานได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้จัดการแผนกประกอบรถยนต์ และพนักงานผู้ปฏิบัติงานสถานีงานทากาวกระจกหน้ารถยนต์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล รวมถึงการอำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ อย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Charoenchai N. Motion and time study. Thailand: Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kean University: 2011. p.39. Thai.
- [2] Khamjan W, Plianphuang S, Khamjan, S. Guidelines on increasing production efficiency a case study of bread factory. Proceeding of the 5th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference; 2020 Sep 3-4; Chanthaburi; Thailand. p. 279-283. Thai.
- [3] Klinmon, S. Production efficiency improvement in lens surface grinding process. Thesis. Burapha University, Thailand: 2016, p.27-32. Thai.
- [4] Aksorntham, S. Reducing defects in glass bottle labeling process : A case study ,Satoerilaifresh sugar factory, J Thonburi University (Sciences and Technology). 2018; 2(1):9-21. Thai.
- [5] Sapparoj, P. Production analysis of HDPE plastic bottle industry by simulation program. Thesis. King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand: 2018. p.8. Thai.
- [6] Suwanna, L. Packaging Cost Reduction using ECRS Method Case Study: Lamp Manufacturer. Thesis. Sripatum University, Thailand: 2017. p.34-71. Thai.
- [7] Keereeruk R. Efficiency improvement of picking full case process in distribution center. Independent Study Department of industrial engineering, Faculty of engineering, Chiangmai University, 2017.

