



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

RMUTL Engineering Journal

RMUTL. Eng. J.

ปีที่ 4 ฉบับที่ 2

กรกฎาคม - ธันวาคม 2562

ISSN 2465-4248

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา RMUTL Engineering Journal

วัตถุประสงค์

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เป็นวารสารทางวิชาการจัดพิมพ์ฉบับแรกในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและองค์ความรู้ทางที่นาสนใจด้านวิจัยและงานบริการวิชาการ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการสร้างความก้าวหน้าทางวิชาการ และมาตรฐานการประกอบวิชาชีพ โดยสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ วิศวกรรมระบบควบคุม วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมโทรคมนาคม วิศวกรรมเครื่องกลวิศวกรรมเกษตร วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมแม่พิมพ์ วิศวกรรมโลหการ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมเหมืองแร่ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง

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

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ศัลลศิริ	สง่าจิต	ผู้ปฏิบัติหน้าที่อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระศักดิ์	อุไรจันนันท	รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและกิจกรรมนักศึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ	หาญวงษา	รองอธิการบดีฝ่ายกิจการพิเศษ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร	มูลปา	รองอธิการบดีฝ่ายนโยบายและพัฒนาระบบ
ดร.สุรพล	ใจวงศ์ษา	รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ
นางสาวสุรีย์พร	ใหญ่สง่า	รองอธิการบดีฝ่ายบริหารและสวัสดิการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนากร	สร้อยสุวรรณ	ผู้ช่วยอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสงค์	เหลียมโสภณ	ผู้ช่วยอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นพดล	ตรีรัตน์	ผู้ช่วยอธิการบดี
ดร.สนธยา	ทองอรุณศรี	ผู้ช่วยอธิการบดี
ดร.สุเทพ	ทองมา	ผู้ช่วยอธิการบดี
ดร.กิจจา	ไชยหนู	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระ	จูน้อยสุวรรณ	คณบดีคณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิศรา	จันทร์เจริญสุข	คณบดีคณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร	วิทยาคุณ	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมเกียรติ	วงศ์พานิช	ผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณ	โสทธิกุล	รักษาราชการแทน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพร	พัชรประกิตติ	ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกรียงไกร	ธารพรศรี	ผู้อำนวยการสถาบันถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน



ดร.นพดล	มณีเทียร	ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ
ดร.ประเสริฐ	ลือโขง	ผู้อำนวยการสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน	คำน่าน	รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พินิจ	เนื่องภิรมย์	รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
นายชาคริต	ชูฉิมยากร	รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์	จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ลักกมณ	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.दनัย	ต.รุ่งเรือง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ	อัครเอกมาลิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.ประดิษฐ์	เทอดทูล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.กอบวุฒิ	รุจิณากุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์	ลิขิตเลอสรวง	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต	สิริสิงห์	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณชนม์	ภูมิภิตติพิชญ์	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	แก้วตาพิทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติรัฐ	นันทะอาจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์	เจริญสุวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.วิสนัย	วรรณจรรย์ยา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.ขจรศักดิ์	โสภากาญจนา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย	ฉัตรทิณวัฒน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ	โสภาดง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.นิวัติ	เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์	คงประเสริฐ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภาพ	รอดอัมพร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุปน	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



บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กลีนประทุม ปัญญาปิง คณะวิศวกรรมศาสตร์

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน คณะวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน	คำน่าน	คณะวิศวกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล	โอฬารไพโรจน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศ	อินต๊ะวงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์	สิทธิเจริญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา	เย็นยงกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย	เดชธรรมรงค์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีชัย	กาฬสินธุ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ	จารุภูมิ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิต	แก้วดวงตา	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลทรัพย์	ผ่องศรีสุข	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล	จันทะวงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร	พันธ์ท่าช้าง	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์	กิตติเดชา	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ดร.บุปผเวช	พันธุ์ศรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ดร.ภาณุ	อุทัยศรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ดร.ศิวโรจน์	ศิริลักษณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นายณัฐชาติสิทธิ์	ชูเกียรติขจร	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นายปรัชญ์	ปิยะวงศ์วิศาล	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นายวิชาญ	จันทิ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นายเฉลิมชัย	พาราสุข	คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์
นางสาวกวีภรณ์	วชิรรังสิมันต์	คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์
นางวิภาวรรณ	ปลัดคุณ	คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์
นางสาวปริญญ์	อนุสุเรนทร์	คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์
นางสาวพิศพิมพ์	จันทร์พรหม	คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์

ฝ่ายจัดพิมพ์และเผยแพร่

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



จดหมายจากบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (RMUTL Eng. J) ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน กรกฎาคม - ธันวาคม 2562 ซึ่งเป็นฉบับก่อนการทราบผลการประเมินของฐานข้อมูลศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย ยังคงคุณภาพการประเมินบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) ทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย โดยมุ่งเน้นให้วารสารวิศวกรรมศาสตร์ (RMUTL Eng. J) เป็นที่ยอมรับในแวดวงทางวิชาการเป็นอย่างดี ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำแนะนำและปรับปรุงเนื้อหาให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นเหมือนกับทุกฉบับที่ผ่านมา เพื่อให้เกิดการแบ่งปันองค์ความรู้ที่มีคุณภาพทางวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในรูปแบบต่าง ๆ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ (RMUTL Eng. J) ฉบับนี้ ได้รวบรวมบทความทางวิชาการที่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 7 บทความ ซึ่งเป็นบทความทางด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรม และวิศวกรรมเหมืองแร่ ที่เกี่ยวกับการใช้วัสดุต่าง ๆ การออกแบบสร้างเครื่องมือ การพัฒนาระบบการจัดการซ่อมบำรุงในโรงงาน และการศึกษาการใช้ประโยชน์เบื้องต้นจากทางแร่เหล็กด้านสี อนึ่งท่านสามารถติดตามวารสารวิศวกรรมศาสตร์ (RMUTL Eng. J) และอ่านบทความต้นฉบับได้ที่เว็บไซต์ <https://engineering.rmutl.ac.th/journal/> และ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/RMUTLEngJ>

ดิฉันในนามของกองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ (RMUTL Eng. J) ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ทั้งต่อนักวิจัยที่สนใจส่งบทความมาตีพิมพ์ และผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้ทำหน้าที่ประเมินบทความ ผู้บริหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และผู้สนับสนุนทุก ๆ ท่าน ที่ให้การสนับสนุนและกองบรรณาธิการที่มีความเข้มแข็ง ซึ่งทำให้การจัดพิมพ์เล่มวารสารแล้วเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนด สุดท้ายนี้ขอเชิญชวนนักวิจัย ทั้งนิสิต นักศึกษา และคณาจารย์ ส่งบทความทางวิชาการเข้าร่วมตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ (RMUTL Eng. J) ในฉบับต่อ ๆ ไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กลิ่นประทุม ปัญญาปิง)

บรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

สารบัญ

ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2562

บทความวิชาการ

The Solutions for Reducing the Plastic Flow Hesitation and Its Application for Solving the Defect of Auto Parts 1

Supachart Thunyakasemsan Niwat Moonpa Jen-An Chang and Belinda Changkajonsakdi

การพัฒนาระบบการจัดการซ่อมบำรุงด้วยคอมพิวเตอร์ : กรณีศึกษา บริษัทผลิตถุงมือยาง 7

กิตติชัย อธิกุลรัตน์ ลลิตา นาคพรหม และ กฤษดา ม่วงขาว

การศึกษาสัณฐานผลึกจากการใช้ทางแร่เหล็กทดแทนมวลรวมละเอียด 16

ศรันย์ สิงห์เปา ปุณณเกษม ชูตระกูล และ ศิวโรดม ศิริลักษณ์

การสร้างเครื่องย่อยดินเพื่อใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสาน 23

แมน พัททอง สมชาย โพธิ์พยอม ศักดิ์สิทธิ์ ชื่นชมนาคจาด เกริกชัย มีหนู และ เกรียงไกร ธารพรศรี

การรักษาความเสถียรน้ำยางธรรมชาติจากน้ำมันปาล์ม 30

ตรีญญา มูลชัย อรุณศรี เอี่ยมรัมย์ ลักษณะ ภัทขวงค์ อนุวัฒน์ คงราม และ อัครสิริ แก้วศรีนวล

การออกแบบและสร้างอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์สำหรับใช้งานร่วมกับส่วแทนเจาะ 36

ปราชญ์ อัครนรากุล อำนวย เรืองวารี สมควร แวดดี และ สมศักดิ์ แก่นทอง

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการตัดกระดาษท กลุ่มวิสาหกิจชุมชนขนมไทยบ้านตาก 45

ชยันต์ คำบรรลือ ธันย์นรี พรไพโรเพชร และ ไกรสร วงษ์ปู่

The Solutions for Reducing the Plastic Flow Hesitation and Its Application for Solving the Defect of Auto Parts

Supachart Thunyakasemsan^{1*}, Niwat Moonpa¹, Jen-An Chang² and Belinda Changkajonsakdi³

¹ Mechanics, Materials and Engineering Design Research Group, Rajamangala University of Technology Lanna.

128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

² R&D Center for Smart Manufacturing (SMC), Chung Yuan Christian University.

200 Chung Pei Road, Chung Li, Taoyuan, Taiwan, 32023

³ Mold Technology Center, Thai-Taiwan (BDI) Technological College.

46/7 Village No. 12, Bangplee-Kingkaew Road, Bangplee, Samut Prakan, Thailand, 10540

*Corresponding Author: Supachart.thunyakasemsan@gmail.com. Phone Number 06-2929-1451

Received: 19 March 2019, Revised: 22 May 2019, Accepted: 20 June 2019

Abstract

The hesitation phenomena occur while the molten plastic flows into a cavity with variable thickness. When the molten plastic entering a cavity is filling a thin section and a thick section, the flow velocity of the molten plastic in each area is different, resulting in the flow position difference (FPD). When the flow hesitation happens, defects will occur on the part surface, such as weld line, air trap and short shot, etc. Therefore, the objective of this study was to present solutions for reducing the occurrence of hesitation phenomena by using various thickness design with difference thickness ratio (THK ratio) and injection speed to control the flow hesitation phenomena. Seven basic testing models with different THK ratio (1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2 and 2.4) combine with different injection speeds were used for simulating. Through the simulation, different flow hesitation level (Flow Position Difference, FPD) could be computed. The engineering plastic material ABS was applied for the simulation testing to build up the database and produce the design guidelines. Eventually, the results of this study were used to solve the weld line issue caused by flow hesitation on the actual molding part. The study result showed that the THK ratio design was the main effect for the final FPD. The injection speed was a key parameter to reduce the FPD with different THK ratio. In the max THK ratio 2.4 design case, the FPD could be reduced by 70% (from 156.23 mm to 46.56 mm) by speed control. For the actual molding case of the motorcycle part, the serious weld line defect could be reduced about 69% by speed control solutions.

Keywords: flow hesitation, injection molding simulation, flow position difference, various part thickness design.

1. Introduction

The injection molding is the most popular process in the plastic parts manufacturing industry, especially the automotive parts manufacturing industry due to the high production rate and the ability to produce complex parts precisely [1]. For the parts of automotive, the surface quality is always important. Even the part's surface needs to paint, a good surface quality still can improve the yield rate for the painting process.

The flow hesitation is a surface defect that results from the stagnation of polymer melt flow over a thin-sectioned area or an area of abrupt thickness variation. When the flow hesitation happens, it will occur the defect on the part surface, such as weld line (Fig. 1a) [2-3] and short shot, flow unbalanced or hesitation mark (Fig. 1b). Therefore, a lot of research attempts to study the flow hesitation [4] to find ways to limit or reduce this situation.

The team of the simulation software, Moldex3D, collects data of analyzing and solving injection problems that occur in the industry. The flow hesitation is one of the case studies, the result shows the flow hesitation can be eliminated [5] by changing the gate position. The other found that when increasing the width and thickness of microfeatures can reduce the flow hesitation [6] and another research shows the injection speed and the injection pressure are the key factors

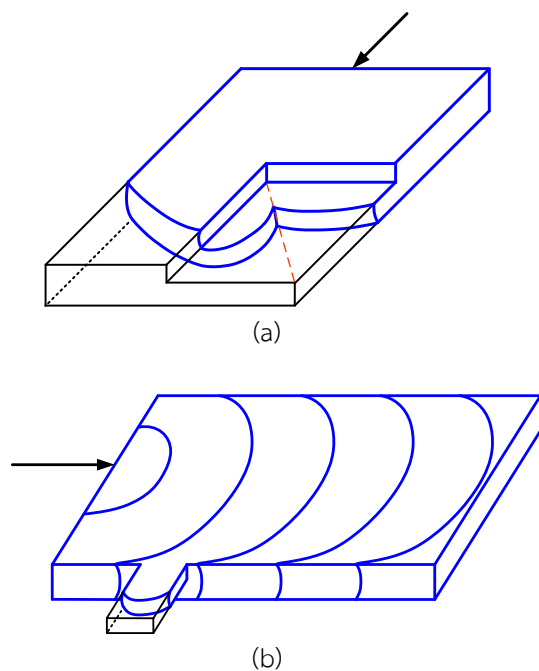


Fig. 1. The flow hesitation cause (a) weld line and (b) short shot, flow unbalanced or hesitation mark affecting the flow hesitation [7]. Combining these research findings, we can find that there are many reasons for the hesitation of the flow. However, they have one thing in common. In the hesitant area, the viscosity of the plastic will be significantly different due to the unbalanced flow rate.

In this study, we focused on two key factors, injection speed and part thickness ratio (THK ratio), which both helped to reduce the difference in flow viscosity. By using simulation to find out the relationship between the injection speed and the different THK ratios. Then, develop a guideline to address the shortcomings caused by hesitation, especially automotive parts.

2. Principal of viscosity relative to shear rate

The flow of molten plastic in injection molding filling is driven by the pressure that overcomes the melt resistance to flow also known as “Viscosity”. A high viscosity will increase the flow resistance. Viscosity is expressed as the ratio of shear stress to the shear rate [8], as shown in (1)

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (1)$$

where η is viscosity, τ is shear stress and $\dot{\gamma}$ is shear rate. In general, the molten plastic used in the injection molding process is usually non-Newtonian fluid. Therefore, viscosities are a function of the shear rate. When the shear rate is increased, the viscosity decreases. As shown in Fig. 2.

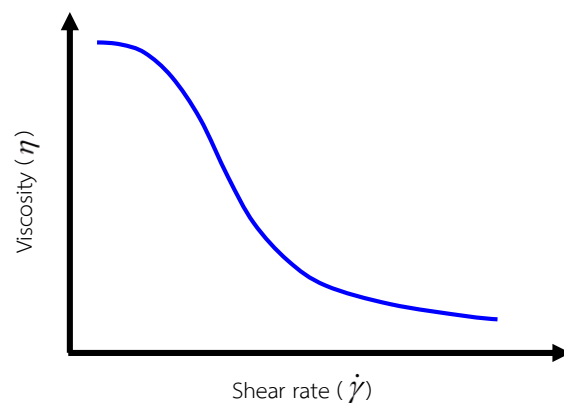


Fig. 2. The relationship of viscosity to shear rate.

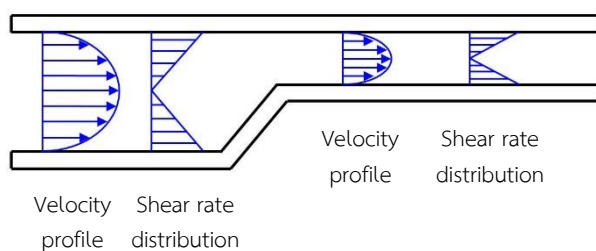


Fig. 3. The flow behaviour and related features regarding the variation of the thickness in filling stage

From (1), when considering shear rate found that the shear rate is the relationship between the velocity of flow and the depth of the flow channel, which is in the form of velocity gradient, as shown in (2). Therefore, changing the geometry, such as the depth of the flow channel or the velocity of flow, significant affecting viscosity [9].

$$\dot{\gamma} = \frac{dv}{dy} \quad (2)$$

where v is the velocity of flow and y is the depth of the flow channel. The relationship of the depth of the flow channel, velocity of flow, shear rate and viscosity can be explained as shown in Fig. 3, the higher depth of the flow channel leads to lower flow resistance (viscosity decrease) due to shear rate is higher, which results in easier flow of the molten plastic (velocity of flow increase). On the other hand, when the lower depth of the flow channel leads to higher flow resistance due to the shear rate is lower, which results in difficult flow of the molten plastic [10].

As described above, it was found that the thickness and flow velocity were the most important factors affecting the flow of molten plastic. Therefore, this study focuses on the thickness and flow velocity and specifies that these two variables are the initial parameters to control the flow hesitation or reduce the occurrence of flow position difference (FPD).

3. Experimental Works

The model of part used for the flow simulation in this research has been designed to have different thicknesses, the sides are thicker than the middle as shown in Fig. 4, by creating 7 part model showing details as shown in Table 1. Then choose

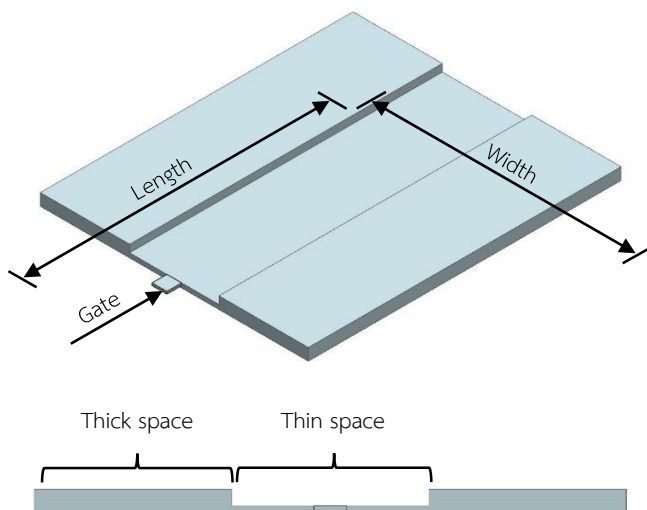


Fig. 4. The shape of part model for simulation

2 types of mesh to create the part model (triangular prism and tetrahedral) and set the mesh size to 1 mm as shown in Fig. 5.

Table 1. Details of model size of part for flow simulation.

No.	Width (mm)	Length (mm)	Thickness (mm)		THK Ratio
			Thick	Thin	
Model 1	180	210	3.6	3.0	1.2
Model 2	180	210	4.2	3.0	1.4
Model 3	180	210	4.8	3.0	1.6
Model 4	180	210	5.4	3.0	1.8
Model 5	180	210	6.0	3.0	2.0
Model 6	180	210	6.6	3.0	2.2
Model 7	180	210	7.2	3.0	2.4

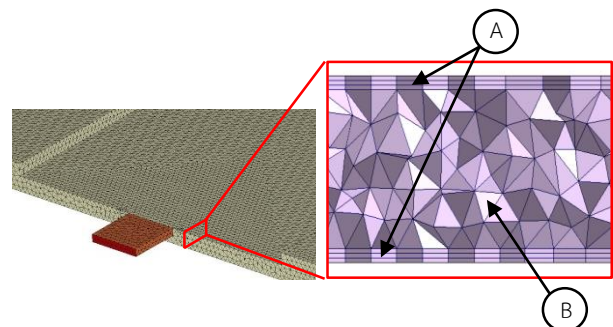


Fig. 5. Mesh type for used that A) Triangular prism and B) Tetrahedral

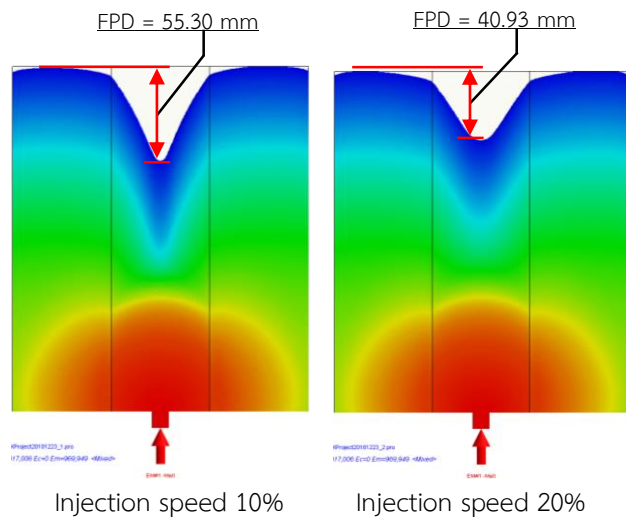


Fig. 6. Example for flow simulation result and measurement of flow position difference of the model 4 (THK ratio 1.8) at injection speed 10% and 20%

Table 2. Measurement results of flow distance difference from simulation of all 7 models at different injection speeds

No.	THK Ratio	Flow Position Difference, FPD (mm)								
		Injection Speed								
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Model 1	1.2	18.75	10.94	9.38	9.37	9.38	9.37	9.37	9.38	9.06
Model 2	1.4	26.87	23.12	21.25	19.37	18.75	18.07	17.50	17.19	16.87
Model 3	1.6	41.24	31.25	28.12	26.56	25.00	24.06	24.06	23.75	23.44
Model 4	1.8	55.30	40.93	36.56	34.06	32.18	31.25	30.31	30.00	29.37
Model 5	2.0	88.43	52.81	45.62	42.18	39.68	38.24	36.24	35.93	35.31
Model 6	2.2	121.24	64.68	54.37	49.06	45.93	44.06	42.81	41.87	40.62
Model 7	2.4	156.23	82.18	65.62	58.43	54.37	51.87	49.37	47.49	46.56

Determining the boundary conditions for the flow simulation, the polymer material used is ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene), the melt temperature is 210 °C and the mold temperature is 60 °C, then injection speed setting is 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% and 90% of the maximum injection speed of the injection molding machine.

Then simulate the flow of molten plastic of all 7 part models at various injection speeds as shown in Fig. 6. In order to explain the flow results of the difference THK ratio, we define the Flow Position Difference, FPD. The FPD is the distance between the hesitation areas to the end of the flow.

4. Results and Discussion

Table 2 shows the results of the simulation of flow hesitation phenomena by measuring FPD that occurs under difference THK ratio with various injection speed. Then make a relationship graph between the FPD and injection speed at the 7 difference THK ratio as shown in Fig. 7. From the graph shows that the relationship between thickness ratio and injection speed has a significant effect on FPD formation. We can find that the higher THK ratio design will get higher FPD. In particular, at the injection speed 10 % (with very low speed), the increase of the FPD is very serious (from 18.75 mm at the THK ratio 1.2 to 156.23 mm at the THK ratio 2.4). When the injection speed increases, the FPD value decreases. In particular, the injection speed to 20% and 30%, the FPD will

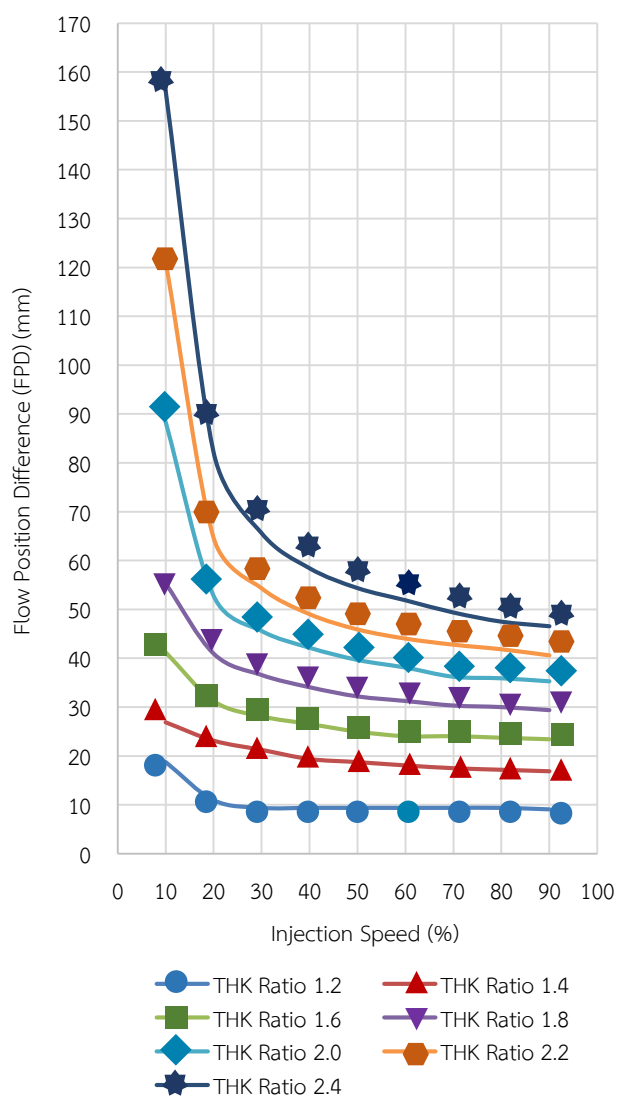


Fig. 7. Comparison of measurement results of flow distance difference from simulation of all 7 models at different injection speeds



Fig. 8. The thickness of the edge of an actual case study about 6.3 mm and the thickness of the middle of the parts about 3.2 mm

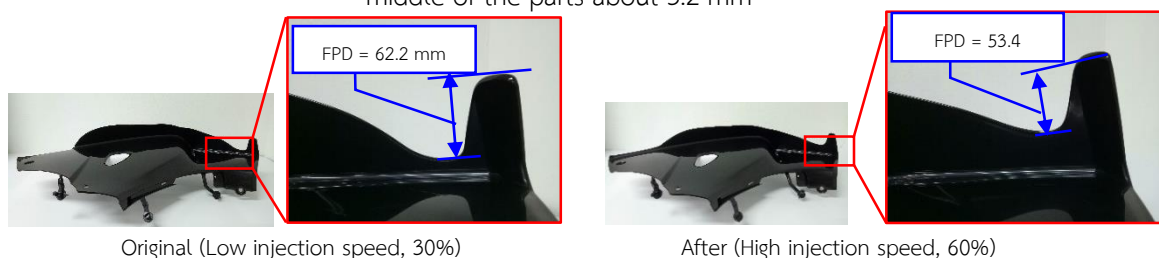
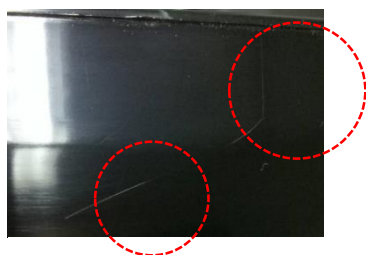


Fig. 9. Case study for reducing the FPD for auto part by injection speed control, the FPD can be reduced by 14.15% (from 62.2 mm to 53.4 mm)



Original (weld line length is 23.38 mm)



After improvement (weld line length is 7.23 mm)

Fig. 10. The weld line that occurs on surface of the parts before and after the improvement

decrease rapidly. If we keep increasing the injection speed, we can see the FPD will tend to steadily decrease until the reduction of FPD values is beginning to stabilize at the injection speed by 70% to 90%. In a high THK ratio design case such as 2.0, 2.2 and 2.4 (the max THK ratio), the FPD can be reduced around 60% (from 88.43 mm to 35.31 mm), 66% (from 121.24 mm to 40.62 mm) and 70% (from 156.23 mm to 46.56 mm) respectively by controlling the injection speed to increase. On the other hand, in a low THK ratio design case such as 1.2 (the lowest THK ratio) and 1.4, the flow hesitation is not clear causes the FPD is very small. Therefore, the injection speed control affects less

the FPD. From explaining the results of the experiment show that the thickness ratio is important to cause the FPD or hesitation phenomenon. Meanwhile, injection speed control is the best solution for solving this issue.

This database and study results can be applied for solving of the weld line defect in the real molding part. By using the motorcycle's fender part for an actual case study which the edge of the parts is thicker than the middle of the parts as shown in Fig. 8. The solution is increasing the injection speed (from 30% to 60%), we can get the FPD has been improved from 62.2 mm to 53.4 mm (14% improvement) as shown in Fig. 9. As a result,

the weld line length on the part surface can be reduced by 69% (from 23.38 mm to 7.23 mm), as shown in Figure 10.

5. Conclusions

Different part thickness designs are a common cause of plastic flow hesitation and many molding problems. In this study, the basic shape part design has been used to obtain a THK ratio (Thickness ratio) relative to the FPD (Flow Position Difference) database. According to the simulation and experimental results, the THK ratio is the main influence of the final FPD, and the injection speed is a key parameter for reducing the THK ratio of FPD. As with the maximum THK design of 2.4, FPD can be reduced by approximately 70% (from 156.23 mm to 46.56 mm) by speed control. Finally, the actual forming box for the motorcycle parts. Through the speed control solution, severe weld defects on the surface of the part can be improved, and the FPD can be reduced by 14% (from 62.2 mm to 53.4 mm). This results in a 69% reduction in the weld length of the part surface (from 23.38 mm to 7.23 mm).

6. Acknowledgment

This work was supported by Bangkok Diecasting and Injection co. Ltd. (BDI) under MOU between RMUTL and BDI group for the mold technology center and NSTDA for STEM workforce scholarship.

7. References

- [1] P. Somjate. Defects of Injection Molded Parts: Causes and Troubleshooting. Kasetart Engineering Journal. 2009;69:91-104. Available from: http://www.eng.ku.ac.th/e-journal_th/download.php?name=Zlf0VQNMon20820.pdf&file_basename=91-104%20%CA%C1%E0%A8%B5%B9%EC.pdf [Accessed 1st February 2019].
- [2] P. Guerrier, G. Tosello and J. H. Hattel. Flow visualization and simulation of the filling process during injection molding. CIRP-Journal of Manufacturing Science and Technology. 2017;16(12-20):12-20. Available from: doi:10.1016/j.cirpj.2016.08.002 [Accessed 4th February 2019].
- [3] R. Surace, V. Bellantone, G. Trotta and I. Fassi. Replicating capability investigation of micro features in injection moulding process. Journal of Manufacturing Processes. 2017;28:351-361. Available from: doi:10.1016/j.jmapro.2017.07.004 [Accessed 4th February 2019].
- [4] E. Bociaga and T. Jaruga. Visualization of melt flow lines in injection moulding. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2006;18(1-2):331-334. Available from: www.researchgate.net/publication/42253312 [Accessed 1st February 2019].
- [5] Modex3D Team. 10 Real-World injection molding simulation case studies. Available from: <https://kruseanalysis.com> [Accessed 1st February 2019].
- [6] W. Menz and S. Dimov. 4M 2005 - First International Conference on Multi-Material Micro Manufacture. Elsevier Science Publishing;2005. p.107-110.
- [7] A. Eladl, R. Mostafa, A. Islam, D. Loaldi, H. Soltan, H. N. Hansen and G. Tosello. Effect of Process Parameters on Flow Length and Flash Formation in Injection Moulding of High Aspect Ratio Polymeric Micro Features. Micromachines. 2018;9(2):58. Available from: doi:10.3390/mi9020058 [Accessed 4th February 2019].
- [8] J. Shoemaker, Moldflow Design Guide : A Resource for Plastics Engineers. Germany : Hanser Publishing;2006. p. 1-41.
- [9] D. Moonay. What is Shear Rate and Why is it Important. Available from: <https://labcompare.com/10-Featured-Articles> [Accessed 3rd February 2019].
- [10] Moldex3D Help. Mesh Function. Available from: <https://moldex3d.com/en/tutorials> [Accessed 4th February 2019].

การพัฒนาระบบการจัดการซ่อมบำรุงด้วยคอมพิวเตอร์ : กรณีศึกษา บริษัทผลิตถุงมือยาง Development of a Computerized Maintenance Management System (CMMS) : A Case Study of Latex Gloves Manufacturer

กิตติชัย อธิกุลรัตน์^{1*} ลลิตา นาคพรหม¹ และกฤษฎา ม่วงขาว¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาชื่น 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

Kittichai Athikulrat^{1*} Lalida Nakprom¹ and Kritsada Mounghkhao¹

¹Department of Materials Handling and Logistics Engineer, Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

1518 Pracharat 1 Road, Wongsawang, Bangsue, Bangkok, Thailand, 10800

*ผู้รับผิดชอบบทความ: kittichai.athi@gmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-2584-4336

Received: 22 May 2019, Revised: 18 July 2019, Accepted: 24 July 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและปรับปรุงระบบบริหารงานซ่อมบำรุงของ บริษัท ผลิตถุงมือยาง ระบบจัดการงานซ่อมบำรุงด้วยคอมพิวเตอร์ ได้รับการพัฒนาด้วยภาษาไพธอน เพื่อรวบรวม จัดเก็บและบริหารจัดการงานซ่อมบำรุง ในฐานข้อมูลซึ่งประกอบด้วยข้อมูลพนักงาน เครื่องจักรและชิ้นส่วนเครื่องจักร นอกจากนั้นโปรแกรมฐานข้อมูลยังสามารถช่วยในการค้นหาข้อมูลงานซ่อมบำรุงได้รวดเร็วและสะดวกมากขึ้น ผลการศึกษาพบว่าเวลาในการซ่อมบำรุงของระบบใหม่ลดลงจากของระบบปัจจุบันเป็นเวลา 1,140 วินาทีหรือคิดเป็น ร้อยละ 94.39 ซึ่งแสดงว่าประสิทธิภาพการจัดการซ่อมบำรุงเพิ่มสูงขึ้น

คำสำคัญ โปรแกรมฐานข้อมูล การลดเวลาการทำงาน การจัดการงานซ่อมบำรุง

Abstract

The objective of this research is to develop and improve the maintenance system of latex gloves manufacturing. The computerized maintenance management system has been developed in Python to collect and manage the maintenance information in the database which consists of the employee profile, the machinery and the spare parts. In addition, the database program can help search the maintenance records more quickly and conveniently. Based on the results of this study, it was found that the maintenance time of the new system decreased from the existing system 1,140 seconds to 64 seconds, or reduced by 94.39%, which leads to higher efficiency of maintenance management system.

Keywords: database program, reduced working time, maintenance management system.

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกยางในช่วงหลายปีที่ผ่านมา อีกทั้งประเทศไทยเป็นประเทศที่มีผลผลิตยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลกประมาณ 4.56 ล้านตัน [1] อีกทั้งความต้องการใช้ยางภายในประเทศเริ่มกระตือรือร้น อุตสาหกรรมถุงมือยางเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศที่มีมูลค่าส่งออกในปี พ.ศ. 2561 กว่า 42,000 ล้านบาท ซึ่งมีมูลค่าส่งออกเป็นอันดับสองรองจากยางยานพาหนะ [2] ผู้ประกอบการจำเป็นต้องมีการพัฒนาศักยภาพ และความสามารถในการแข่งขันให้มากขึ้น

เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพโดยใช้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ลดความสูญเสียต่าง ๆ และได้มาซึ่งผลกำไรสูงสุดซึ่งเครื่องจักรเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการผลิตถุงมือยาง เนื่องจากกระบวนการผลิตถุงมือยางเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง ซึ่งทำให้การผลิตแบบนี้มีความยืดหยุ่นในการผลิตต่ำ หากมีเครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งเสียหาย ย่อมจะส่งผลให้สายการผลิตทั้งสายต้องหยุดชะงักตามไปด้วย ซึ่งจำเป็นจะต้องได้รับการดูแลรักษาที่ดี มีการวางแผนระบบการซ่อมบำรุงที่มีประสิทธิภาพพร้อมใช้งานได้อย่างสม่ำเสมอซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายถุงมือยาง โดยลำเลียงแม่พิมพ์รูปมือ ผ่านกระบวนการต่างๆ ได้แก่ ลำเลียงแม่พิมพ์รูปมือ อบแม่พิมพ์รูปมือ จุ่มสารช่วยการจับตัว อบแห้ง จุ่มน้ำยาง อบฟิล์มถุงมือ ยาง ม้วนขอบถุงมือ ลำเลียงแม่พิมพ์รูปมือ อบแห้ง จุ่มน้ำ แป้ง อบแห้ง และถอดถุงมือออกจากแม่พิมพ์ จากกระบวนการดังกล่าวข้างต้นแม่พิมพ์รูปมือจะเคลื่อนที่ผ่านไปยังกระบวนการต่างๆ เพื่อนำแม่พิมพ์รูปมือจุ่มลงในบ่อน้ำยาหรือสารเคมี บ่อน้ำยา บ่อน้ำแป้ง ตามเวลาที่กำหนด ซึ่งบางบ่อจำเป็นต้องมีไบกวนเพื่อป้องกันการตกตะกอน รวมถึงผ่านไปยังตู้อบเพื่อทำการอบแม่พิมพ์รูปมือเพื่อให้ผิวแม่พิมพ์แห้งก่อนจุ่มลงในบ่อจุ่มถัดไป จากกระบวนการดังกล่าวข้างต้นพบว่าหากมีกระบวนการใด มีปัญหาไม่สามารถดำเนินการผลิตได้ เช่น ไบกวนในบ่อสารเคมีหรือน้ำแป้งเกิดการขัดข้องไม่ทำงาน อุณหภูมิในตู้อบต่ำกว่าหรือสูงกว่าข้อกำหนด ส่งผลต่อต้นทุน คุณภาพ และการส่งมอบถุงมือยาง ให้แก่ลูกค้า ปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษามีแผนซ่อมบำรุงเพื่อแก้ไขปัญหาเครื่องจักรขัดข้องตามอาการต่างๆ บางอาการจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนอะไหล่หรือชิ้นส่วนเพื่อทดแทนชิ้นส่วนเดิมที่เสียหาย บางชิ้นส่วนบริษัทไม่ได้ดำเนินการสต็อกไว้ล่วงหน้าทำให้เสียเวลารอในการสั่งซื้อ ส่งผลต่อกระบวนการผลิตต้องหยุดชะงักไป บางชิ้นส่วนมีสต็อกมากจนเกินไป ส่งผลต่อต้นทุนของบริษัท

ดังนั้นเองฐานข้อมูลงานบำรุงรักษาเครื่องจักรจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้ระบบการผลิตสามารถดำเนินการผลิตได้ตามความต้องการและตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงเครื่องจักร โดยการรวบรวมข้อมูลการแจ้งซ่อมบำรุงเครื่องจักรให้อยู่ในรูปแบบของฐานข้อมูล ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุง อีกทั้งยังสามารถรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องจักรเพื่อการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้ ทั้งนี้ได้ [3] ศึกษาวิจัยเพื่อจัดทำระบบสนับสนุนการวางแผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักรเพื่อให้ข้อมูลแก่ผู้บริหารเพื่อประกอบการวิเคราะห์ข้อมูลและใช้ประกอบการตัดสินใจ แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลเป็นการ นอกจากนั้นแล้วยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมบำรุงเครื่องจักรเพื่อลดความเสียหายหรือผลกระทบจากการผลิต เพื่อวางแผนการซ่อมบำรุง [4],[5],[6]

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและวิธีการดำเนินการวิจัย โดยทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถพิจารณาเป็น 2 ประเด็นที่สำคัญคือ โปรแกรมฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์และทฤษฎีการบำรุงรักษาเครื่องจักร ในส่วนวิธีการดำเนินการวิจัยจะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่ประยุกต์ระบบคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยสำหรับบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงโดยประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์นั้นมีวัตถุประสงค์ สำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ลดระยะเวลาการค้นหาเอกสารงานซ่อมบำรุง [7] พร้อมจัดทำฐานข้อมูลงานซ่อมบำรุงสำหรับวางแผนการซ่อมบำรุง [8] หาเวลาเฉลี่ยการเสียหายของเครื่องจักรหรือชิ้นส่วน (Mean Time between Failure : MTBF) เวลาเฉลี่ยการซ่อมบำรุง (Mean Time to Repair : MTTR) [9] รวมทั้งยังสามารถประเมินความสามารถของเครื่องจักรผ่านค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness : OEE) และการตรวจสอบปริมาณอะไหล่สำหรับการซ่อมบำรุง นอกเหนือจากนี้แล้วยังสามารถตรวจสอบสถานะของเครื่องจักรได้ทั้งระบบออนไลน์ (Online) และ ออฟไลน์ (Offline) โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงโปรแกรมได้ด้วยอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ อีกทั้งยังสามารถแจ้งเตือนผู้ใช้งานโปรแกรมผ่านระบบจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-Mail) [10] ส่วนการประเมินผลงานวิจัยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์งานวิจัยซึ่งสามารถประเมินได้จากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรที่เพิ่มขึ้น [10],[11] รวมถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ [12]

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักร เพื่อทำนายหรือพยากรณ์ช่วงเวลาที่เสียหายของเครื่องจักร สำหรับวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักร (Plan Maintenance) โดยการหาสาเหตุของความเสียหายพร้อมกับดำเนินการปรับปรุงแก้ไข เพื่อสามารถเพิ่มระยะเวลาการใช้งานให้แก่เครื่องจักร ทั้งนี้งานวิจัยดังกล่าวพิจารณาความสำเร็จของการบำรุงรักษาเครื่องจักรจากเวลาเฉลี่ยความเสียหายของเครื่องจักร (Mean Time Between Failure : MTBF) และเวลาเฉลี่ยในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร (Mean Time To Repair : MTTR) โดยในการวัดประสิทธิภาพของระบบบำรุงรักษาเครื่องจักร สามารถทำได้หลายวิธี ทั้งการควบคุม ดูแล ติดตาม ตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องจักร และเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ดังกล่าวนั้นสามารถทำงานได้อย่างเป็นปกติในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ก่อนการบำรุงรักษาครั้งต่อไป สามารถทำได้โดยการหาอายุการใช้งานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ก่อนที่เครื่องจักรจะเกิด

ความเสียหาย หรือไม่สามารถทำงานได้อย่างปกติ ซึ่งค่า MTBF (Mean Time Between Failure) แสดงถึงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาปฏิบัติงานระหว่างการเกิดปัญหาในแต่ละครั้ง หรือ ระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างความเสียหายของเครื่องจักร [13]

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n BF_i}{n} \quad (1)$$

กำหนดให้

MTBF = ระยะเวลาเฉลี่ยการปฏิบัติงานของเครื่องจักร ก่อนการเสียหาย

$\sum_{i=1}^n BF_i$ = ผลรวมระยะเวลาการปฏิบัติงานของเครื่องจักรก่อนการเสียหาย

n = จำนวนครั้งที่เกิดเหตุขัดข้อง

i = ครั้งที่การเกิดการขัดข้องของเครื่องจักร

MTTR (Mean Time to Repair) คือค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการซ่อมเครื่องจักรเมื่อเครื่องจักรเกิดความเสียหาย [9] โดยค่า MTTR ยิ่งมีค่าน้อยเท่าไร ยิ่งหมายความว่า ช่างซ่อมบำรุงมีค่าเฉลี่ยในการซ่อมเครื่องจักรที่ต่ำ หรืออาจแสดงเป็นนัยได้ว่า เครื่องจักรดังกล่าวมีการซ่อมหรือการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพ หรือช่างซ่อมบำรุงมีเทคนิคในการซ่อมที่ดีนั่นเอง

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (2)$$

กำหนดให้

MTTR = ระยะเวลาเฉลี่ยการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร

$\sum_{i=1}^n R_i$ = ผลรวมระยะเวลาการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร

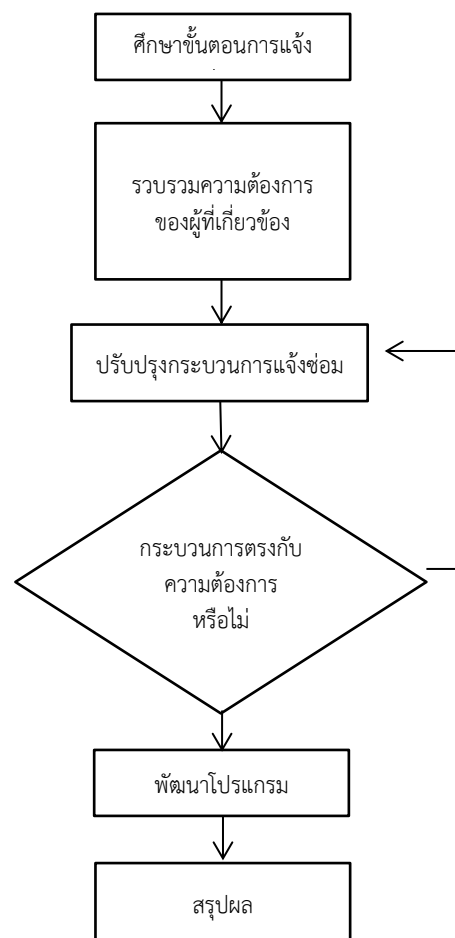
n = จำนวนครั้งที่เกิดเหตุขัดข้อง

i = ครั้งที่การเกิดการของเครื่องจักร

2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาวิธีการบันทึกและเก็บข้อมูลของบริษัท วิทยาลัยการศึกษานานาชาติ ซึ่งใช้วิธีการเก็บบันทึกข้อมูลการซ่อมบำรุงลงในรูปแบบของเอกสาร ซึ่งจากข้อมูลที่มีจำนวนมากจึงทำให้เกิดการผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลบ่อย อีกทั้งการตรวจสอบข้อมูลก็ทำได้ยากและต้องใช้เวลาพอสมควร อีกทั้งยังไม่สามารถนำข้อมูลจากระบบเอกสารเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์งานซ่อมบำรุง รวมถึงไม่มีระบบบริหารอะไหล่สำหรับงานซ่อมบำรุง ส่งผลทำให้อะไหล่สำหรับงาน

ซ่อมบำรุง มีมากไปหรือน้อยไปในบางช่วงเวลา ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการจัดเก็บอะไหล่ และส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตกรณีขาดแคลนอะไหล่สำหรับงานซ่อมบำรุง นอกจากนี้แล้ว ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงดำเนินการศึกษา และการรวบรวมข้อมูลหรือความต้องการจากผู้ที่เกี่ยวข้อง ตั้งแต่ระดับการผู้บริหาร ระดับหัวหน้างาน จนถึงระดับผู้ปฏิบัติงานจนทราบถึงความต้องการของระบบบริหารจัดการการซ่อมบำรุงเพื่อพัฒนาระบบการจัดการซ่อมบำรุงรักษาสำหรับโรงงานกรณีศึกษาโดยมีทั้งสิ้น 5 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการศึกษารวบรวมข้อมูล

1. ศึกษาขั้นตอนกระบวนการบริหารจัดการการซ่อมบำรุง
2. รวบรวมความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้อง
3. ปรับปรุงกระบวนการแจ้งซ่อม
4. พัฒนาโปรแกรม
5. สรุปผล

3.1.4 การพัฒนาโปรแกรม

ภายหลังการรวบรวมความต้องการของผู้เกี่ยวข้อง พร้อมปรับปรุงการไหลของข้อมูล จึงได้ทำการออกแบบ โครงสร้างของระบบข้อมูลเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการ และระบบการทำงานของโรงงานกรณีศึกษา โดยได้ทำการ ออกแบบโปรแกรมบริหารงานซ่อมบำรุงของโรงงาน กรณีศึกษา โดยแบ่งโครงสร้างของระบบบริหารจัดการการ ซ่อมบำรุงโดยให้คำสั่งการใช้งาน 6 ส่วนหลัก ดังนี้

1. คำสั่งเพื่อสร้างบัญชีผู้ใช้งานและเข้าสู่ระบบ
2. คำสั่งเจ้าหน้าที่
3. คำสั่งเครื่องจักร
4. คำสั่งอะไหล่
5. คำสั่งการแจ้งซ่อมเครื่องจักร
6. คำสั่งรายงาน

1. คำสั่งเพื่อสร้างบัญชีผู้ใช้งานและเข้าสู่ระบบ

เมื่อเริ่มต้นเข้าสู่โปรแกรม ผู้ใช้งานจำเป็นต้องสร้าง บัญชีผู้ใช้งานก่อนการเริ่มต้นใช้งานโปรแกรมโดยการตั้งชื่อ ผู้ใช้งาน และตั้งรหัสผ่านสำหรับการเข้าใช้งาน โดยข้อมูล บัญชีผู้ใช้งานจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลผู้ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 4 หน้าต่างการสร้าง บัญชีผู้ใช้ใหม่

รูปที่ 5 หน้าต่างการลงชื่อ เพื่อใช้งานระบบ

ในการเข้าใช้งาน ผู้ใช้งานจำเป็นต้องทำการเข้าสู่ระบบ โดย การลงชื่อเข้าใช้งานโปรแกรม โดยการกรอกข้อมูลชื่อ ผู้ใช้งานและรหัสผ่านเพื่อทำการตรวจสอบและจำแนกสิทธิ การเข้าใช้งานของแต่ละบุคคล ดังแสดงในรูปที่ 5

2. คำสั่งเจ้าหน้าที่

ในส่วน of คำสั่งเจ้าหน้าที่จะประกอบไปด้วย 2 เมนู ย่อย ได้แก่ คำสั่งเพิ่มข้อมูลเจ้าหน้าที่ และคำสั่งเรียกดูข้อมูล เจ้าหน้าที่

เริ่มต้นที่คำสั่งเพิ่มข้อมูลเจ้าหน้าที่ จะสามารถใช้ได้ เฉพาะผู้จัดการเท่านั้นที่ได้รับสิทธิในการเพิ่มและแก้ไขข้อมูล เจ้าหน้าที่ได้ ซึ่งระบบสามารถเพิ่มผู้จัดการได้เพียงคนเดียว ในตอนเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรมเท่านั้น โดยในส่วน of คำสั่งเพิ่มข้อมูลเจ้าหน้าที่จะประกอบไปด้วย 3 ข้อมูลคือ

รหัสเจ้าหน้าที่ ชื่อเจ้าหน้าที่ และแผนกเจ้าหน้าที่ ดังแสดง ในรูปที่ 6

รูปที่ 6 หน้าต่างการเพิ่มข้อมูลเจ้าหน้าที่

ส่วนของคำสั่งเรียกดูข้อมูลพนักงานจะแสดงข้อมูล ประวัติพนักงานได้แก่รหัสพนักงาน ชื่อพนักงาน และแผนก ของพนักงานนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 7

รหัส	ชื่อ	แผนก
IS	สมชาย	ช่าง
SC	สมชาย	ช่าง
SM	สมชาย	ช่าง
DM	สมชาย	ช่าง

รูปที่ 7 หน้าต่างการเรียกดูข้อมูลเจ้าหน้าที่

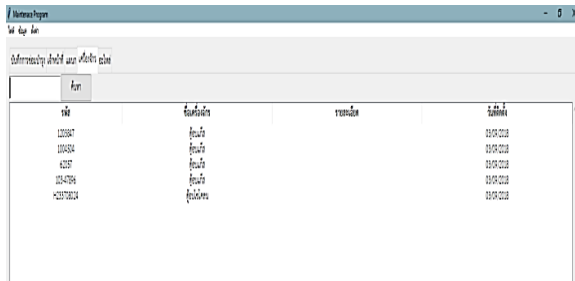
3. คำสั่งเครื่องจักร

ในส่วน of คำสั่งเครื่องจักรจะประกอบไปด้วย 2 เมนู ย่อย ได้แก่ คำสั่งเพิ่มข้อมูลเครื่องจักร และคำสั่งเรียกดู ข้อมูลเครื่องจักร

เมื่อเข้ามาสู่คำสั่งเครื่องจักร จะสามารถใช้ได้เฉพาะ ผู้จัดการเท่านั้นที่ได้รับสิทธิในการเพิ่มและแก้ไขข้อมูล เครื่องจักรได้ โดยในส่วน of คำสั่งเพิ่มเครื่องจักรจะ ประกอบไปด้วย 5 ข้อมูลคือ รหัสเครื่องจักร ประเภท เครื่องจักร ชื่อเครื่องจักร รายละเอียดเครื่องจักร และวันที่ ติดตั้งเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 8

รูปที่ 8 หน้าต่างการเพิ่มข้อมูลเครื่องจักร

ในส่วนของคำสั่งเรียกดูข้อมูลเครื่องจักรจะแสดงข้อมูลเครื่องจักรได้แก่รหัสเครื่องจักร ประเภทเครื่องจักรชื่อเครื่องจักร รายละเอียดเครื่องจักร และวันที่ติดตั้งเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 9



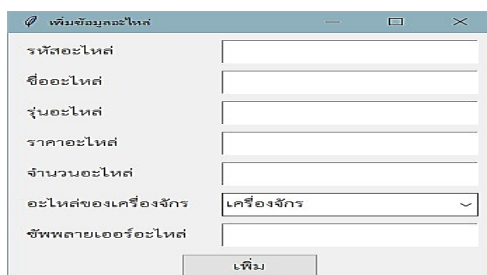
รหัส	ชื่อเครื่องจักร	ประเภท	วันที่ติดตั้ง
12345	เครื่องจักร A	ประเภท A	01/01/2562
67890	เครื่องจักร B	ประเภท B	02/02/2562
11111	เครื่องจักร C	ประเภท C	03/03/2562
22222	เครื่องจักร D	ประเภท D	04/04/2562
33333	เครื่องจักร E	ประเภท E	05/05/2562

รูปที่ 9 หน้าต่างการเรียกดูข้อมูลเครื่องจักร

4. คำสั่งอะไหล่

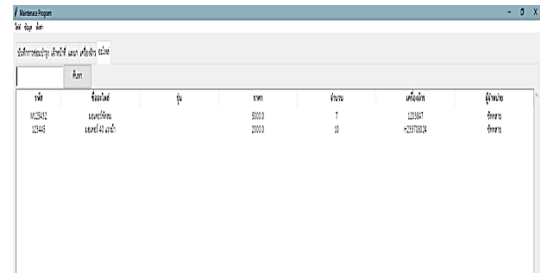
ในส่วนของคำสั่งอะไหล่งานซ่อมบำรุงจะประกอบไปด้วย 2 เมนูย่อย ได้แก่ คำสั่งเพิ่มข้อมูลอะไหล่งานซ่อมบำรุง และคำสั่งเรียกดูข้อมูลอะไหล่งานซ่อมบำรุง

ในส่วนของคำสั่งเพิ่มข้อมูลอะไหล่งานซ่อมบำรุงจะสามารถใช้ได้เฉพาะผู้จัดการเท่านั้นที่ได้รับสิทธิในการเพิ่มและแก้ไขข้อมูลอะไหล่ได้ แต่สำหรับพนักงานจะสามารถเพิ่มจำนวนอะไหล่ได้เพียงอย่างเดียว โดยในส่วนของคำสั่งเพิ่มอะไหล่งานซ่อมบำรุงจะประกอบไปด้วย 7 ข้อมูลคือ รหัสอะไหล่ชื่ออะไหล่ รุ่นอะไหล่ ราคาอะไหล่ จำนวนอะไหล่ ชนิดเครื่องจักรที่ใช้อะไหล่ นั้น ๆ และซัพพลายเออร์อะไหล่ดังแสดงในรูปที่ 10 ส่วนเมนูการลบและแก้ไขข้อมูลอะไหล่สามารถทำได้เฉพาะผู้จัดการเท่านั้น



รูปที่ 10 หน้าต่างการเพิ่มข้อมูลอะไหล่

ในส่วนของคำสั่งเรียกดูข้อมูลอะไหล่งานซ่อมบำรุงจะแสดงข้อมูลอะไหล่งานซ่อมบำรุงได้แก่รหัสอะไหล่ ชื่ออะไหล่ รุ่นอะไหล่ ราคาอะไหล่ จำนวนอะไหล่ ชนิดเครื่องจักรที่ใช้อะไหล่ นั้น ๆ และซัพพลายเออร์อะไหล่ดังแสดงในรูปที่ 11



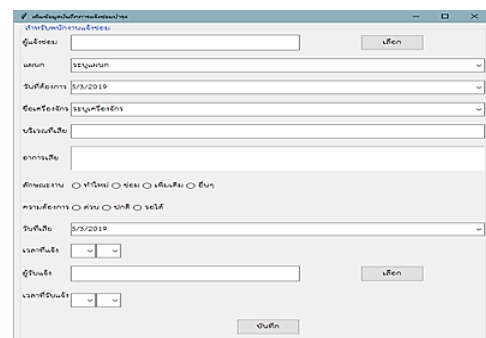
รหัส	ชื่ออะไหล่	รุ่น	ราคา	จำนวน	วันที่	ผู้เพิ่ม
12345	อะไหล่ A	รุ่น A	1000	1	01/01/2562	สมชาย
67890	อะไหล่ B	รุ่น B	2000	2	02/02/2562	สมชาย

รูปที่ 11 หน้าต่างการเรียกดูข้อมูลอะไหล่

5. คำสั่งการแจ้งซ่อมเครื่องจักร

ในส่วนของคำสั่งแจ้งซ่อมจะประกอบไปด้วย 3 คำสั่งย่อย ได้แก่ คำสั่งเพิ่มข้อมูลการแจ้ง คำสั่งเพิ่มข้อมูลการซ่อมบำรุง และคำสั่งข้อมูลรายการแจ้งซ่อม

เริ่มจากคำสั่งเพิ่มข้อมูลการแจ้งซ่อม ในกรณีที่เครื่องจักรเกิดความเสียหายหรือมีปัญหาเกิดขึ้น พนักงานฝ่ายผลิตหรือผู้ที่เกี่ยวข้องพบเห็นหรือตรวจพบปัญหาของเครื่องจักรจะทำการแจ้งซ่อมผ่านคำสั่งแจ้งซ่อมนี้ โดยพนักงานจะต้องทำการกรอกข้อมูลได้แก่ ชื่อผู้แจ้งซ่อม แผนกของผู้แจ้งซ่อม วันที่แจ้งซ่อม ชื่อเครื่องจักร บริเวณที่เสีย อาการที่เสีย ลักษณะงานความต้องการ วันที่เสีย เวลาที่แจ้ง ผู้รับแจ้ง และเวลาที่รับแจ้งดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 หน้าต่างการเพิ่มข้อมูลการแจ้งซ่อม

ในส่วนของคำสั่งเพิ่มข้อมูลการซ่อมบำรุง เมื่อพนักงานซ่อมบำรุงรับทราบถึงข้อมูลรายการแจ้งซ่อม และได้เข้าไปทำการซ่อมบำรุงหรือปรับแต่งเครื่องจักรนั้น ๆ แล้ว พนักงานซ่อมบำรุงจะเข้ามาทำการกรอกข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุงหรือแนวทางปฏิบัติสำหรับการซ่อมบำรุงเครื่องจักรนั้น ๆ ผ่านคำสั่งแจ้งซ่อมนี้ โดยพนักงานจะต้องทำการกรอกข้อมูลได้แก่ สาเหตุที่เสีย รายละเอียดการตรวจสอบ อุปกรณ์ที่ใช้ในการซ่อม อุปกรณ์ที่นำมาใช้เปลี่ยนรายชื่อผู้ที่เกี่ยวข้อง และเวลาที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 13

The screenshot shows the 'main' application window. At the top, there are input fields for 'เดือน' (Month) and 'ปี' (Year), and a 'ค้นหา' (Search) button. Below these, there are radio buttons for 'MTEF' and 'MTTR'. The main area displays a bar chart with 'เดือน' (Month) on the x-axis (ranging from 1 to 12) and 'จำนวน' (Count) on the y-axis (ranging from 0 to 25). The chart shows a significant peak in month 5, with a count of approximately 24. There are also smaller bars for month 3 (count ~3) and month 4 (count ~1).

รูปที่ 15 หน้าต่างรายงานผลการแจ้งซ่อมบำรุง
ในรูปแบบของกราฟแท่ง

ในคำสั่งต่อไปจะประกอบไปด้วยประวัติการซ่อมบำรุงแบบละเอียด โดยที่สามารถพิมพ์ออกมาเป็นเอกสาร เพื่อนำไปใช้สำหรับการประชุมเพื่อวางแผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักรได้ ดังแสดงในรูปที่ 16

บริษัท หัตถกรรมมีธยา		ส่วนงานซ่อมบำรุง	
แผนก ซ่อมบำรุง/ซ่อมบำรุงกลาง/ซ่อมบำรุง Line ผลิต		ใบแจ้งซ่อม/ใบแจ้งเข้า	
สำหรับบันทึกงานแจ้งซ่อม			
แผนก : การผลิต		ลักษณะงาน : [] ทำใหม่ [] ซ่อม [] เปลี่ยน [] ปรับปรุง ความเสียหาย : [] เจาะ [] หนัก [] ทั่วไป วันที่ต้องการ : 10/12/2018	
ชื่อเครื่องจักร :	1205047	วัน/เดือน/ปี :	เวลา/นาที/วินาที :
บริเวณที่เสีย :	มอเตอร์พัดลม	11/12/2018	13:20
จากการ	มอเตอร์พัดลมนี้เสียคือ		
ละออง :	หนัก	ละออง :	หนัก
วันที่		วันที่	
09/05/2019 13:25 เวลาที่รับแจ้ง		09/05/2019 13:25 เวลาที่รับแจ้ง	
ส่วนสำหรับบันทึกงานซ่อมบำรุง			
ขอแจ้งว่าปัญหานี้เคยเกิดขึ้นแล้วหรือไม่			
สาเหตุที่เสีย			
รายละเอียดการตรวจซ่อม	เปลี่ยนมอเตอร์ตัวใหม่		
อุปกรณ์ที่ใช้	ลำดับ	รายการ	จำนวน/หน่วย
	1	M125432-มอเตอร์พัดลม	1
อุปกรณ์ที่นำมาเทียบ : [] เปลี่ยนแปลงไม่ออก			
วัน/เดือน/ปี ที่ซ่อมเสร็จ	เวลาที่ใช้		ผู้ทำซ่อม : ผู้ทำการจ่ายงาน : หมายเหตุ :
	จาก	ถึง	
	11/12/2018		
11/12/2018 14:00		11/12/2018 14:45	สมชาย สมชาย สมชาย
[] Break Down จาก 11/12/2018 13:00 ถึง 11/12/2018 15:10			สมชาย

รูปที่ 16 หน้าต่างรายงานผลการแจ้งซ่อมบำรุง
ในรูปแบบของบันทึกรายงาน

ในส่วนสุดท้ายจะแสดงถึงประวัติการซ่อมบำรุงแบบไม่ละเอียด ซึ่งจะแสดงข้อมูลการซ่อมเครื่องจักรที่ได้ทำการซ่อมแซมแล้วไว้บนเซิร์ฟเวอร์ของบริษัท หากพนักงานคนใดหรือหัวหน้างานต้องการตรวจสอบประวัติการซ่อมบำรุง ก็จะสามารถทำการเรียกดูได้ทันทีในทุกที่และทุกเวลา โดยที่ไม่จำเป็นต้องดูผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์เท่านั้น ดังรายละเอียดใน ตารางที่ 2

ในคำสั่งนี้จะสามารถเรียกดูค่า MTBF และค่า MTTR ได้ โดยจะแสดงข้อมูลออกมาในรูปแบบของกราฟแท่ง ซึ่งสามารถเรียกดูข้อมูลของเครื่องจักรแต่ละชนิด โดยสามารถกำหนดช่วงเวลาที่จะแสดงค่าได้ตามที่ผู้งานต้องการ เพื่อนำไปใช้ประกอบการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร ดังแสดงในรูปที่ 15

ตารางที่ 2 รายละเอียดการแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์

อาการเสีย	วันที่เสีย	วันที่รับแจ้ง	สถานะการซ่อม
ตัวถังทะลุ	10/05/2019	10/05/2019	ซ่อมแล้ว
ฐานคลอน	06/05/2019	10/05/2019	ซ่อมแล้ว
มอเตอร์เสียงดัง	11/12/2018	15/12/2018	ซ่อมแล้ว

3.2 อภิปรายผล

ผลการวิจัยตามขั้นตอนการวิจัยที่ได้กล่าวทำการศึกษาขั้นต้น เพื่อพัฒนาระบบการจัดการงานซ่อมบำรุงด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถลดการดำเนินการด้านเอกสาร ปรับปรุงงานด้านเอกสาร การบันทึกข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ อีกทั้งยังสามารถค้นหาข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล การซ่อมบำรุง รวมถึงจัดการงานด้านอะไหล่สำหรับเครื่องจักร ช่วยงานด้านการจัดซื้อและลดปัญหาด้านอะไหล่ไม่เพียงพอหรือค้างสต็อกมากเกินไป ซึ่งช่วยลดต้นทุนและแก้ไขปัญหาไม่มีอะไหล่สำหรับงานซ่อมบำรุงเครื่องจักรขององค์กรได้ โดยสามารถสรุปเป็นเกณฑ์การเปรียบเทียบได้ดัง ตารางที่ 3 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบเวลาในการทำงานของระบบเดิมและระบบใหม่ได้ดังตารางที่ 4 พร้อมทั้งแสดงการเปรียบเทียบผลเวลาในการทำงานของระบบเดิมและระบบใหม่ดังแสดงในกราฟรูปที่ 17

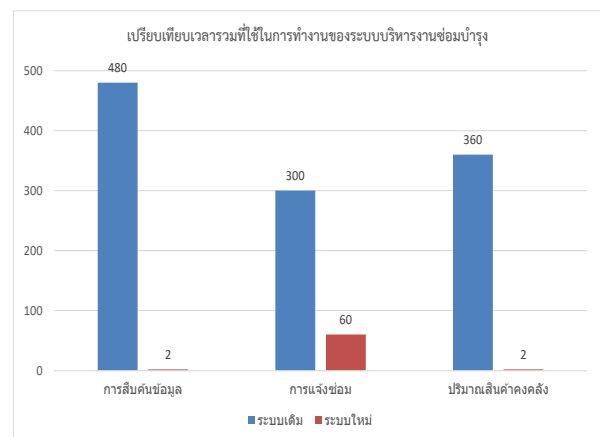
ตารางที่ 3 เกณฑ์สำหรับการวัดและประเมินผล

เกณฑ์การวัดผล	ระบบเดิม	ระบบใหม่
1.การสืบค้นข้อมูล	ใช้เวลาในการสืบค้นนานเนื่องจากข้อมูลการแจ้งซ่อมและผลการแจ้งซ่อมเป็นเอกสาร	ข้อมูลอยู่ในโปรแกรมทำให้สามารถสืบค้นได้อย่างรวดเร็ว
2.การแจ้งซ่อม	ใช้ระบบเอกสาร พร้อมส่งเอกสารให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	ใช้โปรแกรมทำให้การส่งต่อข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและทันสมัย
3.ปริมาณสินค้าคงคลัง	ไม่ทราบถึงข้อมูลอะไหล่ที่เป็นปัจจุบัน ทำให้บางครั้งขาดอะไหล่ที่ใช้ในการซ่อมแซมเครื่องจักร	สามารถทราบข้อมูลปัจจุบันได้ทันที ช่วยวางแผนการสั่งซื้ออะไหล่มาเติมภายในคลังได้ทันใช้งานในการซ่อมแซม
4.การรายงานผล	ไม่มีการทำข้อมูลรายงานซ่อมบำรุง	สามารถแสดงผลรายงานการซ่อมบำรุงพร้อมแสดงผลเป็นกราฟ

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำงานของระบบเดิมและระบบใหม่

เกณฑ์	เวลาเฉลี่ย (วินาที)			ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
	ระบบเดิม	ระบบใหม่	เปลี่ยนแปลง	
1	480	2	478	98.58
2	300	60	240	80.00
3	360	2	358	99.44
4	-*	2	-	-

* ระบบเดิมไม่เคยมีการรายงานผล



รูปที่ 17 การเปรียบเทียบผลของเวลาทำงานของระบบการบริหารจัดการซ่อมบำรุง ของระบบเดิมและระบบใหม่

4. บทสรุป

ภายหลังจากการนำโปรแกรมที่พัฒนาแล้วไปใช้ทดสอบงานจริงเพื่อเป็นการทดสอบความสามารถของระบบบริหารจัดการการซ่อมบำรุง โดยทำการวัดเปรียบเทียบผลการทำงานของระบบการทำงานเดิมกับระบบการทำงานใหม่โดยการเปรียบเทียบเวลาในการใช้งานทั้ง 2 ระบบในด้านต่างๆ ดังเช่น การสืบค้นข้อมูล การแจ้งซ่อม ปริมาณสินค้าคงคลังพบว่า ระบบการทำงานแบบใหม่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และช่วยลดเวลาในการทำงานของระบบการจัดการการซ่อมบำรุงได้เป็นอย่างดี

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้บริหารของบริษัทผลิตถุงมือยางที่สละเวลาเพื่อให้ข้อมูลสำหรับการวิจัย พร้อมกับข้อเสนอแนะต่างๆ ระหว่างการทำวิจัย พร้อมกันนี้ยังนำโปรแกรมที่พัฒนาแล้วนำไปใช้งานสำหรับบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงของบริษัทต่อไป



6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chetchuda Chuasuwan; Downstream Rubber Industry, Krungsri Research, March 2018.Thai.
- [2] Rubber Authority of Thailand. Export of Downstream Rubber [Internet]. 2018 [cited 2019 April 3]. Available from: <http://rubber.oie.go.th/ImExThaiByProduct.aspx?pt=ex&hgid=3>.Thai.
- [3] Akachai Picharn. A Case Study Machine Maintenance planning Support System Interhides Public Company Limited.
- [4] Athip Kumvongrattanayothin. Maintanace Planning for the forming Machine Case Study:Ceramic Plant. Master Degree of Industrial Engineering. Thammasat University; 2010.
- [5] Attiwan kiratiamornlak. The setting of Preventive Maintenance System for Improving the Efficiency of blow Moulding Machinery of Plastic Gallon and Plastic Bottle. Proceeding of the 7th National Conference on Technical Education; 6 November 2014; King Mongkut's of Technology North Bangkok;2014. p. 68-75.
- [6] Inkkhawat Khongkunawat and Sivadol Kunyakum. Preventive Maintanace System Design of Machinery Construction Case Study Machinery and Traffic system Center of Kalasin municipality. Proceeding of the 2th Conference of Research's Graduate Rajabhat Mahasarakham University. Rajabhat Mahasarakham University;2017. p.580-586.
- [7] Laddawan Kitsaleerung and Athakorn Kengpol. Design of a Database Program for Reducing Searching Time of History and Detail of Container Maintenance: A Case Study of Transport and Distribution Center Company The Journal of KMUTNB; 2018;28:353-360.Thai.
- [8] Em-ardchaya Rungsa. Development of Computered Preventive Maintenance Management System [The Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2014.Thai.
- [9] Nungruthai Chudpia. Development of Maintenance Management System for Printed Circuit Board Assembly Process [The Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2014. Thai.
- [10] Witsarut Rodsukon. Department of An On-Line Maintenance Management System [The Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2011. Thai.
- [11] Supranee Tubmongkol and Patcharapol Foongjunteug. Computer Maintenance Management System Case Study PEA Area 3 Northeastern. The 1st National Conference; 29 July 2016; Ratchathani University. Ubonratchathani; 2016. p. 1843-1853.Thai.
- [12] Napat Rattananakin. Syetem Analysis and Design. [Internet]. 2015 [cited 2019 April 3]. Available from: <http://www.macare.net/Analysis/index.php?id=-3>.
- [13] Thani AuamAor. Plan Maintenance Measurement. [Internet]. 2015 [cited 2019 April 4 Available from: <http://www.tpmconsulting.org/>

การศึกษาสีคลาแลงจากการใช้หางแร่เหล็กทดแทนมวลรวมละเอียด

The Study of Laterite Colour from Using Iron Ore Tailing Substitute Fine Aggregate

ศรันย์ สิงห์เปา¹ ปลุเกษม ชูตระกูล² และ ศิวโรดม ศิริลักษณ์^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์

²สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะศิลปกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Sarun Singpao¹, Ploogkasem Chootragoon² and Siwarote Siriluck^{1*}

¹Mining Engineering, Faculty of Engineering

²Printing and Packaging Technology, Faculty of Art and Architecture

Rajamangala University of Technology Lanna, 128 Huaykaew, Muang, Chiangmai, 50300, Thailand

*ผู้รับผิดชอบบทความ: siwarote@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-5392-1444 ต่อ 1236

Received: 26 July 2019, Revised: 25 October 2019, Accepted: 12 November 2019

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มุ่งเน้นเรื่องของการใช้ประโยชน์หางแร่เหล็กที่แหล่งภูอ่าง จังหวัดเลย มาทำเป็นสีคลาแลง โดยการใช้ทดแทนมวลรวมละเอียดที่ขนาด -30+200 เมช พบว่า ค่าสีในระบบ CIE L*a*b* ใกล้เคียงกับสีคลาแลงธรรมชาติจากแหล่งลี่ จังหวัดลำพูน จึงสามารถใช้หางแร่เหล็กทั้งหมดแทนมวลรวมละเอียด ในรูปของสีแดงธรรมชาติเมื่อเทียบเคียงกับสีคลาแลง และยังช่วยประหยัดค่าแรงในการทาสี ใช้ระยะเวลาทาสีสั้น และวัสดุมีราคาถูก อย่างไรก็ตาม จุดด้อย คือ ความหนาแน่นของปูนผสมมวลรวมละเอียดสูง มีค่าขนส่งจากเหมืองแร่เหล็ก และสีจะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาที่ถูกรังสีในบรรยากาศ

คำสำคัญ สีคลาแลง แร่เหล็ก หางแร่เหล็ก มวลรวมละเอียด

Abstract

The main objective of this study was to utilise iron ore tailing from Phu-Ang source, Loei as a laterite colour. It was used to substitute the fine aggregate with -30+200 Mesh sieved size. It was found that the colour in CIE L*a*b* colour system was nearly identical to the natural laterite from Li source, Lamphun. With this, iron ore tailing could be replaced fine aggregate in the forms of a natural red colour as compared to a laterite colour. Besides, the labor cost could be saved, shortly white-wash time, and cheap material cost. However, the disadvantages were the high density mixture, ore resource distance, and the colour changing caused by the oxidized time in the ambient air.

Keywords: laterite, iron ore, iron tailing, fine aggregate.

1. บทนำ

สีคลาแลงเป็นวัสดุทางธรรมชาติที่ใช้มานานในหลายพื้นที่ทั่วโลกส่วนประวัติการใช้งานนี้มีประวัติการใช้งานมานานมากกว่าการก่อตั้งประเทศไทยที่มีหลักฐานทางประวัติศาสตร์ในการใช้งานที่พบได้มาก คือวัสดุเพื่อการก่อสร้างในสมัยสุโขทัย [1] การทำเหมืองในสมัยโบราณมักใช้แรงงานคนปัจจุบันการทำเหมืองยังสามารถพบได้ทั่วไป [2],[3] ดังแสดงรูปที่ 1

สีของสีคลาแลงนั้นเป็นเสน่ห์อย่างหนึ่งของวัสดุก่อสร้างที่ถูกเลือกนำมาใช้โดยนักออกแบบความเด่นชัดของสีสนิมเหล็กที่ไม่ต้องทาสีแต่สามารถยับยั้งสีมาได้นับพันปีก็เป็นเสน่ห์อีกประการหนึ่ง [1]

ในงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การนำเอาหางแร่เหล็กจากเหมืองแร่เหล็กที่ถูกทิ้งไว้ไม่ได้ใช้ประโยชน์เป็นของเหลือทิ้งในงานอุตสาหกรรมกลับนำมาใช้ประโยชน์เพื่อทดแทนมวลรวมละเอียดเพื่อเทียบเคียงกับสีของสีคลาแลงและเป็น

พื้นฐานของการศึกษาขั้นต่อไปของแนวทางในการทำอิฐบล็อกสำเร็จรูปที่ใกล้เคียงกับศิลาแลงในอนาคต



รูปที่ 1 เมืองศิลาแลงในเมืองคาราบาประเทศเบอคินาฟาโซกับการใช้แรงงานคนในปี 2008 [3]

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ส่วนประกอบหลักทางเคมีและคุณสมบัติบางประการด้านฟิสิกส์ของศิลาแลง

ในปี ค.ศ. 2014, Saeed และทีมงานวิจัยของเขาได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของศิลาแลงพบว่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน หรือ CEC มีค่า 22.7 milliequivalent ต่อ 100 กรัมมีความเป็นกรดเล็กน้อยที่ $\text{pH} = 4.9$ ค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 2.75 โดยที่สภาพความแห้งสูงสุดพบว่าหนาแน่นเป็น 1,330 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรการทดสอบหาค่าความแข็งแรงด้วยวิธีแรงอัดแกนเดียวเป็น 288 kPa. ด้านส่วนประกอบทางเคมีโดยวัดค่าในรูปของส่วนประกอบของออกไซด์พบว่า $\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = 29.4$, $\% \text{Al}_2\text{O}_3 = 24.31$ และ $\% \text{SiO}_2 = 21.55$ [4]

ส่วนประกอบทางเคมีในรูปสารประกอบออกไซด์นั้นจะพบสารประกอบหลักดังเช่นงานวิจัยในปี ค.ศ. 2013 ของ Lafiti และทีมวิจัยของเขาได้วิเคราะห์สัดส่วนหลักพบว่า $\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = 35.53$, $\% \text{Al}_2\text{O}_3 = 31.10$ และ $\% \text{SiO}_2 = 25.46$ ตามลำดับ [5] จากการศึกษาพบว่าส่วนประกอบทางเคมีนั้นมีความแตกต่างด้านปริมาณของสารประกอบหลักออกไซด์ตามแต่ละพื้นที่ของเมืองศิลาแลง

2.2 สีในระบบต่างๆของดินกับความสัมพันธ์ของปริมาณแร่เหล็กจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สีมีความสำคัญอย่างมากในงานเชิงพาณิชย์และใน ด้านอุตสาหกรรมต่างๆ การวัดสีที่ได้มาตรฐานได้ถูกกำหนดขึ้นโดยองค์การนานาชาติเกี่ยวกับแสงและสี International commission on Illumination (CIE) นำมาใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดวิธีการที่สามารถสื่อสารได้เข้าใจตรงกัน [6] ระบบสีของ CIE ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ ระบบ CIE

$L^*a^*b^*$ ซึ่งหมายถึง ค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง-สีเขียว ความเป็นสีเหลือง-สีน้ำเงิน โดยมีพื้นฐานจากทฤษฎีสตรีตรง ข้ามจากการรับรู้สีของมนุษย์ [7]

การวัดค่าสีของดินเป็นกระบวนการหนึ่งที่น่าสนใจ ใช้วิเคราะห์ความแตกต่างของดินทางปฐพีวิทยา โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer วัดค่าสีตามระบบสี CIE $L^*a^*b^*$ สีของดินเป็นสมบัติทางกายภาพที่มองเห็นได้ง่าย และจะแปรผันไปตามสภาพและองค์ประกอบอื่นๆ ของดิน เช่น ถ้าดินมีออกไซด์ของเหล็กเคลือบผิวอนุภาคมาก ดินจะมี สีแดงหรือสีเหลือง การรู้จักสีของดินจะเป็นแนวทางในการใช้ ประโยชน์จากดินได้ เช่นเดียวกับวิจัยของ ศรีธรรมา ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ดินโดยวิธี FTIR และการวัดสีดิน ซึ่งผลที่วัดได้จากตัวอย่างดินจะมีความแตกต่างกัน ถึงแม้ว่า เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะมีสีคล้ายคลึงกัน ผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าทั้งสองเทคนิคนี้สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบ ตัวอย่างทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ [8]

ในปี 1792 ดินที่มีสีแดงของอินเดียได้รับการบันทึกเกี่ยวกับปริมาณเหล็กออกไซด์อย่างเป็นทางการซึ่งเป็นที่มาของสีที่ใช้อ้างอิงในเวลาต่อมาในการเรียกเป็นครั้งแรกที่บันทึกโดยสามารถวัดค่าได้เป็น sRGB = (205, 92, 92) สีนี้ใช้ในงานออกแบบและงานคอมพิวเตอร์กราฟิกในเวลาต่อมา [9]

ในปี 2005 Levin และทีมงานได้ศึกษาเรื่องของการจำแนกสีของดินจากภาพถ่ายดิจิทัลซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดินในเยรูซาเล็มใช้การวัดออกมาเป็นค่าสีตามรูปแบบของระบบสี ตัวอย่างดิน 370 ตัวอย่างถูกทดสอบพบว่าหลังจากเปรียบเทียบกับเครื่องมือสเปกโตรมิเตอร์แบบเคลื่อนที่แล้วพบว่าความแม่นยำมีนัยสำคัญที่ยอมรับได้ของสี RGB ของดินปริมาณของเหล็กออกไซด์และส่วนประกอบอนุภาคละเอียดของดิน [10]

ในปี 2013 งานวิจัยของ Tatyana และทีมงานได้ศึกษาถึงการนำแร่เหล็กเพื่อมาใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรมก่อสร้างเพื่อเป็นสีทาอาคารและวัสดุเคลือบสีเมื่อทำการหาสัดส่วนของสารเคลือบพลาสติกและสารลดแรงตึงผิวแล้วพบว่าสามารถใช้ประโยชน์ได้ [11]

จากการศึกษาของงานวิจัยข้างต้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่าจะนำทางแร่เหล็กเหลือทิ้งมาคัดขนาดด้วยตระแกรงที่ขนาดผ่านตระแกรงเบอร์ 30 และค้ำตระแกรงเบอร์ 200 เพื่อใช้แทนวัสดุทรายละเอียด [12] และทำการหาค่าส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเทียบเคียงกับสีของศิลาแลงจากแหล่งอำเภอลี้จังหวัดลำพูนจะทำการเก็บตัวอย่างจากกองทางแร่เหล็กที่ผ่านการแต่งแต่ยังมีส่วนประกอบของแร่เหล็กอยู่มาก

3. วัสดุอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้และ วิธีการดำเนินการวิจัย

ชักตัวอย่างจากกองทางแร่เหล็กเปอร์เซ็นต์ต่ำจากหน้าเหมือง ที่แหล่งแร่ภูอ่างคำบลาณาดินดำอำเภอมืองจังหวัดเลย

อบไล่ความชื้นคัดขนาดด้วยตะแกรงส้นเพื่อใช้ขนาดผ่านตระแกรงเบอร์ 30 และค้ำตระแกรงเบอร์ 200 เพื่อใช้ทดแทนมวลรวมละเอียด สูตรในการผสมที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย ปูนปอร์ตแลนด์ หทราย และ น้ำ โดยปริมาณจะถูกคำนวณตามน้ำหนักแปรผันทั้งสิ้น 11 การทดลอง ตัวแปรควบคุมคือ ปริมาณโดยน้ำหนักของปูนปอร์ตแลนด์และน้ำ ตัวแปรที่จะศึกษาคือสัดส่วนของทรายและแร่เหล็กจะถูกใช้ในปริมาณรวมที่เท่ากันในทุกการทดลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 น้ำหนักส่วนผสมในการเตรียมตัวอย่างอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 โดยน้ำหนัก

ทราย:แร่เหล็ก	วัสดุในการทดลอง กรัม (g)			
	ทราย	แร่เหล็ก	ปูน	น้ำ
0:100	0	16.60	4.1	2.87
10:90	1.23	14.91	4.1	2.87
20:80	2.46	13.28	4.1	2.87
30:70	3.69	11.62	4.1	2.87
40:60	4.92	9.96	4.1	2.87
50:50	6.15	8.30	4.1	2.87
60:40	7.38	6.64	4.1	2.87
70:30	8.61	4.98	4.1	2.87
80:20	9.84	3.32	4.1	2.87
90:10	11.07	1.66	4.1	2.87
100:0	12.3	0	4.1	2.87

เมื่อผสมที่เข้ากันแล้วเติมน้ำลงในส่วนผสมที่เข้ากันแล้ว โดยค่า W/C เท่ากับ 0.7 ซึ่งเป็นตัวแปรควบคุมในการทดลองให้เท่ากันทุกการทดลอง แล้วคนให้เข้ากัน เทลงในแบบ บล็อกสำเร็จ ขนาด 2 cm x 2.5 cm x 1.5 cm การบ่มตัวอย่างในแบบบล็อกเป็นเวลา 7 วันแล้วแกะออกใส่ถุงซิปล จากนั้นนำบล็อกตัวอย่างไปทดสอบเปรียบเทียบความเข้มของสีสีแลงและตัวอย่างที่ได้

การทดลองวัดสีของตัวอย่างทดสอบ ขั้นแรกนำสีแลงจากแหล่งสีแลง บ้านใหม่ศิริไล ตำบลลี้ อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน มาบดและคัดขนาดให้มีขนาดผ่านตระแกรงเบอร์ 30 และค้ำตระแกรงเบอร์ 200 จากนั้นทำการชั่งตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนของสีสีแลง นำตัวอย่างไป วัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ทำการวัด 5 ตำแหน่งบนก้อนตัวอย่าง ทำการวัด 3 ซ้ำตามรูป

ขั้นตอนต่อมา นำเอาตัวอย่าง ทั้ง 11 การทดลอง มาทำการวัดสีตามกระบวนการที่วัดจากสีแลงธรรมชาติ จนครบทุกตัวอย่าง จากนั้นจึงรายงานผลการทดลองนำผงสีแลงที่ได้ขนาดแล้วมาใส่ในแบบบล็อกเพื่อวัดค่าสีของสีแลงและทำการวัดเป็นจำนวน 5 ครั้งที่มีมุมทั้ง 4 และตรงกลาง ดังแสดง

ในรูปที่ 2 ทำการวัดค่า 3 ครั้งต่อจุด ด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยวางแบบบล็อกที่มีสีแลงบรรจุอยู่ไว้ตรงจุดศูนย์กลางในการอ่านค่าสีแล้วบันทึกค่า

นำก้อนตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนที่ทำการบ่มแล้วมาทำการวัดค่าสีเป็นจำนวน 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยด้วยเครื่อง Spectrophotometer แล้วบันทึกค่า



รูปที่ 2 จุดที่ใช้ในการวัดค่าสีของสีแลง 5 จุดต่อ 1 ตัวอย่าง

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลการทดสอบการวัดสีของชิ้นตัวอย่างและสีแลงที่ใช้เป็นมาตรฐานด้วย Spectrophotometer

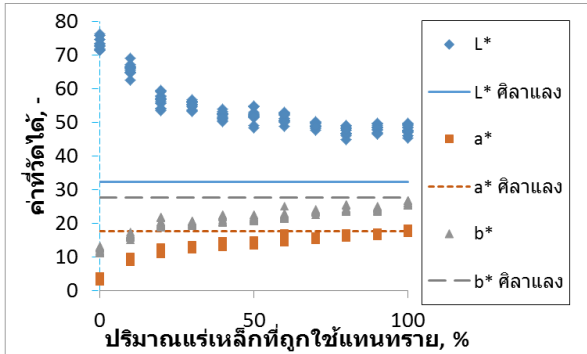
ผลการทดสอบการวัดสีของตัวอย่างที่ผสมทางแร่เหล็กใน 11 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักดังตารางที่ 3.1 เพื่อหาค่า CIE L*a*b* (L*a*b* color) ที่ทำให้สีของตัวอย่างที่ได้มานั้นมีความใกล้เคียงกับสีของสีแลงมากที่สุดโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer จากผลการทดลอง 180 ค่าได้ถูกใส่ลงไปในกราฟ ดังแสดงรูปที่ 3

ค่า b* มีค่าใกล้เคียงมาก; เมื่อปริมาณทางแร่เหล็กถูกแทนที่ด้วยทรายมากขึ้นจากส่วนผสมร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 100 จะทำให้ ค่า b* จาก 11.92 ขึ้นมาเป็น 26.01 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่า b* ของสีแลงธรรมชาติมาตรฐานที่นำมาใช้ในงานวิจัยซึ่งมีค่า b* เฉลี่ยเป็น 27.68 จากการวัด 5 จุด 3 ก้อนตัวอย่าง

ค่า a* มีค่าใกล้เคียงมาก; เมื่อปริมาณทางแร่เหล็กถูกแทนที่ด้วยทรายมากขึ้นจากส่วนผสมร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 100 จะทำให้ ค่า a* จาก 2.79 ขึ้นมาเป็น 16.79 ที่ ร้อยละ 90 ส่วนผสมทางแร่เหล็กที่ใช้แทนทราย และจะขึ้นไปสูงที่สุดที่ 18.26 ที่ร้อยละ 100 ส่วนผสมทางแร่เหล็กใช้แทนทราย โดยทั้งสองกรณีมีค่าความแตกต่างกับค่า a* ของสีแลงธรรมชาติมาตรฐานที่นำมาใช้ในงานวิจัยซึ่งมีค่า b* เฉลี่ยเป็น 17.50 จากการวัด 5 จุด 3 ก้อนตัวอย่าง ค่าความแตกต่างที่ร้อยละ 90 และร้อยละ 100 ส่วนผสมทางแร่เหล็กที่ใช้แทนทรายต่างจากสีแลงมาตรฐานเป็น 0.71 (17.50-16.79) และ 0.76 (18.26-17.50) ตามลำดับซึ่งจัดว่าแตกต่างน้อยมาก

ค่า L* ยังมีค่าต่างกับค่ามาตรฐานค่อนข้างมาก; เมื่อปริมาณทางแร่เหล็กถูกแทนที่ด้วยทรายมากขึ้นจากส่วนผสมร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 100 จะทำให้ ค่า L* อยู่ต่ำกว่ามาตรฐาน

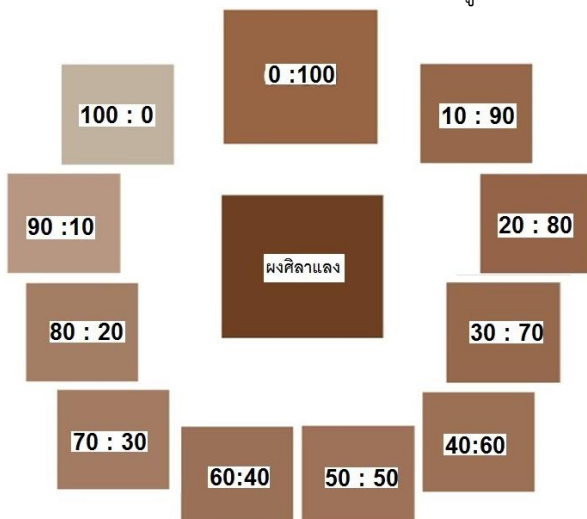
จาก 76.09 ลงมาเป็น 46.01 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงที่สุดในการทดสอบในครั้งนี้ กับค่า L^* ของสีลาแสงธรรมชาติมาตรฐานที่นำมาใช้ในงานวิจัยซึ่งมีค่า L^* เฉลี่ยเป็น 32.16 จากการวัด 5 จุด 3 ก่อนตัวอย่าง โดยค่าที่แตกต่างกันเป็น 13.85 (46.01-32.16)



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณแร่เหล็กที่ถูกใช้แทนมวลรวมละเอียด สัมพันธ์กับค่า $L^*a^*b^*$ Color จาก Spectrometer โดยมีเส้นมาตรฐานของค่า $L^*a^*b^*$ สีลาแสงธรรมชาติเทียบไว้

3.2 ผลการแสดงผลจากภาพถ่ายในเงื่อนไขเดียวกันของชิ้นตัวอย่างและสีลาแสงที่ใช้เป็นมาตรฐาน

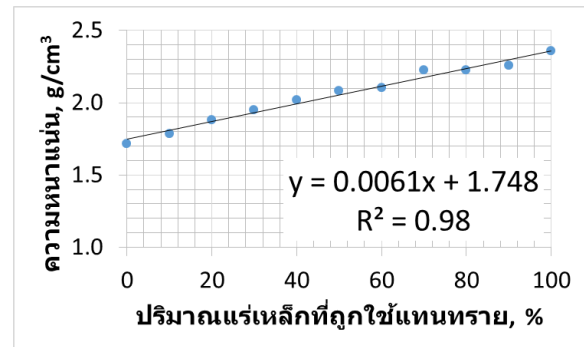
การนำค่าเฉลี่ยของค่า $L^*a^*b^*$ color ที่วัด 5 จุด 3 ชิ้นตัวอย่างทดสอบ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยและใช้โปรแกรมแสดงสีค่าเฉลี่ยนั้นถูกนำมาจำลองเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างทั้ง 11 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4 ผลของเฉลี่ยจะพบว่า ที่ร้อยละ 100 ของปริมาณทางแร่เหล็กถูกใช้แทนที่ด้วยทรายจะให้สีมีความใกล้เคียงกับ สีลาแสงธรรมชาติมากที่สุดของตัวอย่างที่ทดสอบซึ่งจากการสังเกตจะยังมีความแตกต่างอยู่



รูปที่ 4 สีจากการนำค่า $L^*a^*b^*$ Color เฉลี่ยของทั้ง 11 ตัวอย่างทดสอบ มาเทียบกับ สีของสีลาแสงจากธรรมชาติ แหล่ง สีลาแสง อ.สี จ.ลำพูน (สัดส่วนที่แสดงในภาพ หมายถึง ทราย:ทางแร่เหล็ก)

3.3 ผลการแสดงผลถึงความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบ 11 ชุด

การพิจารณาในแง่ของสีเพื่อเทียบเคียงให้ใกล้เคียงกับสีลาแสงธรรมชาติมากที่สุดนั้น มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของคุณสมบัติของการใช้ทางแร่เหล็กที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่ามาผสมแล้ว วัสดุผสมเปลี่ยนแบบสีของสีลาแสงนี้จะมี ความหนาแน่นที่เปลี่ยนไปด้วย ซึ่งจากการทดสอบโดยวิธีชั่งน้ำหนัก และคำนวณความหนาแน่นของทั้ง 11 ตัวอย่างขึ้นทดสอบได้แสดงดังแผนภูมิรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณแร่เหล็กที่ถูกใช้แทนมวลรวมละเอียด สัมพันธ์กับความหนาแน่นของวัสดุผสมเปลี่ยนแบบสีของสีลาแสงสังเคราะห์ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นความสัมพันธ์แบบ Linear regression

จากผลการทดลองจะพบว่า ปริมาณของทางแร่เหล็กที่ถูกใช้เพื่อทดแทนมวลรวมละเอียดจะมีผลทำให้ความหนาแน่นของวัสดุผสมเปลี่ยนแบบสีของสีลาแสงนี้มีความหนาแน่นสูงขึ้น โดยมีความสัมพันธ์แบบ Linear regression; ที่การใช้ทรายเป็นส่วนผสมทั้งหมดวัสดุจะมีความหนาแน่น 1.75 g/cm³ จากนั้นเมื่อทดแทนทางแร่เหล็กแทนที่ทรายจะทำให้ทุกๆการทดแทน ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น 0.0061 g/cm³ จนกระทั่งที่ความหนาแน่นของวัสดุที่มากที่สุดในการทดลองพบว่าเป็น 2.36 g/cm³ ที่ส่วนผสมการทดแทนด้วยทางแร่เหล็กแทนมวลรวมละเอียดทั้งหมด เป็นความสัมพันธ์รูปแบบ Linear regression นี้ ที่มีค่า R^2 0.98

3.4 ผลการแสดงผลการเปรียบเทียบต้นทุนเพื่อทำการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์

การคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุผสมเปลี่ยนแบบสีของสีลาแสงสังเคราะห์(เฉพาะค่าวัสดุ ไม่รวมค่าแรง และค่าขนส่งซึ่งแปรตามระยะทาง กรณีนี้คำนวณที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่, เมษายน 2562) จะทำการเปรียบเทียบ 3 แบบคือผนังสีลาแสงต่อผนัง 1 m² ผนังทาสีอะคริลิคต่อผนัง 1 m² และผนังวัสดุผสมเปลี่ยนแบบสีของสีลาแสงต่อผนัง 1 m² จะได้ว่าต้นทุนดังตารางที่ 2 – 4 ของตัวอย่างทดสอบ 11 ชุด



ตารางที่ 2 กรณีการนำเอาศิลาแลงมาก่อเป็นกำแพง

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ ใช้งาน	บาท/ตารางเมตร (B/m ²)
1	ปูนสำหรับงานก่อฉาบ 50kg ถุงละ 120 B ใช้ได้ 2.5m ²	20 kg/m ²	48
2	ทรายฉาบ 30 kg ถุงละ 40 B	60 kg/m ²	80
3	ศิลาแลงขนาด 20x40x7.5 cm. ราคา 30 B/ก้อน	13 ก้อน/m ²	390
รวมราคา			518

ตารางที่ 3 กรณีงานก่อบล็อก งานฉาบ ทาสีรองพื้นปูนใหม่ 2 รอบ และทาสีอะครีลิคภายนอก 2 รอบ

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ ใช้งาน	บาท/ตารางเมตร (B/m ²)
1	ปูนสำหรับงานก่อฉาบ 50kg ถุงละ 120 B ใช้ได้ 2.5m ²	20 kg/m ²	48
2	ทรายฉาบ 30 kg ถุงละ 40 B	60 kg/m ²	80
3	ปูนสำหรับงานฉาบฉวย 50 kg ถุงละ 145 B ใช้ได้ 2.5 m ²	20 kg/m ²	58
4	ทรายละเอียด 30 kg ถุงละ 60 B	60 kg/m ²	120
5	อิฐบล็อกขนาด 19x39x7 cm ราคา 6 B ต่อก้อน	125 ก้อน/m ²	75
6	สีทารองพื้นปูนใหม่ขนาด 1 แกลลอน (Gal) ราคา 529 บาทได้ 25 m ² ราคา 21.16 B/m ²	0.04 Gal/m ² (ทา1ครั้ง) 0.08Gal/ m ² ทา 2 ครั้ง	42.32 (ทา2ครั้ง)
7	สีอะครีลิคขนาด 1 Gal. ราคา 565 B. ทาได้ 25 m ² ราคา 22.60 B/m ²	0.04 Gal/m ² (ทา 1 ครั้ง) 0.08Gal/ m ² ทา 2 ครั้ง	44.12 (ทา 2 ครั้ง)
รวมราคา			467.44

ตารางที่ 4 กรณีงานก่อบล็อก งานฉาบด้วยวัสดุผสมเลียนแบบ
สีของศิลาแลง

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ ใช้งาน	บาท/ตารางเมตร (B/m ²)
1	ปูนสำหรับงานก่อฉาบ 50kg ถุงละ 120 B ใช้ได้ 2.5m ²	20 kg/m ²	48
2	ทรายฉาบ 30 kg ถุงละ 40 B	60 kg/m ²	80
3	ปูนสำหรับงานฉาบฉวย 50 kg ถุงละ 145 B ใช้ได้ 2.5 m ²	20 kg/m ²	58
4	ทรายละเอียด 30 kg ถุง ละ 60 B	60 kg/m ²	120
5	หางแร่เหล็กขนาด -30+200 วัสดุทิ้ง (ฟรี-ควรได้รายรับ จากการกำจัดขยะ)	80.97 kg/m ²	0
รวมราคา			261

จากตารางราคาแสดงต้นทุนราคาวัสดุ 3 กรณีศึกษาเพื่อ
การเปรียบเทียบจะเห็นว่า ต้นทุนต่อ 1 m² ของศิลาแลง
ธรรมชาติจะแพงที่สุดที่ 518 B/m² ถัดไปในราคาที่ใกล้เคียง
กันคือราคาวัสดุของกำแพงอิฐบล็อกปูนใหม่ซึ่งทาสีรองพื้น 2
รอบและทาด้วยสีอะครีลิคภายนอก 2 รอบซึ่งมีราคา
467 B/m² โดยต้นทุนราคาวัสดุที่ถูกที่สุดคือ กำแพงงานก่อ
บล็อกที่ฉาบด้วยวัสดุผสมเลียนแบบสีของศิลาแลงมีราคา 261
B/m²

4. สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองการศึกษาสีศิลาแลงจากการใช้หางแร่
เหล็กทดแทนมวลรวมละเอียดจากแหล่งแร่ภูอ่างคำบดิน
คำอำเภอเมืองจังหวัดเลยมาเป็นส่วนผสมของวัสดุผสม
เลียนแบบสีของศิลาแลงในอัตราส่วนทรายต่อหางแร่เหล็กที่
ต่างกันพบว่า

ค่าสีของวัสดุผสมเลียนแบบสีของศิลาแลงกับสีของศิลา
แลงจากธรรมชาติที่อัตราส่วนการใช้หางแร่เหล็ก 100
เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ค่าของสีในระบบ L*a*b*
Color จะมีค่าใกล้เคียงกับสีของศิลาแลงธรรมชาติมากที่สุด
การเพิ่มสีต่างไปจะสามารถช่วยให้ค่า L* มีค่าลดลงได้ แต่
ต้องคำนึงถึงต้นทุนด้วย

วัสดุผสมเลียนแบบสีของศิลาแลงมีความหนาแน่นมาก
ขึ้นจากการใช้ทรายปกติในปูนฉาบจนกระทั่งทดแทนด้วยหาง
แร่เหล็กแทนทรายร้อยละ 100 โดยมีค่าเริ่มต้นที่ 1.75 g/cm³
ในตอนเริ่มต้น จนกระทั่ง 2.36 g/cm³ ซึ่งการนำไปใช้งานต้อง
คำนึงถึงน้ำหนักของหน่วยพื้นที่รับแรงด้วย

ราคาของวัสดุที่ไม่รวมค่าแรง และค่าขนส่งถูกประเมิน
จากการคำนวณ โดยราคาที่ถูกที่สุดเป็น กำแพงงานก่ออิฐ
บล็อก และใช้วัสดุผสมเลียนแบบสีของศิลาแลงโดยมีราคา
261 B/m² ความได้เปรียบของวัสดุคือหางแร่เหล็กด้อยค่าเป็น
วัสดุต้องการทิ้งจากเหมืองแร่เหล็กซึ่งในกรณีการจัดการกับ
วัสดุเหลือทิ้งตามข้อบังคับของทางอเมริกาในบางกรณีวัสดุ
เหลือทิ้งจากเหมืองแร่จะมีข้อบังคับเมื่อเลิกกิจการเหมืองแร่
ต้องขุดปูพื้นยางขนนำไปทิ้งบดอัดและฝังกลบซึ่งเป็นต้นทุน
หลังเลิกกิจการในกรณีนี้การนำวัสดุเหลือทิ้งจากเหมืองแร่ต้อง
ได้รับเงินจากการรับกำจัดขยะด้วยข้อเสียคือแร่เนื้ออยู่ที่จังหวัด
เลยซึ่งอยู่ในที่ห่างไกลจากพื้นที่ทดลองข้อได้เปรียบ อีกข้อ
หนึ่งคือสีของเหล็กนั้นจะมีความแดงทึบไปตามกาลเวลาดัง
กรณีภาพเขียนสีผนังถ้ำของมนุษย์ยุคโบราณที่เลี้ยวแล้วใช้
แร่เหล็กขีดผนังถ้ำที่ผ่านมา 2000 ปี จนปัจจุบันก็มีสีสนิม
เหล็กแดง [13]



รูปที่ 6 ภาพวาดวัวไบสัน ในถ้ำ Lascaux ซึ่งมีอายุ 15,000 ปี ก่อนคริสตกาล [13]

ส่วนการควบคุมของปฏิกิริยาเคมีกับสภาพภูมิอากาศคือ สีแดงที่เกิดขึ้นคือสีของ Ferrous oxide ที่เกิดตามธรรมชาติ ดังนั้นในการทาสีในป่าแรก ๆ จะมีสีที่ซีดจางกว่าเมื่อเวลาผ่านไปนานซึ่งเป็นไปตามสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ความชื้น ปริมาณฝนซึ่งจะทำให้เกิดสนิมเต็มทีจนสีแดงและมีความ เสถียรตลอดการใช้งานส่วนกรณีปกติคือการใช้สีอะคริลิกก็ยังมี ความซีดจางตามกาลเวลาต้องมีการปรับปรุงทาสีตามสภาพ ภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ความได้เปรียบด้านสีที่มีในตัวของ วัสดุผสมเลียนแบบสีของสีลาแลงคือการที่ไม่ต้องรองพื้นและ ทาสีภายนอกเพิ่มเป็นข้อได้เปรียบหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนของ ระยะเวลาในการทำงานของกรณีการใช้วัสดุผสมเลียนแบบสี ของสีลาแลงมีราคาถูกกว่าอย่างไรก็ตามการเล่นลายพื้นผิวก็อาจจะ เป็นทางออกในการฉาบในตอนเริ่มต้นเพราะจะทำให้พื้นผิวมี มิติไม่ราบเรียบจนเกินไปข้อเด่นอีกข้อคือ ราคาต่ำแรงซึ่งใน การศึกษานี้ไม่ได้กล่าวถึงแต่การทาสีปกติต้องใช้การฉาบและ ค่าแรงคนงานทาสี 4 รอบแต่การใช้วัสดุผสมเลียนแบบสีของ สีลาแลงนี้เมื่อใช้งานเสร็จก็เป็นอันเสร็จงานสีภายนอกไปด้วย ข้อกังวลเรื่องการรับน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ของคานรับเป็น เรื่องที่ต้องคำนึงถึงถ้ากำแพงมีความสูงเพราะความหนาแน่นที่มี ค่ามากกว่าถึง 0.61 g/cm^3 อย่างไรก็ตาม การศึกษารุ่นนี้เป็น การศึกษาเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรแร่และ การรีไซเคิลทรัพยากรที่ทิ้งแล้วนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

สำหรับการศึกษาในลำดับถัดไป คือ เรื่องของการใช้วัสดุ ผสมสีเลียนแบบสีลาแลงนี้ให้ได้ตามมาตรฐาน มอก. เพื่อการ ใช้งานเป็นปูนฉาบในอนาคต ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง ใน งานวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นเฉพาะการใช้เคลือบทรัพยากรธรรมชาติ มาใช้ประโยชน์เป็นหลัก ในเรื่องของการใช้สีเชิงศิลปะ ส่วนข้อมูลของคุณสมบัติทางกลศาสตร์ รวมทั้งคุณสมบัติ ทางการใช้งานในแง่ต่าง ๆ ควรทำการศึกษาต่อไป ก่อนการ นำไปใช้งานจริง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ร่วมงานทุกท่าน และขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดาอาจารย์และญาติพี่น้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ด้านต่างๆ ในการดำเนินโครงการและให้กำลังใจจนโครงการนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีตามที่มุ่งหวังไว้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อโนชา ทับทิม. แผนผังวัดสองพี่น้องเมืองสรรคบุรี: รูปแบบผสมระหว่างศิลปะอยุธยาและสุโขทัย. Veridian E-Journal, Silpakorn University (Humanities, Social Sciences and arts). 2015 May 31;8(2); p.1543-52.
- [2] Kasthurba AK, Santhanam M, Mathews MS. Investigation of laterite stones for building purpose from Malabar region, Kerala state, SW India-Part 1: Field studies and profile characterisation. Construction and Building Materials. 2007 Jan 1;21(1); p. 73-82.
- [3] Pace D. Karaba Brick Quarry - Video interview with David Pace | LensCulture [Internet]. LensCulture. 2019 [cited 10 July 2019]. Available from: <https://www.lensculture.com/articles/david-pace-karaba-brick-quarry>.
- [4] Saeed KA, Kassim KA, Nur H, Yunus NZ. Strength of lime-cement stabilized tropical lateritic clay contaminated by heavy metals. KSCE Journal of Civil Engineering. 2015 May 1;19(4); p. 887-92.
- [5] Latifi N, Marto A, Eisazadeh A. Structural characteristics of laterite soil treated by SH-85 and TX-85 (non-traditional) stabilizers. EJGE. 2013;18; p. 1707-18.
- [6] X-Rite Incorporated ©. 2016. A Guide to Understanding Color Communication. [cited 24 July 2019]. Available from: https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/whitepaper_pdfs/l10-001_a_guide_to_understanding_color_communication/l10-001_understand_color_en.pdf
- [7] R.W.G.Hunt, M.R. Pointer. Measuring Colour, 4th ed. John Wiley & Sons Ltd. 2011; p. 55-60.
- [8] ศรัณย์ธรรม ภูริจายางกูร. การตรวจวิเคราะห์ดินโดยวิธี FTIR และการวัดสีดิน. วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2559.
- [9] C. Mish F. Merriam-Webster's Collegiate Dictionary. 10th ed. Springfield, MA: Merriam-Webster, Inc; 1994.



- [10] Levin N, Ben - Dor E, Singer A. A digital camera as a tool to measure colour indices and related properties of sandy soils in semi - arid environments. International Journal of Remote Sensing. 2005 Dec 20;26(24); p. 5475-92.
- [11] Streltsova TP, Lesovik VS, Frolova MA, Perkova MV, Belikov DA. Natural iron oxide pigments for the construction industry. World Applied Sciences Journal. 2013;25(2); p.193-201.
- [12] ASTM C. 125 Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates. Annual Book of Standards. Volume 04.02, 2003.
- [13] Rockwell N. Prehistory - Illustration History [Internet]. Illustrationhistory.org. 2018 [cited 11 July 2019]. Available from: <https://www.illustrationhistory.org/history/time-eriods/prehistory>.

การสร้างเครื่องย่อยดินเพื่อใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสาน

The Creation of the Soil Shredder for Use in the Manufacture of Brick Blocks

แมน ฟักทอง^{1*}, สมชาย โพธิ์พยอม¹, ศักดิ์สิทธิ์ ชื่นชมนาจา¹, เกริกชัย มีหนู¹ และเกรียงไกร ธารพชรศรี²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิชณุโลก
52 หมู่ 7 ตำบลบ้านกร่าง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Man Fakthong^{1*}, Somchai Peopayom¹, Saksit Chuenchomnakjad¹, Kerkchai Meenu¹ and
Kriangkrai Tharnphornsri²

¹Program of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok
52 Moo 7 Tambon Ban Krang, Amphoe Mueang Phitsanulok, Chang Wat Phitsanulok 65000

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

*ผู้รับผิดชอบบทความ: man.fakthong@gmail.com เบอร์โทรศัพท์ 08-0508-5656

Received: 26 July 2019, Revised: 1 October 2019, Accepted: 25 October 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องย่อยดินในการผลิตอิฐบล็อกประสาน โดยดำเนินการออกแบบเครื่องย่อยดินให้มี ความกว้าง 1,020 มิลลิเมตร ความยาว 760 มิลลิเมตร และความสูง 1,950 มิลลิเมตร ใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าเป็นต้นกำลัง โดยปรับลิ้นชักช่องปล่อยดินได้ 2 ระดับ ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องย่อยดินด้วยการหาอัตราการนำเข้าของดินลูกรังที่มีผลต่อความละเอียดของเนื้อดินลูกรังในช่องปล่อยดิน 2 ระดับ ในระยะเวลา 1 นาที อัตราการนำเข้าดินที่ดีที่สุดคือ ช่องปล่อยดิน ระดับที่ 2 ขนาด 300 ตารางเซนติเมตร ได้ปริมาณดิน 21.0 กิโลกรัม/นาที และผลการทดสอบความละเอียดของเนื้อดินลูกรังที่สามารถนำมาผลิตอิฐบล็อกประสานได้ ในอัตราส่วนดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานได้ : ดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานไม่ได้ พบว่าอยู่ในเกณฑ์ 80 : 20 กิโลกรัม แต่ช่องปล่อยดินในระดับที่ 1 ขนาด 150 ตารางเซนติเมตร ได้อัตราส่วน 85.4 : 14.6 กิโลกรัม มีความละเอียดของเนื้อดินที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานได้มากที่สุด

คำสำคัญ ย่อยดิน ดินลูกรัง อิฐบล็อกประสาน

Abstract

The aim of this research was to design and create the soil shredder for brick blocks manufacturing. The soil shredder was designed with 1,020 mm of width, 760 mm of length and 1,950 mm of height by using 3 horsepower motor for power. Moreover, the machine could be adjusted soil release drawer in 2 levels. The capacity test results showed the import rate of laterite soil affects the resolution of laterite soil in 2 levels of soil discharge during 1 min. The best import rate was the soil discharge channel of level 2, size 300 cm² with 21.0 kg/min. According to the revolution lateritic soil test, the ratio between the soil that could be used to produce brick blocks and the soil that was not used in the production of brick blocks was 80 : 20. However, the soil releasing channel in level 1 of size 150 cm² displayed the maximum value of the soil for brick blocks production with 85.4 : 14.6 kg ratio.

Keywords: mashed soil, lateritic soil, brick blocks.

1. บทนำ

อิฐบล็อกประสานคือวัสดุก่อสร้างที่เป็นทางเลือกใหม่ของการก่อสร้างที่อยู่อาศัย เทคโนโลยีด้านการผลิตอิฐบล็อกประสานสามารถทำให้คนที่ต้องการมีที่อยู่อาศัยสามารถมีที่อยู่อาศัยได้ในราคาประหยัด [1] และเหมาะสมกับสภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบัน นอกจากนี้ด้านความเหมาะสมของราคาแล้ว อิฐบล็อกประสานยังมีความสวยงามเป็นธรรมชาติ โดยอิฐบล็อกประสานเป็นวัสดุผลิตได้จากดินลูกรัง ทราย ปูนซีเมนต์ และน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก ทำให้อิฐบล็อกประสานเกิดความแข็งแรงและมีสีที่สวยงามเหมือนธรรมชาติ [2]

ดินลูกรังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งในการทำอิฐบล็อกประสาน ดินลูกรังเป็นดินชั้นที่ต่ำกว่า 50 เซนติเมตรจากพื้นดิน ที่มีกรวด หินขนาดเล็ก หรือเศษหินปะปนกันอยู่มาก ทำให้ดินมีปริมาณเนื้อดินน้อยลง มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ นอกจากนี้ลักษณะของดินเป็นอุปสรรคต่อการไถพรวน หน้าดินถูกชะล้างพังทลายได้ง่าย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และการจัดระบบชลประทานมีความเป็นไปได้น้อย เนื่องจากสภาพพื้นที่ไม่อำนวย ด้วยลักษณะดังกล่าวดินลูกรังจึงจัดเป็นดินที่มีศักยภาพในการเกษตรต่ำ เนื่องจากดินชั้นล่างแน่นทึบเป็นอุปสรรคต่อการซึมน้ำของรากพืช ทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต และดินที่มีกรวดปนมากเป็นดินที่ขาดความชุ่มชื้น [3] ดังนั้นจึงได้มีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น เหมาะใช้กับการปรับระดับพื้นดิน เพราะดินลูกรังไม่ทรุดตัวง่าย นอกจากนี้ยังสามารถนำมาผลิตอิฐบล็อกประสานได้อีกด้วย แต่ก่อนที่จะนำมาทำอิฐบล็อกประสานได้นั้นต้องมีการเตรียมดิน เนื่องจากดินลูกรังนั้นมีขนาดไม่เท่ากันจึงต้องมีความจำเป็นที่ต้องย่อยดินลูกรังก่อนที่จะทำการผสมกับทราย ปูนซีเมนต์ และน้ำ

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยดินเพื่อใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสาน [4] เครื่องย่อยดินออกแบบให้สะดวกต่อการใช้งาน [5], [6] ปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานและมีความรวดเร็วในการทำงาน เพื่อเพิ่มอัตราการผลิตให้ได้เพียงพอต่อความต้องการให้มากขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องย่อยดิน
2. เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องย่อยดิน

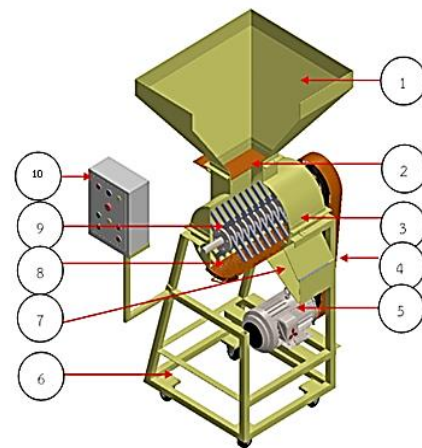
3. วิธีการทดลอง

จากการศึกษาปัญหาในการผลิตอิฐบล็อกประสาน จากข้อมูลของสถานประกอบการที่ผลิตอิฐโดยใช้เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานแบบกึ่งอัตโนมัติ พบว่ามีความแข็งแรงมากกว่า

อิฐบล็อกที่ชุมชนผลิตขึ้นเอง เนื่องจากเม็ดดินที่ใช้ผสมกับทราย ปูนซีเมนต์ และน้ำ มีขนาดใหญ่เกินไปจึงมีส่วนทำให้อิฐบล็อกประสานนั้นรับแรงอัดได้น้อย มีคุณภาพต่ำ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องย่อยดินเพื่อใช้ในการปรับขนาดเม็ดดินลูกรังให้มีความเหมาะสมกับการผลิตอิฐบล็อกประสาน

3.1 การออกแบบโครงสร้างเครื่องย่อยดิน

โครงสร้างเครื่องย่อยดินมี ความสูง 1,950 มิลลิเมตร ความกว้าง 1,020 มิลลิเมตร และความยาว 760 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องย่อยดิน

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| 1.1) ชุดใส่ดิน | 1.6) โครงสร้างฐานโครงเครื่อง |
| 1.2) ลิ้นชักเปิด-ปิดดิน | 1.7) ตัวถังย่อยดินด้านล่าง |
| 1.3) ตัวถังย่อยดินด้านบน | 1.8) ชุดตะแกรงร่อน |
| 1.4) ชุดคุมสายพาน | 1.9) ชุดใบย่อยดิน |
| 1.5) มอเตอร์ 3 แรงม้า | 1.10) ชุดควบคุมกระแสไฟฟ้า |

การออกแบบเครื่องย่อยดิน มีรายละเอียดดังนี้

1. ช่องใส่ดินที่มีความสูง 500 มิลลิเมตร ความกว้าง 860 มิลลิเมตร และความยาว 710 มิลลิเมตร (รูปที่ 1.1)
2. ตัวถังย่อยดินด้านบน มีความสูง 300 มิลลิเมตร ความกว้าง 650 มิลลิเมตร และความยาว 450 มิลลิเมตร (รูปที่ 1.2-1.3)
3. โครงสร้างของเครื่องจะใช้เหล็กฉากขนาด 38 มิลลิเมตร โดยใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า ส่งกำลังโดยสายพานขับเคลื่อน (รูปที่ 1.4-1.5)
4. โครงสร้างฐานโครงเครื่อง มีความสูง 410 มิลลิเมตร ความกว้าง 650 มิลลิเมตร และความยาว 450 มิลลิเมตร (รูปที่ 1.6)
5. โครงสร้างตัวถังย่อยดินด้านล่าง มีความสูง 410 มิลลิเมตร ความกว้าง 650 มิลลิเมตร และความยาว 450 มิลลิเมตร (รูปที่ 1.7)
6. ชุดตัวตะแกรงคัดดิน ความสูง 70 มิลลิเมตร ความกว้าง 610 มิลลิเมตร และความยาว 274 มิลลิเมตร มีขนาดรู 6 มิลลิเมตร (รูปที่ 1.8)

7. ชุดใบย่อยดิน (Hammer mill) ใบตีความยาว 142 มิลลิเมตร ความกว้าง 25.4 มิลลิเมตร และความหนา 12 มิลลิเมตร จำนวน 48 ใบ ขนาดแผ่นเพลส 130 มิลลิเมตร ความหนา 12 มิลลิเมตร จำนวน 13 แผ่น ขนาดเพลลา 38 มิลลิเมตร และความยาว 812 มิลลิเมตร (รูปที่ 1.9)

8. ชุดควบคุมกระแสไฟฟ้า (รูปที่ 1.10)

3.2 การสร้างเครื่องย่อยดิน

ทำการสร้างโครงสร้างของฐานเครื่องย่อยดิน สร้างถังย่อยดินด้านบนและด้านล่างจากเหล็กแผ่น สร้างตะแกรงร่อนดินจากเหล็กแผ่น ม้วนให้โค้ง ทำการเจาะรูสร้างส่วนประกอบต่างๆ จนครบทุกส่วนตามทีออกแบบไว้ จากนั้นทำการประกอบเครื่อง โดยการประกอบตัวถังด้านล่าง ประกอบกับโครงของเครื่องย่อยดินจากนั้นก็ประกอบชุดใบย่อยดินเข้ากับตัวถังด้านล่าง นำตัวถังด้านบนประกบกับตัวถังด้านล่าง ต่อจากนั้นประกอบช่องใส่ดินกับตัวถังด้านบน ติดตั้งมอเตอร์กับโครงเครื่องย่อยดิน แสดงดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2 การสร้างฐานเครื่อง



รูปที่ 3 การสร้างถังย่อยดินด้านบน



รูปที่ 4 การสร้างช่องใส่ดิน



รูปที่ 5 การทำตะแกรงร่อนดิน



รูปที่ 6 เครื่องย่อยดินที่เสร็จสมบูรณ์

3.3 กระบวนการทดสอบเครื่องย่อยดิน

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องย่อยดิน ทำได้โดยใช้ อัตราความเร็วรอบที่ 2 : 1 (700 rpm) ผ่านตะแกรงขนาด 6 มิลลิเมตร [7] วัสดุที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ดินลูกรัง ทำการทดสอบ 2 ลักษณะ คือ

1. การทดสอบหาอัตราการนำเข้าของดินลูกรัง (กิโลกรัม/นาที่) โดยผ่านช่องปล่อยดินที่มีขนาดความกว้าง x ความยาว 2 ระดับ คือ 150 และ 300 ตารางเซนติเมตร เพื่อทดสอบอัตราการนำเข้าดินลูกรังที่ดีที่สุด ที่มีผลต่อความละเอียดของเนื้อดินลูกรัง

2. การทดสอบความละเอียดของเนื้อดินลูกรัง โดยผ่านการย่อยจากช่องปล่อยดิน 2 ระดับข้างต้น เพื่อหาอัตราส่วนดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานได้ : ดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานไม่ได้ โดยให้อยู่ในเกณฑ์ อัตราส่วน 80 : 20 จากการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร

3.4 ขั้นตอนการทดสอบเครื่องย่อยดิน

1. การเตรียมวัตถุดิบในการย่อยดิน ได้แก่ ดินลูกรัง โดยนำวัตถุดิบที่เตรียมมาทำการทดสอบ และเก็บข้อมูล ดังแสดงรูปที่ 7



รูปที่ 7 ดินลูกรัง

2. การลำเลียงวัตถุดิบขึ้นไปยังช่องใส่ดิน โดยการใช้เครื่องสกรูลำเลียงดิน ขนถ่ายดินที่ใช้ทำการทดสอบไปยังเครื่องย่อยดิน นำดินลงที่ช่องใส่ดินเพื่อให้เครื่องย่อยดินทำการย่อยดิน ดังแสดงรูปที่ 8



รูปที่ 8 การลำเลียงวัตถุดิบ

3. ลำเลียงดินลงที่ช่องใส่ดิน สำหรับช่องใส่ดินนั้นสามารถใส่ดินได้มากที่สุดปริมาณ 100 กิโลกรัม ดังแสดงรูปที่ 9

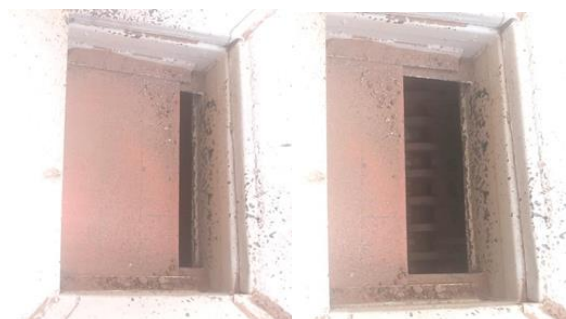


รูปที่ 9 การนำดินลงที่ช่องใส่ดิน

4. เมื่อเตรียมวัตถุดิบในการทดสอบ ซึ่งเป็นได้นำดินลูกรังใส่ลงยังช่องใส่ดินเรียบร้อยแล้วจากนั้นก็ทำการย่อยดิน โดยการเปิดเครื่องย่อยดิน มีขั้นตอนดังนี้

- 1) เสียบปลั๊กไฟ
- 2) ยก Switch Breaker สะพานไฟฟ้าเข้ามอเตอร์ขึ้น
- 3) ตรวจสอบ Pilot Lamp ไฟสัญญาณครบสามดวงพร้อมทำงาน
- 4) หมุน Switch Emergency เพื่อให้ไฟฟ้าไหลผ่านไปยัง Switch Start
- 5) กดปุ่ม Switch Start มอเตอร์เริ่มทำงาน
- 6) เมื่อใช้งาน Pilot Lamp สีเขียวไฟสัญญาณมอเตอร์กำลังทำงานปกติ
- 7) เปิดมอเตอร์ให้รอบคงที่ประมาณ 30 วินาทีแล้วปรับคันโยกขึ้นสายพาน
- 8) ปรับคันโยกลิ้นชักของช่องปล่อยดินให้เหมาะสมกับกำลังของเครื่องย่อยดิน
- 9) ลำเลียงดินโดยใช้เครื่องสกรูลำเลียงดิน นำดินลงที่ช่องปล่อยดินเพื่อให้เครื่องย่อยดินทำการย่อย
- 10) หลังจากเสร็จจากการย่อยดินแล้วให้ปิดช่องปล่อยดินและปรับโยกปลดสายพาน
- 11) และกดปุ่ม Switch Stop เพื่อหยุดการทำงานของมอเตอร์
- 12) กด Switch Emergency เพื่อตัดกระแสไฟฟ้า
- 13) กด Switch Breaker สะพานไฟฟ้าเข้ามอเตอร์ลง
- 14) ถอดปลั๊กไฟ

5. เมื่อทำตามขั้นตอน 1-7 เรียบร้อยแล้ว ทำการปรับคันโยกลิ้นชักของช่องปล่อยดินให้เหมาะสมกับกำลังของเครื่องย่อยดิน ซึ่งปรับได้ 2 ระดับ คือ ระดับที่ 1 ขนาด 150 ตารางเซนติเมตร และ ระดับที่ 2 ขนาด 300 ตารางเซนติเมตร ดังแสดงรูปที่ 10



(ก)

(ข)

รูปที่ 10 ระดับช่องปล่อยดิน (ก) ระดับที่ 1 (ข) ระดับที่ 2



รูปที่ 11 เครื่องย่อยดินกำลังทำการย่อย

6. เมื่อนำดินลงในช่องปล่อยดินแล้ว เครื่องก็จะทำการย่อยดินที่ใส่ลงไป

7. ดินที่ผ่านการย่อยจากเครื่องย่อยดินจะผ่านตะแกรงที่มีขนาดของรูตะแกรงขนาด 6 มิลลิเมตร ดังแสดงรูปที่ 12



รูปที่ 12 ตะแกรงของเครื่องย่อยดิน

8. ดินที่ผ่านการย่อยจากเครื่องย่อยดินจะมีความแตกต่างกัน ดังรูปที่ 13 (ก) เป็นดินที่ยังไม่ได้ผ่านเครื่องย่อยดินจะมีความหยาบ และเป็นก้อนดินขนาดใหญ่ มีหินปะปนอยู่ สำหรับรูปที่ 13 (ก) นั้นเป็นดินที่ผ่านเครื่องย่อยดินจะมีความละเอียดมากกว่า

9. ดินที่ผ่านการย่อยจากเครื่องย่อยดิน ต้องนำมาร้อนในตะแกรง 3 มิลลิเมตรอีกครั้ง เพื่อทำการแยกดินกับหินซึ่งปะปนกันอยู่ สำหรับการร่อนดินนั้นจะใช้เครื่องคัดขนาดดิน เพื่อทำการแยกดินกับหิน ดังแสดงรูปที่ 14



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบดิน (ก) ก่อนเข้าเครื่องย่อยดิน และ (ข) หลังเข้าเครื่องย่อยดิน



รูปที่ 14 เครื่องคัดขนาดดิน



(ก)

(ข)

รูปที่ 15 ดินที่ผ่านการร่อนจากเครื่องคัดขนาดดิน (ก) ดินที่สามารถนำไปผลิตเป็นอิฐบล็อกประสานได้ และ (ข) ดินที่ไม่สามารถนำไปผลิตเป็นอิฐบล็อกประสานได้

10. ดินที่ผ่านการร่อนจากเครื่องคัดขนาดดินจากตะแกรง 3 มิลลิเมตร จากรูปที่ 15 (ก) เป็นดินที่สามารถนำไปผลิตเป็นอิฐบล็อกประสานได้ สำหรับรูปที่ 15 (ข) เป็นดินที่มีขนาดใหญ่และไม่สามารถนำไปผลิตเป็นอิฐบล็อกประสานได้

4. ผลการวิจัย

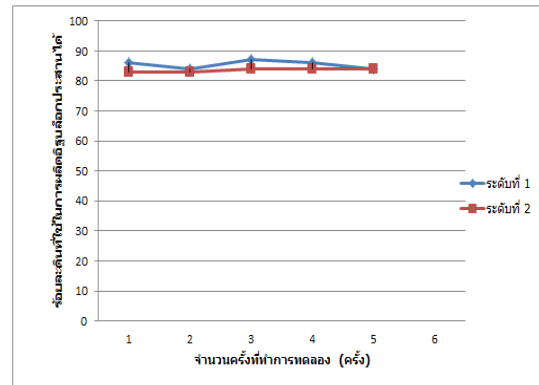
จากการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยดินแล้วทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องย่อยดิน โดยการนำดินลูกรังมาทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องย่อยดิน 2 ลักษณะคือ การทดสอบหาอัตราการนำเข้าของดินลูกรัง และการทดสอบความละเอียดของเนื้อดินลูกรังที่นำมาผลิตอิฐบล็อกประสานได้ ใช้อัตราความเร็วรอบที่ 2:1 (700 rpm) ผ่านรูตะแกรงที่มีขนาด 6 มิลลิเมตร ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

4.1 การทดสอบหาอัตราการนำเข้าของดินลูกรัง

อัตราการนำเข้าของดินลูกรังโดยผ่านช่องปล่อยดินที่มีความกว้าง x ความยาว 2 ระดับ คือ 150 และ 300 ตารางเซนติเมตร ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าอัตราการนำเข้าดินลูกรังของเครื่องย่อยดินโดยผ่านช่องปล่อยดิน 2 ระดับ ในระดับที่ 1 ขนาด 150 ตารางเซนติเมตร ได้อัตราการนำเข้าดินลูกรังเฉลี่ยอยู่ที่ 15.8 กิโลกรัม/นาที ในระดับที่ 2 ขนาด 300 ตารางเซนติเมตร ได้อัตราการนำเข้าดินลูกรังเฉลี่ยอยู่ที่ 21.04 กิโลกรัม/นาที

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบอัตราการนำเข้ดินลูกรัง

ค่าความละเอียด ของเนื้อดินลูกรัง	อัตราการนำเข้ดินลูกรัง (กิโลกรัม/นาที่)	
	150	300
ครั้งที่ 1	15.6	21.4
ครั้งที่ 2	16.6	20.6
ครั้งที่ 3	14.6	21.2
ครั้งที่ 4	16.4	20.8
ครั้งที่ 5	15.8	21.2
ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม/นาที่)	15.8	21.0



รูปที่ 16 ร้อยละดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานได้

4.2 การทดสอบความละเอียดของเนื้อดินลูกรัง

อัตราส่วนดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานได้ : ดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานไม่ได้ แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าอัตราส่วนดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานได้ : ดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานไม่ได้ ของดินที่ผ่านช่องป้อยดิน ในระดับที่ 1 ขนาด 150 ตารางเซนติเมตร ได้ดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานได้ : ดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานไม่ได้เฉลี่ยอยู่ที่ 85.4 : 14.6 กิโลกรัม ในระดับที่ 2 ขนาด 300 ตารางเซนติเมตร ได้ดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานได้ : ดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานไม่ได้ เฉลี่ยอยู่ที่ 83.6 : 16.4 กิโลกรัม ลักษณะของดินก่อนและหลังเข้าเครื่องย่อยดิน แสดงดังรูปที่ 16

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความละเอียดของเนื้อดินลูกรังที่อัตราส่วนดินซึ่งสามารถนำมาผลิตอิฐบล็อกประสานได้ : ดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานไม่ได้

ค่าความละเอียด ของเนื้อดินลูกรัง	ขนาดช่องป้อยดิน (ตารางเซนติเมตร)	
	150	300
ครั้งที่ 1	86:14	83:17
ครั้งที่ 2	84:16	83:17
ครั้งที่ 3	87:13	84:16
ครั้งที่ 4	86:14	84:16
ครั้งที่ 5	84:16	84:16
ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม)	85.4:14.6	83.6:16.4

4.3 สูตรการคำนวณร้อยละและค่าเฉลี่ย

4.3.1 ค่าร้อยละ

$$P = \frac{f}{N} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ P แทน ค่าร้อยละ
f แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นร้อยละ
N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

4.3.2 ค่าเฉลี่ย

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (2)$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทนค่าเฉลี่ย
 $\sum X$ แทนผลรวมของคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม
N แทนจำนวนคะแนนในกลุ่ม

5. อภิปรายผล

การทดสอบอัตราการนำเข้ของดินลูกรังที่มีผลต่อความละเอียดของเนื้อดินลูกรัง พบว่าในช่องป้อยดินระดับที่ 1 ขนาด 150 ตารางเซนติเมตร ให้อัตราการนำเข้ดินลูกรังน้อยกว่าช่องป้อยดินระดับที่ 2 ที่มีขนาด 300 ตารางเซนติเมตร แต่พบว่ามีอัตราส่วนดินลูกรังที่นำไปใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานได้มากกว่า คือ ค่าเฉลี่ยสูงถึง 85.4 กิโลกรัม เนื่องจากช่องป้อยดินขนาดเล็กทำให้สามารถย่อยดินได้อย่างช้าๆ ทำให้ได้เนื้อดินลูกรังที่มีความละเอียดสูง เหมาะสมกับการนำไปผลิตอิฐบล็อกประสาน

6. สรุป

การออกแบบและสร้างเครื่องย่อยดินมีขนาดความกว้าง 1,020 มิลลิเมตร ความยาว 760 มิลลิเมตร และความสูง 1,950 มิลลิเมตร จากการทดสอบหาอัตราการนำเข้ดินลูกรัง ผลการทดสอบอัตราการนำเข้ดินลูกรังของเครื่องย่อยดิน โดยผ่านช่องป้อยดิน 2 ระดับ ในเวลา 1 นาที ทดสอบจำนวน 5 ครั้ง โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้

ระดับที่ 1 ขนาด 150 ตารางเซนติเมตร ได้ 15.8 กิโลกรัม/นาที่

ระดับที่ 2 ขนาด 300 ตารางเซนติเมตร ได้ 21.04 กิโลกรัม/นาที่

จากการทดสอบหาความละเอียดของเนื้อดินลูกรัง โดยผ่านการย่อยจากช่องปล่อยดิน โดย 2 ระดับ ผลการทดสอบความละเอียดของเนื้อดินลูกรัง ที่สามารถนำมาผลิตอิฐบล็อกประสานได้ ในอัตราส่วน ดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานได้ : ดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานไม่ได้ โดยอยู่ในเกณฑ์ ในอัตราส่วน 80 : 20 และนำมาผ่านเครื่องร่อนดิน ทดสอบจำนวน 5 ครั้ง โดยมีค่าเฉลี่ยดังนี้

ระดับที่ 1 ขนาด 150 ตารางเซนติเมตร ได้ 85.4 : 14.6 กิโลกรัม

ระดับที่ 2 ขนาด 300 ตารางเซนติเมตร ได้ 83.6 : 16.4 กิโลกรัม

จากการทดสอบจึงสรุปได้ว่า อัตราการนำเข้าของดินลูกรัง นั้นมีผลต่อความละเอียดของเนื้อดินลูกรัง โดยในช่องปล่อยดิน ระดับที่ 1 ขนาด 150 ตารางเซนติเมตรซึ่งได้ 15.8 กิโลกรัม/นาที่ นั้นเป็นอัตราการนำเข้าที่ดีที่สุด ซึ่งได้อัตราส่วน ดินลูกรังที่นำไปใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานได้ ที่ 85.4 : 14.6 กิโลกรัม

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สาขาครุศาสตร์ อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พิษณุโลก ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Prices of construction materials, Material product Bangkok [Internet]. [cited 2016 March 1]. Available from: http://www.indexpr.moc.go.th/PRICE_PRE-SENT/tablecsi_region.html.
- [2] Ngernprom N. And Rakson S. Development of gravel cement mixed with waste ash from industrial and agricultural products as interlocking bricks [Internet]. [cited 2016 September 6]. Available from: https://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle/123456789/1221/ENG_55_12.pdf?sequence=1.
- [3] The committee set up measures and documenting soil conservation And soil management. Laterite soil management [Internet]. [cited 2016 September 6]. Available from: http://www.ddd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical10039.pdf.

- [4] Chanthima T. design.2nd edition. Bangkok: Thai Wattana Panich; 1992. Thai.
- [5] Suwan P. SolidWorks 2014 Complete engineering design formula. 1st edition, Bangkok: Whitty Group; 2015.
- [6] Pracha W. Faculty Design and construction of wood chippers. Faculty of Agricultural Engineering and Technology Rajamangala University of Technology; 2549.
- [7] American Society for Testing and Materials. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. C136-95a. Annual book of ASTM standard; 1996.04.02.4.p.78-82.

สารรักษาความเสถียรน้ำยางธรรมชาติจากน้ำมันปาล์ม

Stabilizers of Natural Rubber Latex from Palm Oil

ดริญญา มุลชัย^{1*} อรุณศรี เอี่ยมรัมย์¹ ลักขณา ภัทขวงศ์¹ อนูวัฒน์ คงราม¹ และอัครสิริ แก้วศรีนวล¹

¹สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

63 หมู่ 4 ถนนสันทราย-พร้าว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

Darinya Moonchai, Aroonsri Aiemrum, Lakkhana Phatachawong, Anuwat Khongram and Akkharasiri Kaeosinuan

¹Rubber and Polymer Technology Programme, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University

63 Moo 4 Sansai-Phrao Road, Nongharn, Sansai District, Chiang Mai, Thailand, 50290

*ผู้รับผิดชอบบทความ: darinyamoonchai@gmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-5387-5542

Received: 26 July 2019, Revised: 22 October 2019, Accepted: 29 October 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้สบู่ไขมันปาล์มจากเมล็ด และสบู่ไขมันปาล์มเกรดการค้า เป็นสารรักษาความเสถียรในน้ำยางซึ่งสบู่ไขมันปาล์มสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาสะaponนิฟิเคชันโดยมีสารตั้งต้นคือ น้ำมันปาล์ม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และน้ำ จากนั้นเปรียบเทียบค่าความเสถียรเชิงกล (Mechanical stability time; MST) ของน้ำยางธรรมชาติที่ใช้สบู่ไขมันปาล์มทั้ง 2 ชนิด กับน้ำยางที่ใช้สบู่โพแทสเซียมโอเลตเป็นสารรักษาความเสถียร โดยแปรปริมาณสารรักษาความเสถียรที่ 0.10, 0.25 และ 0.40 ส่วนต่อเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน (phr) พบว่าการใช้สารรักษาความเสถียรที่ 0.40 phr ให้น้ำยางมีค่าความเสถียรเชิงกลมากที่สุด โดยที่สบู่โพแทสเซียมโอเลตให้ค่าความเสถียรเชิงกลสูงที่สุด (MST: มากกว่า 3,600 วินาที) รองลงมาได้แก่ สบู่ไขมันปาล์มจากเมล็ด (MST: 3,110 วินาที) และสบู่จากน้ำมันปาล์มเกรดการค้า (MST: 2,190 วินาที) ตามลำดับ เมื่อนำน้ำยางธรรมชาติไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ลูกโป่งด้วยกระบวนการแบบจุ่ม พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารรักษาความเสถียรทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาลดลง และการใช้สบู่โพแทสเซียมโอเลตในปริมาณ 0.40 phr จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดมากที่สุด

คำสำคัญ น้ำยางธรรมชาติ สารรักษาความเสถียร น้ำมันปาล์ม โพแทสเซียมโอเลต ความเสถียรเชิงกล

Abstract

In this research, palm kernel oil soap and commercial palm oil soap were used as stabilizers for natural rubber latex. Palm oil soaps were prepared by saponification reaction. Ingredients of saponification reaction were palm oil, potassium hydroxide and water. Mechanical stability time (MST) of palm oil soap-stabilized natural rubber latex was compared with potassium oleate soap-stabilized natural rubber latex. The contents of stabilizers were varied at 0.10, 0.25 and 0.40 phr. It was found that 0.40 phr of stabilizers gave the highest MST. Potassium oleate soap showed the highest MST (> 3,600 seconds) followed by palm kernel oil soap (3,110 seconds) and commercial palm oil soap (2,190 seconds), respectively. Natural rubber product (Balloon) was also prepared by dip-molding process. The thickness of dip-molding product decreased with an increase of stabilizer concentration. The 0.40 phr of oleate soap-stabilized natural rubber latex gave the product having thickness comparable with the commercial product.

Keywords: natural rubber latex, stabilizer, palm oil, potassium oleate, mechanical stability time.

1. บทนำ

ความเสถียรเชิงกลเป็นสมบัติที่สำคัญของน้ำมันที่แสดงถึงความสามารถในการคงตัวของน้ำมัน โดยไม่เสียสภาพในระหว่างกระบวนการต่าง ๆ [1] เช่น ในการทำน้ำมันขึ้น ซึ่งต้องทำการปั๊ม น้ำมัน และขนย้ายน้ำมัน รวมถึงในขั้นตอนผสมน้ำมันกับสารเคมีที่ต้องมีการกวน หรือในขั้นตอนการขึ้นรูปน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ ล้วนต้องมีแรงทางกลมาเกี่ยวข้อง เช่น ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางโดยกระบวนการแบบจุ่ม (Dip-molding process) ต้องทำการกวนน้ำมันตลอดเวลาเพื่อป้องกันน้ำมันจับตัวเป็นฝ้าที่ผิวหน้า ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเติมสารรักษาความเสถียร (Stabilizer) ให้แก่น้ำมัน สารรักษาความเสถียรที่มีประสิทธิภาพดีคือสบู่ของกรดไขมันที่นิยมใช้ ได้แก่ กลีเซอรีนโพแทสเซียม และแอมโมเนียมของกรดไขมัน [2] การเติมสารรักษาความเสถียรพวกสบู่จากกรดไขมันสามารถไปเพิ่มความเสถียรให้แก่น้ำมันได้ เนื่องจากที่ผิวของอนุภาคยางถูกห่อหุ้มด้วยชั้นโปรตีนซึ่งมีประจุลบ ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยางส่งผลให้น้ำมันสามารถรักษาสภาพการเป็นของเหลวไว้ได้ [3] ซึ่งสบู่กรดไขมัน เช่น โพแทสเซียมโอเลเอต และโพแทสเซียมลอเรต เป็นสารรักษาความเสถียรชนิดคาร์บอกซิเลต ที่สามารถแตกตัวให้ประจุลบ ทำให้ส่วนที่แตกตัวเป็นประจุลบไปเกาะที่ผิวอนุภาคยางส่งผลให้อนุภาคยางมีประจุลบมากขึ้น [4] ทำให้น้ำมันมีความเสถียรมากขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้สบู่กรดไขมันเป็นสารรักษาความเสถียรในน้ำมันนั้น สบู่กรดไขมันกระจายอยู่ตรงบริเวณผิวของอนุภาคยาง ทำให้ความตึงผิวของน้ำมันลดลง จึงส่งผลให้ยางเกิดฟองอากาศได้ง่ายขึ้น ดังนั้นเมื่อนำน้ำมันไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทจุ่ม อาจพบปัญหาการเกิดรูรั่วได้ [5]

น้ำมันปาล์มเป็นสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย สามารถสกัดได้จากผลปาล์ม 2 ส่วน ได้แก่ เปลือกหุ้มภายนอก น้ำมันที่ได้ถูกเรียกว่าน้ำมันจากเนื้อปาล์ม (Palm oil) และจากเนื้อในเมล็ด น้ำมันที่ได้เรียกว่าน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม (Palm kernel oil) ซึ่งน้ำมันปาล์มประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว และกรดไขมันอิ่มตัว โดยที่กรดไขมันส่วนใหญ่ที่พบในน้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์มได้แก่ กรดลอริก กรดไมริสติก กรดปาล์มิติก กรดโอเลอิก และกรดสเตียริกในปริมาณร้อยละ 41-55, 14-20, 6.5-11, 10-23 และ 1.3-3.5 ตามลำดับ และกรดไขมันส่วนใหญ่ที่พบในน้ำมันปาล์มจากเปลือกหุ้มภายนอกได้แก่ กรดปาล์มิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก, กรดลิโนลิก และกรดลอริกในปริมาณร้อยละ 32-59, 1.5-8.0, 27-52, 5-14 และไม่เกิน 1.2 ตามลำดับ [6] คณิศา และคณะ [7] ศึกษาการหาค่าประกอบรองต่างๆ ในน้ำมันพืชบริโภคที่วางจำหน่ายในประเทศไทย โดยวิธีโครมาโตกราฟีของเหลวแรงดันสูงแบบแยกตามขนาด พบว่าใน

น้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณกรดไขมันประมาณ 60,608 ppm และน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เกิดการค้ำชนิดต่าง ๆ มีปริมาณกรดไขมันระหว่าง 3,962-6,326 ppm จะเห็นว่าในน้ำมันปาล์มมีองค์ประกอบของกรดไขมันอยู่ ดังนั้นจึงสามารถนำน้ำมันปาล์มมาเตรียมให้อยู่ในรูปของสบู่กรดไขมันได้จากปฏิกิริยาสะaponification (Saponification) โดยการทำปฏิกิริยากับด่าง ได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการใช้สบู่กรดไขมันที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มจากส่วนของเมล็ด และสบู่กรดไขมันที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มเกรดการค้ามาใช้เป็นสารรักษาความเสถียร โดยศึกษาผลของปริมาณสบู่จากน้ำมันปาล์มต่อค่าความเสถียรเชิงกล รวมทั้งเปรียบเทียบกับการใช้สบู่โพแทสเซียมโอเลเอต จากนั้นทดลองขึ้นรูปน้ำมันด้วยกระบวนการแบบจุ่มเพื่อศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยน้ำมันที่ใช้สารรักษาความเสถียรต่างชนิดกัน

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมสบู่กรดไขมันจากน้ำมันปาล์ม

1) องค์ประกอบสำหรับการเตรียมสบู่จากน้ำมันปาล์ม ได้แก่ น้ำมันปาล์ม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และน้ำ ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำมันปาล์มจาก 2 แหล่งในการเตรียมสบู่ ได้แก่ น้ำมันปาล์มจากเมล็ดปาล์ม (บริษัทปาล์มวานิชย์) และน้ำมันปาล์มเกรดการค้า ชนิดน้ำมันปาล์มโอเลอินหรือน้ำมันจากเนื้อปาล์ม (บริษัททรกตอินดัสทรีส์ จำกัด) โดยสูตรในการเตรียมสบู่จากน้ำมันปาล์ม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรการเตรียมสบู่จากน้ำมันปาล์ม

องค์ประกอบ	ปริมาณ (กรัม)	
	น้ำมันปาล์มจากเมล็ด	น้ำมันปาล์มเกรดการค้า
น้ำมันปาล์ม	100.00	100.00
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	20.60	19.80
น้ำ	27.40	26.33

ในการคำนวณหาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ใช้ต้องทราบค่าสะaponification value (Saponification value) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$\text{Saponification value (S.V.)} = (56.1 \times \text{NV})/W \quad (1)$$

เมื่อ N คือ ความเข้มข้นของกรดกลีเซอรีน, N

V คือ ปริมาตรของกรดกลีเซอรีนที่ใช้ในการไทเทรต, (cm³)

W คือ น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้, (g)

จากนั้นคำนวณปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ได้จากสมการที่ 2 ดังนี้

$$\text{KOH (g)} = \text{S.V.} \times \text{น้ำหนักน้ำมันปาล์มที่ใช้ (g)} \quad (2)$$

สำหรับปริมาณน้ำที่ใช้ในการละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
หาได้จากสมการที่ 3 ดังนี้

$$\text{Water (g)} = (\text{KOH} \times 2.33) - \text{KOH} \quad (3)$$

เมื่อ KOH คือ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่
คำนวณได้จากสมการที่ 2

2) ขั้นตอนการเตรียมสบู่จากกรดไขมันปาล์มคือ แยก
ส่วนผสมออกเป็นสองส่วน โดยแบ่งน้ำกลั่นเป็นสองส่วน
เท่ากัน ส่วนที่ 1 คือน้ำมันปาล์มและน้ำกลั่น ส่วนที่ 2 คือ น้ำ
กลั่นและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ นำมาทวนให้
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ละลายจนเข้ากัน ก่อนนำทั้งสองส่วน
มารวมกัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ได้สบู่
ดังแสดงรูปที่ 1



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 สบุน้ำมันปาล์ม (ก) จากเมล็ดปาล์ม (ข) จากน้ำมัน
ปาล์มเกรดการค้า

3) เมื่อเตรียมสบู่จากน้ำมันปาล์มได้แล้ว หาความ
เข้มข้นของสบู่ที่เตรียมได้จากสมการที่ 4 ดังต่อไปนี้

$$\text{ความเข้มข้นสบู่ (\%)} = \frac{A + B}{A + B + C} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของน้ำมันปาล์ม (กรัม)

B คือ น้ำหนักของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (กรัม)

C คือ น้ำหนักของน้ำ (กรัม)

4) เมื่อทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้วนำสบู่ไปเจือ
จางด้วยน้ำให้ได้ความเข้มข้น 10% โดยใช้สมการที่ 5

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \quad (5)$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของสบู่ที่เตรียมได้, (%)

C_2 คือ ความเข้มข้นของสบู่ที่ต้องการ, (%)

V_1 คือ ปริมาตรของสบู่ที่เตรียมได้, (cm³)

V_2 คือ ปริมาตรของสบู่ที่ความเข้มข้น 10%, (cm³)

2.2 ศึกษาผลของชนิดสารรักษาความเสถียร (Stabilizer) ต่อ ค่าความเสถียรเชิงกลของน้ำยาง

งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบค่าความเสถียรเชิงกลของ
น้ำยางที่ใช้สบุน้ำมันปาล์มจากเมล็ด สบุน้ำมันปาล์มเกรด
การค้า และสบู่ทางการค้าที่นิยมใช้ ได้แก่ โพแทสเซียมโอเลต
โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1) เตรียมน้ำยางผสมสารเคมีตามสูตรแสดงดังตารางที่
2 โดยที่สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในสูตรอ้างอิงมาจากสูตรน้ำยาง
ผสมสารเคมีสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการแบบ
จุ่มโดยวิธีการใช้สารช่วยน้ำยางจับตัว [8] เปรียบเทียบการใช้
สารรักษาความเสถียรน้ำยาง 3 ชนิด ได้แก่ สบู่โพแทสเซียมโอ
เลต สบุน้ำมันปาล์มจากเมล็ด และสบุน้ำมันปาล์มเกรด
การค้าที่เตรียมได้ในหัวข้อ 2.1 แปรปริมาณที่ใช้คือ 0.10,
0.25 และ 0.40 phr

2) นำน้ำยางผสมสารเคมีตามตารางที่ 2 บ่มทิ้งไว้ที่
อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบ
ความเสถียรเชิงกลของน้ำยาง โดยทดสอบหาเวลาที่น้ำยาง
เริ่มเสียสภาพจับตัวเป็นเม็ดพริกภายหลังได้รับแรงทางกล
(Mechanical stability time; MST)

ตารางที่ 2 สูตรน้ำยางผสมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบ	น้ำหนักแห้ง (phr)
60% น้ำยางข้น	100.00
10% โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.50
10% สารรักษาความเสถียร	0.10, 0.25, 0.40
50% กำมะถัน (สารคงรูป)	0.50
50% แซตไดอิซี (สารตัวเร่ง)	0.75
50% ซีพีแอล (สารป้องกันยางเสื่อม)	1.00
50% ซิงค์ออกไซด์ (สารกระตุ้น)	1.00

โดยมีขั้นตอนการทดสอบค่า MST ดังต่อไปนี้

ก. นำน้ำยางที่บ่มแล้วปริมาณ 100 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์

ข. เจือจางน้ำยางให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 55%
ด้วยสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 1.6%

ค. อุ่นน้ำยางให้ได้อุณหภูมิ 36 ถึง 37°C ด้วยอุปกรณ์
ให้ความร้อน

ง. กรองน้ำยางด้วยแผ่นกรองพร้อมชั่งน้ำหนักน้ำยาง
ให้ได้ปริมาณ 80.0 กรัม ± 0.5 กรัม

จ. นำน้ำยางใส่ลงในภาชนะสำหรับทดสอบค่าความเสถียรเชิงกลด้วยเครื่อง MST (ดังรูปที่ 2)

ฉ. เปิดสวิทช์เครื่อง พร้อมกวนน้ำยาง เริ่มจับเวลาในการทดสอบจนสังเกตเห็นน้ำยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ คล้ายเม็ดพริก เวลาที่ได้คือค่า MST ที่ใช้บ่งบอกค่าความเสถียรเชิงกลของน้ำยาง



รูปที่ 2 เครื่องวัดค่าความเสถียรเชิงกล (MST)

2.3 ศึกษาผลของชนิดสารรักษาความเสถียรในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้สารรักษาความเสถียรที่ต่างชนิดกันที่เตรียมได้ตามสูตรในตารางที่ 2 มาทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แบบจุ่มประเภทลูกโป่ง โดยมีขั้นตอนการจุ่มลูกโป่ง ดังนี้

1) นำแบบพิมพ์ที่ล้างให้สะอาดและอบให้แห้ง จุ่มในสารช่วยจับพิมพ์โดยใช้ 20% แคลเซียมคลอไรด์ จุ่มเป็นระยะเวลา 10 วินาที

2) นำแบบพิมพ์ที่จุ่มสารช่วยจับพิมพ์แล้วไปอบให้แห้งหมาด ๆ ก่อนนำไปจุ่มในน้ำยางผสมสารเคมี โดยจุ่มในน้ำยางเป็นระยะเวลา 1 นาที

3) นำแบบพิมพ์ที่จุ่มน้ำยางเรียบร้อยแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C พอครบ 3 นาที ทำการม้วนขอบลูกโป่ง จากนั้นทำการรอบต่อจนแห้ง

4) ขั้นตอนสุดท้ายถอดลูกโป่งออกจากพิมพ์โดยใช้แปรงทาล็คเป็นตัวช่วยหล่อลื่นในการถอดลูกโป่งออกจากพิมพ์

จากนั้นทำการวัดค่าความหนาของลูกโป่งที่ได้ ด้วยเครื่องวัดความหนาไมโครมิเตอร์ชนิดแป้นกลม ทำการวัดความหนาทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ส่วนด้านบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของลูกโป่ง และนำความหนาที่วัดได้จากทั้ง 3 ตำแหน่งมาหาเฉลี่ย และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดลูกโป่งทั้งหมด 3 ชิ้นต่อสูตรการทดลอง เปรียบเทียบลักษณะ

ทางกายภาพของลูกโป่งที่ได้จากการใช้สารรักษาความเสถียรที่ต่างชนิดกัน ได้แก่ รอยร้าวของลูกโป่ง และความสม่ำเสมอของผิวลูกโป่ง

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ศึกษาผลของชนิดสารรักษาความเสถียรต่อค่าความเสถียรเชิงกลของน้ำยาง

ค่าความเสถียรเชิงกล (Mechanical stability time, MST) หมายถึง ความเสถียรของน้ำยางต่ออิทธิพลทางกล ค่าความเสถียรเชิงกลเป็นสมบัติที่บ่งบอกถึงความเสถียรของน้ำยางต่อการเคลื่อนย้าย การกวน การปั๊ม หรือการกระทำทางกลโดยวิธีอื่น ๆ ค่าความเสถียรเชิงกลสูงบ่งชี้ว่าน้ำยางมีความเสถียรต่ออิทธิพลทางกลสูง ในทางตรงข้ามถ้าค่าความเสถียรเชิงกลต่ำแสดงว่าน้ำยางนั้นจะสูญเสียความเสถียรสามารถจับเป็นเม็ดได้ง่ายเมื่อน้ำยางถูกกระทบกับอิทธิพลทางกล ในการทดลองนี้ได้ทำการทดสอบค่าความเสถียรเชิงกลในน้ำยางที่ใช้สารรักษาความเสถียร 3 ชนิด ได้แก่ สบู่ น้ำมันปาล์มจากเมล็ด สบู่ น้ำมันปาล์มเกรดการค้า และสบู่โพแทสเซียมโอเลต โดยแปรปริมาณสารรักษาความเสถียรแต่ละชนิดดังนี้ 0.10, 0.25 และ 0.40 phr จากการทดลอง พบว่าค่าความเสถียรเชิงกลที่ใช้สบู่โพแทสเซียมโอเลตเป็นสารรักษาความเสถียรมีค่าสูงกว่าการใช้สบู่ น้ำมันปาล์มทั้ง 2 ชนิด อาจเป็นเพราะว่าในน้ำมันปาล์มประกอบไปด้วยกรดไขมันหลายชนิดหนึ่งในจำนวนกรดหลายชนิด ได้แก่ กรดสเตียริก ซึ่งเมื่อกรดสเตียริกทำปฏิกิริยากับต่าง KOH ทำให้ได้สบู่ น้ำมันปาล์มที่มีองค์ประกอบของโพแทสเซียมสเตียเรตปะปนอยู่ ซึ่งจากงานวิจัยของบุญธรรม และคณะ [9] พบว่าสบู่โพแทสเซียมสเตียเรตนอกจากไม่ทำให้น้ำยางมีค่าความเสถียรเชิงกลเพิ่มขึ้นแล้ว กลับทำให้น้ำยางเสียสภาพได้เร็วยิ่งขึ้น และจากผลการทดลองพบว่าสบู่ น้ำมันปาล์มจากเมล็ดมีค่าความเสถียรเชิงกลสูงกว่าสบู่ น้ำมันปาล์มเกรดการค้า แสดงดังตารางที่ 3 เนื่องมาจากสบู่ น้ำมันปาล์มจากเมล็ดมีปริมาณของสบู่ลอเรตที่มากกว่าสบู่ น้ำมันปาล์มเกรดการค้า ซึ่งในบรรดาสบู่กรดไขมันประเภทคาร์บอกซิเลต พบว่าสบู่ลอเรตมีประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าความเสถียรเชิงกลให้น้ำยางมากที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณสารรักษาความเสถียร พบว่าค่าความเสถียรเชิงกลมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของสบู่ เนื่องจากปริมาณสบู่ที่สูงขึ้นทำให้โอกาสที่สบู่เข้าไปเกาะที่ผิวของอนุภาคยางมีเพิ่มมากขึ้น [9] โดยค่าความเสถียรเชิงกลจากการใช้สบู่โพแทสเซียมโอเลตที่ปริมาณ 0.25 และ 0.40 phr มีค่าสูงกว่า 3600 วินาที

ตารางที่ 3 ค่าความเสถียรเชิงกลของน้ำยางเมื่อใช้สบู่อ่างชนิดกัน

ปริมาณ (phr)	ค่าความเสถียรเชิงกล (วินาที)		
	สบู่โพแทสเซียม โอเลต	สบู่ไขมันปาล์ม จากเมล็ด	สบู่ไขมันปาล์ม เกรดการค้า
0	1,079	1,079	1,079
0.10	3,045	1,549	1,200
0.25	>3,600	2,196	1,974
0.40	>3,600	3,110	2,690

3.2 ศึกษาผลของชนิดสารรักษาความเสถียรในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาผลของชนิดสารรักษาความเสถียรต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจุ่ม พบว่าลูกโป่งที่เตรียมได้จากสารรักษาสภาพทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน คือ มีรูปทรงดี ผิวเรียบ และไม่เกิดการรั่วซึม แสดงดังรูปที่ 3



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อใช้สารรักษาความเสถียร (ก) สบู่โพแทสเซียมโอเลต (ข) สบู่ไขมันปาล์มเกรดการค้า (ค) สบู่ไขมันปาล์มจากเมล็ด

เมื่อศึกษาผลของสารรักษาความเสถียรทั้ง 3 ชนิด ต่อความหนาของลูกโป่งได้ผลแสดงดังตารางที่ 4 และรูปที่ 4 พบว่าเมื่อนำน้ำยางที่ใช้สบู่ไขมันปาล์มเกรดการค้าเป็นสารรักษาความเสถียรไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากการจุ่มมีความหนาของลูกโป่งที่ตรงลงมาได้แก่ การใช้สบู่ไขมันปาล์มจากเมล็ด และสบู่โพแทสเซียมโอเลตตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเสถียรเชิงกลตามตารางที่ 3 ที่สบู่โพแทสเซียมโอเลตมีค่าความเสถียรเชิงกลมากกว่า แสดงถึงว่าน้ำยางที่มีค่าความเสถียรเชิงกลสูง จะทำให้น้ำยางยึดเกาะกับแม่พิมพ์ได้ยาก ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาของ

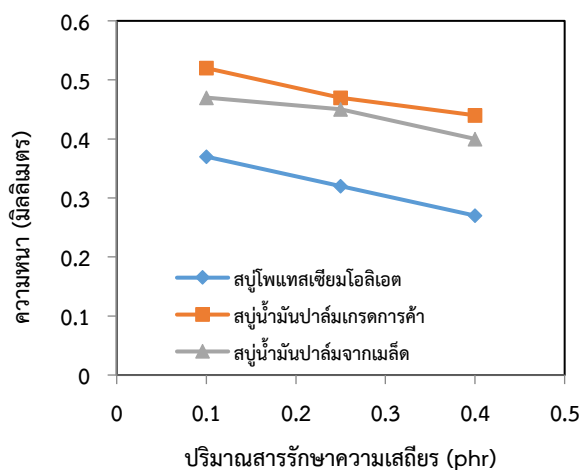
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารรักษาความเสถียรที่ 0.10, 0.25 และ 0.40 phr ต่อความหนาของลูกโป่ง พบว่าปริมาณสารรักษาความเสถียรที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาของ

ลูกโป่งลดลง ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 4 เนื่องจากปริมาณสารรักษาความเสถียรเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความเสถียรเชิงกลสูงตามไปด้วย จึงทำให้น้ำยางจับตัวแม่พิมพ์ได้ยากส่งผลให้ความหนาของผลิตภัณฑ์จากการจุ่มลดลง และการใช้สบู่ไขมันปาล์มจากเมล็ดเป็นสารรักษาความเสถียรทำให้ความหนาของลูกโป่งเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 27, 40 และ 63 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สบู่โพแทสเซียมโอเลตที่ปริมาณสบู่เท่ากันคือ 0.1, 0.25 และ 0.40 phr ตามลำดับ และการใช้สบู่ไขมันปาล์มเกรดการค้าเป็นสารรักษาความเสถียรทำให้ความหนาของลูกโป่งเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 40, 47 และ 63 เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สบู่โพแทสเซียมโอเลตที่ปริมาณสบู่เท่ากันคือ 0.1, 0.25 และ 0.40 phr ตามลำดับ

ดังนั้นที่เวลาในการจุ่มเท่ากันการใช้สบู่จากน้ำมันปาล์มทั้ง 2 ชนิดเป็นสารรักษาความเสถียร ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนามากกว่าการใช้สบู่โพแทสเซียมโอเลต เมื่อทดลองวัดความหนาของลูกโป่งที่จำหน่ายตามท้องตลาดพบว่าลูกโป่งมีความหนาประมาณ 0.23 มิลลิเมตร ซึ่งการใช้สบู่โพแทสเซียมโอเลตในปริมาณ 0.40 phr ได้ลูกโป่งที่มีความหนา 0.27 มิลลิเมตร เป็นความหนาที่ใกล้เคียงกับลูกโป่งที่จำหน่ายตามท้องตลาดมากที่สุด ขณะที่การใช้สบู่จากน้ำมันปาล์มทำให้ได้ลูกโป่งที่มีความหนามากกว่าลูกโป่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด

ตารางที่ 4 ค่าความหนาของลูกโป่งเมื่อใช้สบู่อ่างชนิดกัน

ปริมาณ (phr)	ความหนา (มิลลิเมตร)		
	สบู่โพแทสเซียม โอเลต	สบู่ไขมันปาล์ม จากเมล็ด	สบู่ไขมัน ปาล์มเกรด การค้า
0.10	0.37	0.47	0.52
0.25	0.32	0.45	0.47
0.40	0.27	0.44	0.44



รูปที่ 4 ความหนาของลูกโป่งเมื่อใช้สบู่อ่างชนิดกัน

4. บทสรุป

จากการทดลองนำสบู่กรดไขมันที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มทั้ง 2 ชนิด ได้แก่สบู่ไขมันปาล์มจากเมล็ด และสบู่ไขมันปาล์มเกรดการค้า มาใช้เป็นสารรักษาความเสถียรในน้ำยาง พบว่าสบู่จากน้ำมันปาล์มทั้ง 2 ชนิดให้น้ำยางที่มีค่าความเสถียรเชิงกลน้อยกว่าการใช้สบู่โพแทสเซียมโอเลต และการใช้สบู่ไขมันปาล์มเกรดการค้าได้น้ำยางที่มีค่าความเสถียรเชิงกลน้อยกว่าการใช้สบู่ไขมันปาล์มจากเมล็ด และเมื่อนำน้ำยางที่ใช้สารรักษาความเสถียรต่างชนิดกันไปขึ้นรูปเป็นลูกโป่งพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารรักษาความเสถียร ทำให้ได้ลูกโป่งที่มีความหนาลดลง และลูกโป่งที่เตรียมได้จากสารรักษาสภาพทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน คือมีรูปทรงดี ผิวเรียบ และไม่เกิดการร้าวซึม แต่อย่างไรก็ตามการใช้สบู่โพแทสเซียมโอเลตในปริมาณ 0.40 phr ทำให้ได้ลูกโป่งที่มีความหนาใกล้เคียงกับลูกโป่งที่จำหน่ายตามท้องตลาด

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hasma H. Lipids associated with rubber particles and their possible role in mechanical stability of latex concentrates. J Nat Rubb Res. 1991; 6(2): 105-14.
- [2] Kajornchaiyakul V. Natural Rubber Product. Bangkok: Rubber Research Institute; 1994. Thai.
- [3] Suchat S. Natural Rubber: Processing. Bangkok: O. S. Printing House Publishing; 2015. Thai.
- [4] Rubber Digest. Stabilizer. Available from: <http://rubberdigest.com/?p=117> [Accessed 10th September 2019]. Thai.
- [5] Manjula-Dilkushi-Silva K, Walpalage S. Effects of added ammonium laurate soap on natural rubber latex. J. Rubb Res. 2009; 12(2): 59-70.
- [6] Food Network Solution. Palm oil. Available from: <http://foodnetworksolution.com/wiki/word/001300/palm-oil> [Accessed 10th September 2019]. Thai.
- [7] Kittiratanapiboon K, Tokamolthom J, Krisnangkura K. Determination of minor components in edible oils from Thai groceries by HPSEC. KMUTT R&D J. 2008; 32(2-3): 241-51. Thai.
- [8] Kajornchaiyakul V. Latex Technology. Bangkok: The Thailand Research Fund; 2012. Thai.
- [9] Nithi-Uthai B, Nithi-Uthai P, Pongbhai P, Samphao-Ngoen S, Noreewong N, Wutthichan C. Development of mechanical stabilization time of natural rubber latex. PSU (Pattani). Faculty of Science and Technology. Report order key: 2443, 1995. Thai.

การออกแบบและสร้างอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์สำหรับใช้งานร่วมกับสว่านแท่นเจาะ Design and Implementation of Ultrasonic Inverter for Use with Drilling Machine

ปราชญ์ อัสวนารากุล^{1*} อำนวย เรืองวารีย์¹ สมควร แววดี้² และสมศักดิ์ แก่นทอง²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม, ² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Prach Asavanarakul^{1*}, Amnoiy Ruengwaree¹, Somkuan Vaodee², and Somsak Kanthong²

¹ Department of Electronics and Telecommunication Engineering, ² Department of Industrial Engineering,

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thunyaburi

39 Moo 1, Rangsit-NakornNayok Road, Klong6, Thanyaburi, Pathumtani, Thailand, 12110

*ผู้รับผิดชอบบทความ: prach.d@en.rmutt.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 0-991162444

Received: 30 July 2019, Revised: 24 September 2019, Accepted: 25 October 2019

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เสนอการออกแบบและสร้างอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์สำหรับใช้งานร่วมกับสว่านแท่นเจาะ เพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจาะวัสดุระหว่างการเจาะโดยไม่ใช้อัลตราโซนิกกับการเจาะใช้อัลตราโซนิก ในการออกแบบและสร้างอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์จะใช้มอสเฟตกำลังพิกัดแรงดันไฟฟ้า 500 โวลต์ พิกัดกระแสไฟฟ้า 20 แอมแปร์ ร่วมกับวงจรเรียงกระแสบริดจ์ และหม้อแปลงสวิตชิง ผลการทดสอบเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถขับเคลื่อนอัลตราโซนิกความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ ขับกำลังงานไฟฟ้าได้ถึง 1.1 กิโลวัตต์ เมื่อประกอบเข้ากับสว่านแท่นเจาะและทดสอบเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นเหล็กหนา 1 มิลลิเมตร แผ่นสแตนเลสหนา 1.5 มิลลิเมตร แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร และแผ่นอะคริลิกหนา 2 มิลลิเมตร พบว่า การเจาะใช้อัลตราโซนิกเร็วกว่าการเจาะโดยไม่ใช้อัลตราโซนิกทั้ง 4 ตัวอย่าง เวลาที่ใช้ในการเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่างเรียงจากน้อยไปมากคือ ใช้อัลตราโซนิกความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ และไม่ใช้อัลตราโซนิก ตามลำดับ

คำสำคัญ มอสเฟตกำลัง วิสาหกิจขนาดกลางและย่อม สว่านแท่นเจาะ อัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์

Abstract

This article presents the design and implementation of ultrasonic inverter for use with a drilling machine, in order to compare the material penetration efficiency between non-ultrasonic and ultrasonic penetration. In the design and construction of an ultrasonic inverter, the 500 V 20 A power MOSFET was used in conjunction with bridge rectifier and switching transformer. The proposed ultrasonic inverter could drive a 25 kHz, 40 kHz, 60 kHz, 100 kHz and 120 kHz ultrasonic wave with electric power up to 1.1 kW. It was assembled into a drilling machine and tested the penetration with 4 sample materials, 1 mm. steel sheet, 1.5 mm. stainless sheet, 1 mm. aluminum sheet and 2 mm. acrylic sheet. The results showed that ultrasonic penetration was faster than non-ultrasonic penetration in all types of sample materials. The time spent in drilling from ascending order was 25 kHz, 40 kHz, 60 kHz, 100 kHz, 120 kHz, and without ultrasonic, respectively.

Keywords: drilling machine, power MOSFET, small and medium enterprises: SMEs, ultrasonic inverter.

1. บทนำ

ในปัจจุบัน มีการนำคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic) ไปใช้อย่างแพร่หลายทั้งในงานอุตสาหกรรม งานทางการแพทย์ และใช้ในครัวเรือน เช่น การตรวจสอบรอยร้าวของชิ้นงาน

โลหะ การทดสอบแบบไม่ทำลาย เครื่องอัลตราซาวด์ เครื่องล้างเครื่องประดับและอัญมณี เครื่องล้างชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เครื่องล้างชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องผสมสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้

ในการบำบัดน้ำเสียด้วยคลื่นอัลตราโซนิกได้ด้วย [1] ลักษณะของคลื่นอัลตราโซนิกคือเป็นคลื่นสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูงเกินความมนุษย์จะได้ยิน คือความถี่ที่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ตซ์ (Hertz: Hz) ขึ้นไป คลื่นอัลตราโซนิกมีคุณสมบัติในการเดินทางผ่านตัวกลางซึ่งอาจเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซ โดยความเร็วคลื่นที่ใช้ในการเดินทางจะแตกต่างกันในแต่ละตัวกลาง คุณสมบัติพิเศษอีกอย่างหนึ่งของคลื่นอัลตราโซนิกคือมีทิศทางที่แน่นอน และมีการสั่นคงที่ [2]

จากคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อประยุกต์คลื่นอัลตราโซนิกในงานเจาะวัสดุอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น Chang [3] ได้ศึกษาการนำหลักการอัลตราโซนิกไปใช้ในการเจาะวัสดุตัวอย่างด้วยอัตราการสั่นที่แตกต่างกันพบว่าการใช้คลื่นอัลตราโซนิกช่วยในการเจาะที่ความเร็วสูงทำให้พื้นผิวรอยเจาะเรียบขึ้น (Burr size ลดลง) แต่ผลข้างเคียงคืออายุของดอกสว่านจะสั้นลง อีกทั้งต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการสร้างชุดวงจรขับ (Drive circuit) และตัวจับชิ้นงานที่รองรับการสั่นเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric actuator) ประมาณ 400 ดอลลาร์แคนาดา (CAN\$) เมื่อเทียบกับการเจาะด้วยวิธีปกติที่ไม่ใช้คลื่นอัลตราโซนิก วงจรขับคลื่นอัลตราโซนิกเป็นแบบเชิงขั้ว (Polarity circuit) มีแรงดันไฟฟ้า ± 100 โวลต์ (Volt: V) Horne MF [4] ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบต่อหัวเจาะรูปแบบต่างๆ ในการเจาะวัสดุจำพวกหิน เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเจาะอัลตราโซนิกสำหรับพัฒนาไปใช้ในการเจาะพื้นผิวดาวอังคาร Chowdhury, Sharif และ Anwar [5] ได้ศึกษาการเจาะโลหะผสมชนิด Ti6Al4V alloys ซึ่งเป็นวัสดุที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในยานยนต์ และการบินและอวกาศแต่เป็นวัสดุที่ยากต่อการตัดเจาะ จึงทำการทดลองเจาะชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่อง Rotary Ultrasonic Machining (RUM) การทดสอบเจาะชิ้นงานที่ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทั้งขนาดหัวเจาะ อัตราหมุน และอัตราการป้อนจะสามารถลดแรงที่ใช้ในการเจาะลงได้

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีแนวคิดในการนำคลื่นอัลตราโซนิกมาช่วยในการเจาะวัสดุร่วมกับสว่านแท่นเจาะ (Drilling machine or Drill press) ต้นทุนต่ำที่ใช้งานในห้องปฏิบัติการ โรงปฏิบัติงานขนาดเล็กสำหรับงานวิสาหกิจชุมชน และ

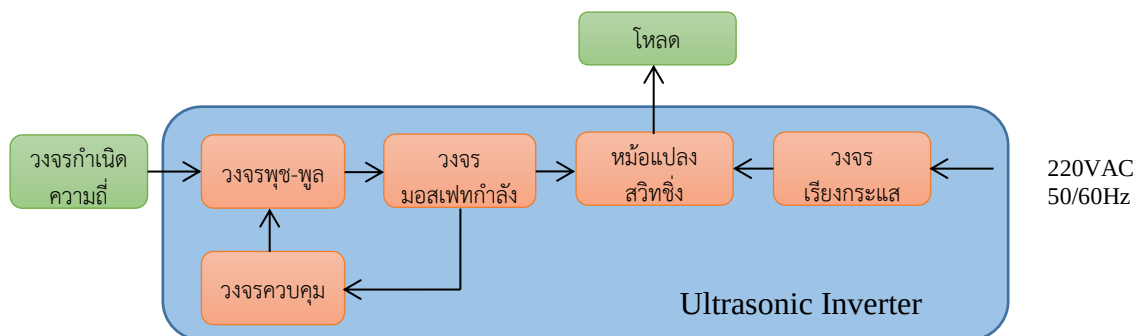
วิสาหกิจขนาดกลางและย่อม (Small and Medium Enterprises: SMEs) วัตถุประสงค์หลักคือเพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจาะวัสดุตัวอย่างระหว่างการเจาะโดยวิธีปกติที่ไม่ใช้คลื่นอัลตราโซนิกกับการเจาะที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิกช่วยในการเจาะ และเป็นแนวทางนำไปปรับใช้ในงานวิสาหกิจชุมชน รวมถึงวิสาหกิจขนาดกลางและย่อมในอนาคต

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบวงจรอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ (Ultrasonic inverter) ที่มีกำลังขับ 1 กิโลวัตต์ (Watt: W) และวงจรชุดสร้างความถี่ที่สามารถปรับได้ 5 ย่านความถี่ ได้แก่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อขับกำลังงานไฟฟ้าป้อนเป็นกำลังงานด้านเข้าให้กับอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic transducer) ทำหน้าที่แปลงคลื่นความถี่ทางไฟฟ้าเป็นเสียงเป็นพลังงานทางกลในรูปแบบการสั่น นำอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ดังกล่าวข้างต้นมาใช้งานร่วมกับสว่านแท่นเจาะ โดยยึดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่แท่นจับชิ้นงานและทำการทดสอบประสิทธิภาพการเจาะวัสดุตัวอย่าง 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นเหล็ก สแตนเลส อลูมิเนียม และ อะคริลิก แล้วนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพทางเวลาที่ใช้ในการเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบและสร้างอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์

การออกแบบอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ แสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1 วงจรกำเนิดความถี่เป็นอุปกรณ์ภายนอก ทำหน้าที่สร้างความถี่ป้อนเป็นสัญญาณด้านเข้าให้กับวงจรอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ ในงานวิจัยนี้ใช้สัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยม 5 ความถี่ ได้แก่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ ในการทดสอบการเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง และใช้คลื่นอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์เป็นโหลด (Load) ทำหน้าที่รับพลังงานไฟฟ้าและเปลี่ยนเป็นพลังงานกลในรูปแบบการสั่นจากบล็อกไดอะแกรมของอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 1 นำมาสู่การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์แสดงดังรูปที่ 2 ในวงจรอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์

จะใช้ไดโอดบริดจ์ (Bridge diode) DBGA และตัวเก็บประจุ CC ทำหน้าที่เรียงไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 VAC เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 310 VDC และใช้ตัวเก็บประจุ CA และ CB ทำหน้าที่แบ่งครึ่งแรงดันออกเป็น ± 155 VDC โดยมีขา 1 ของหม้อแปลงสวิตซิ่ง (Switching transformer) TR4 เป็นจุดกราวด์เสมือนของวงจร โดยแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ CA จะเป็นแรงดันบวกถูกป้อนให้กับไดโอดบริดจ์ DBG1 ส่วนแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ CB เป็นแรงดันลบถูกป้อนให้กับไดโอดบริดจ์ DBG2

อุปกรณ์สำคัญของวงจรนี้คือมอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) FET1 และ FET2 ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิดปิดด้วยความเร็วสูงเท่ากับคลื่นอัลตราโซนิกที่ป้อนทางขาเข้า (Input) เพื่อเปิดทางให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านกลับไปยังขา 4 ซึ่งเป็นขดลวดด้านปฐมภูมิ (Primary coil) ของหม้อแปลงสวิตซิ่ง TR4 เป็นกระแสไฟฟ้าบวกและลบสลับกันไป ในขณะเดียวกันขดลวดทางด้านทุติยภูมิ (Secondary coil) ของหม้อแปลง TR4 จะได้รับกำลังงานไฟฟ้าจากการเหนี่ยวนำ จึงมีสัญญาณไฟฟ้าย่านอัลตราโซนิกส่งจากขา 5 และ 8 ไปที่ด้านทางออก CH1 และ CH2 (กรณีต้องการใช้งาน 2 ช่อง) ซึ่งเป็นจุดต่อโหลด ปริมาณกระแสไฟฟ้าด้านทางออกจะขึ้นอยู่กับการทำงานของมอสเฟตกำลัง FET1 และ FET2 ในการออกแบบจะกำหนดให้ทำงานในสภาวะแอคทีฟ (Active mode) ตามเงื่อนไขต่อไปนี้ [6]

$$V_{DS} > V_{GS} - V_t > 0 \quad (1)$$

เมื่อ V_{DS} คือ แรงดันเดรน-ซอร์ซ (Drain-Source voltage) ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 155 โวลต์
 V_{GS} คือ แรงดันเกต-ซอร์ซ (Gate-Source voltage) ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 10 โวลต์
 V_t คือ แรงดันจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold voltage) เป็นคุณลักษณะเฉพาะของมอสเฟตที่เลือกมาใช้งาน ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 2 โวลต์ [7]

การควบคุมกระแสโหลดที่ไปขับกำลังงานอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จะขึ้นอยู่กับกระแสเดรน (Drain current: I_D) ของมอสเฟต FET1 และ FET2 ตามสมการต่อไปนี้ [6]

$$I_D = \frac{k' W}{2 L} (V_{GS} - V_t)^2 (1 + \lambda V_{DS}) \quad (2)$$

เมื่อ W คือ ความกว้างของมอสเฟต
 L คือ ความยาวของมอสเฟต
 λ คือ ค่า Channel length modulation ที่เป็นส่วนกลับของแรงดัน Early (V_A) ของมอสเฟต

$$k' = \mu_n C_{OX} = \frac{\mu_n \epsilon_{OX}}{t_{OX}} \quad (3)$$

เมื่อ μ_n คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนใน Channel ของมอสเฟต

C_{OX} คือ ค่าเก็บประจุของเกตออกไซด์ (Gate oxide) ต่อหน่วยพื้นที่ของมอสเฟต

ϵ_{OX} คือ สภาพยอมของออกไซด์

t_{OX} คือ ความหนาของออกไซด์

สำหรับมอสเฟตชนิด N จะมีค่า k' ปกติเท่ากับ $200 \mu A/V^2$ ที่ความหนาของออกไซด์เท่ากับ 100 อังสตรอม

จากสมการที่ 2 แสดงให้เห็นว่าค่ากระแสเดรนจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันเกต-ซอร์ซที่ป้อนให้มอสเฟต และถูกขยายด้วยค่าพารามิเตอร์ที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะของมอสเฟตซึ่งเรียกว่าทรานส์คอนดักแตนซ์ (Transconductance: g_m) ดังสมการต่อไปนี้

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} = k' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)(1 + \lambda V_{DS}) \quad (4)$$

เนื่องด้วยการนำไปใช้งานต้องการค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทางออกสูงถึง 1000 โวลต์ แต่ค่าแรงดันที่ตกคร่อมขา 1 และ 4 ของหม้อแปลง TR4 มีค่าสูงสุดเพียง 310 โวลต์ จึงต้องพันขดลวดหม้อแปลงให้ทวีแรงดันขึ้น ตามสมการอัตราส่วนการแปลง (Transform ratio) ดังแสดงต่อไปนี้

$$\text{Transform ratio} = \frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad (5)$$

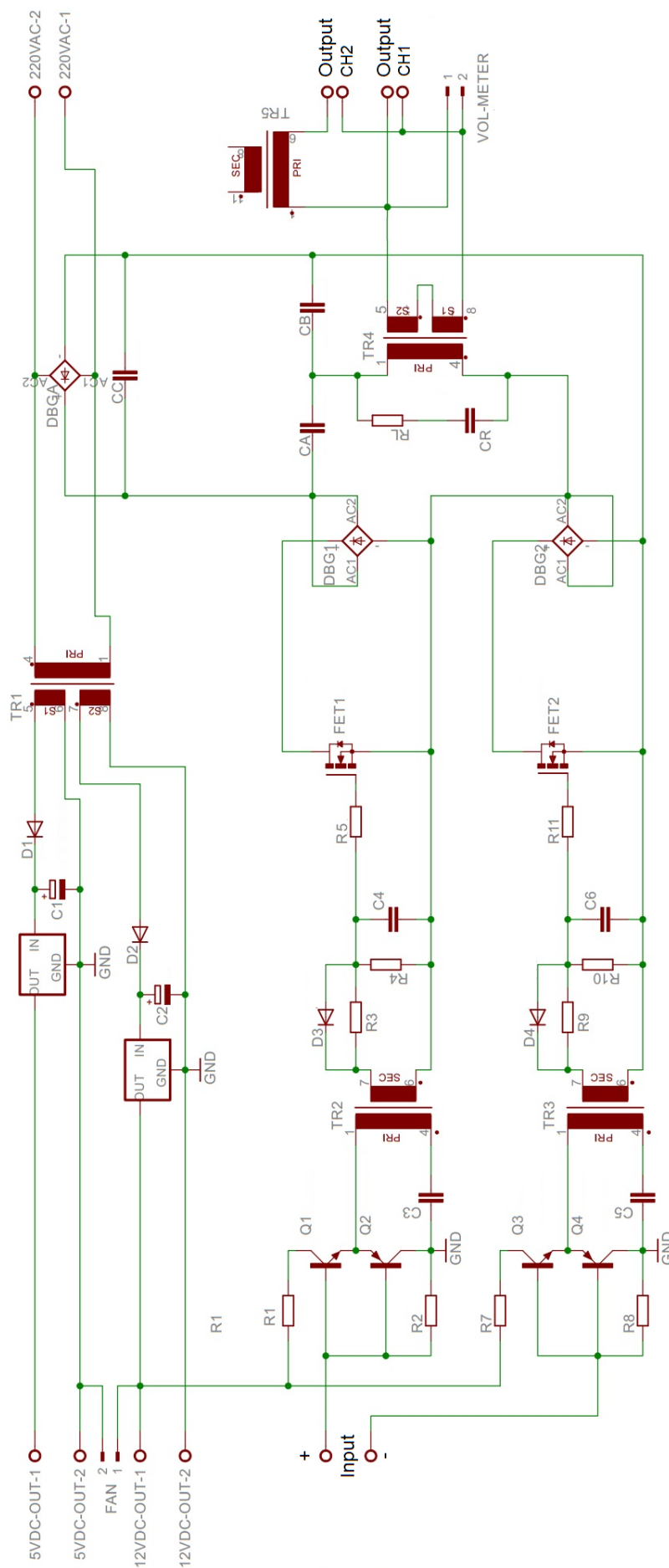
เมื่อ V_s คือ แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ

V_p คือ แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ

N_s คือ จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ

N_p คือ จำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ

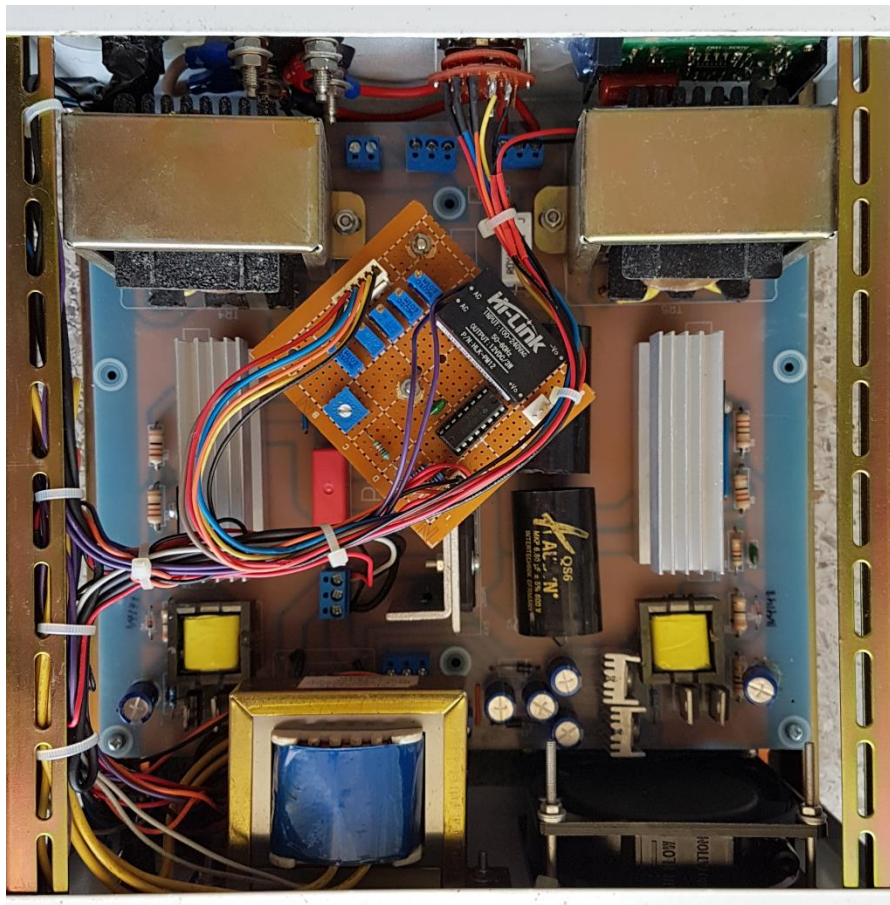
การควบคุมความถี่ของวงจรอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์จะใช้แหล่งกำเนิดความถี่ภายนอกต่อที่ทางด้านเข้า ใช้วงจรพุช-พูล (Push-Pull) Q1 Q2 Q3 และ Q4 จัดระดับแรงดันไฟฟ้าด้านละ 12V ส่งผ่านหม้อแปลง TR2 และ TR3 ซึ่งทำหน้าที่แยกภาคควบคุมออกจากภาคกำลัง แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำด้านทุติยภูมิจากหม้อแปลงทั้งสองตัวจะถูกแบ่งเป็น 10 V ด้วย R3 R4 R9 และ R10 ส่งเข้าขาเกต เพื่อควบคุมการสับสวิตช์ของมอสเฟตกำลัง FET1 และ FET2 แยกเป็นขั้วบวกและลบสลับกันไป ในการสร้างจะใช้มอสเฟตกำลังเบอร์ IRFP460 ของบริษัท Vishay Siliconix ซึ่งมีพิสัยแรงดันเดรน-ซอร์ซเท่ากับ 500 โวลต์ และพิสัยกระแสเดรนเท่ากับ 20 แอมแปร์ ที่อุณหภูมิทำงานปกติ 25 องศาเซลเซียส [7] ส่วนวงจรเรียงกระแสจะใช้เบอร์ RBV2506D ของบริษัท EIC Semiconductor มีพิสัยแรงดัน 600 โวลต์ พิกัดกระแส 25 แอมแปร์ [8] เครื่องต้นแบบอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ที่ประกอบเสร็จแสดงดังรูปที่ 3



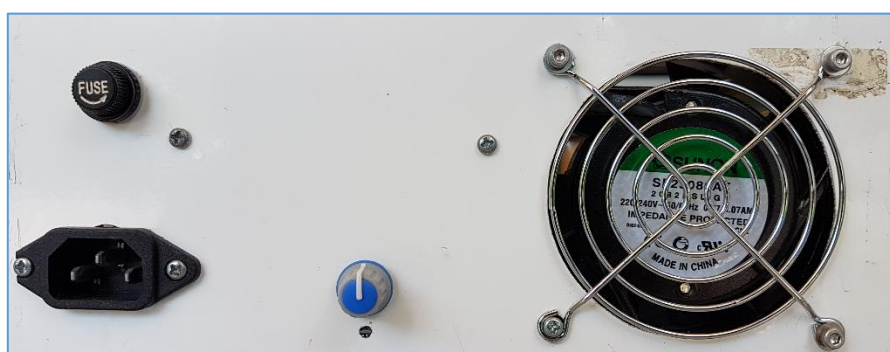
รูปที่ 2 วงจรอัลตราโซนิคอินเวอร์เตอร์



(ก) ภาพถ่ายด้านหน้าเครื่องต้นแบบ

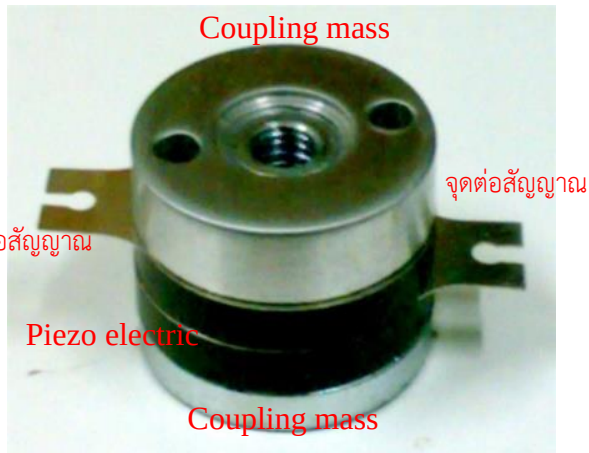


(ข) ภาพถ่ายด้านบนเครื่องต้นแบบ



(ค) ภาพถ่ายด้านหลังเครื่องต้นแบบ

รูปที่ 3 เครื่องต้นแบบอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ที่ประกอบเสร็จ



รูปที่ 4 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

2.2 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ในรูปที่ 4 เป็นอุปกรณ์สำคัญในการทำหน้าที่แปลงคลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นทางกลด้วยความถี่เดียวกัน ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นโหลดให้กับวงจรในรูปที่ 2 ตัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ประกอบด้วยเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) สองแผ่นประกบกัน เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าจะบิดตัวตามความถี่ที่ได้รับ แต่การบิดตัวนี้ยังไม่มีความถี่มากพอ ต้องใช้วัสดุจำพวกอลูมิเนียมขนาดพอเหมาะประกบกับแผ่นเซรามิกสองด้านเรียกว่า Coupling mass เพื่อถ่ายโอนพลังงานกลออกมาในรูปของการสั่น

ในการสร้างอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จะต้องให้ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance frequency: f_r) กับความถี่อัลตราโซนิกที่ด้านขาออก ดังสมการต่อไปนี้

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (6)$$

เมื่อ L คือ ค่าความเหนี่ยวนำที่ด้านขาออกของอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ (ขดลวดขั้วของ TR4)

C คือ ค่าเก็บประจุของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

ค่าเก็บประจุของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของ Coupling mass โดยทั่วไปจะใช้อลูมิเนียม 99.5% ซึ่งมีค่าสภาพยอม (ϵ_r) เท่ากับ 10.3 และกำหนดขนาดของ Coupling mass ได้ดังสมการต่อไปนี้ [9]

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (7)$$

เมื่อ ϵ_0 คือ สภาพยอมสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 8.85 pF/m

- A คือ พื้นที่หน้าตัดของ Coupling mass ที่ประกบกับเพียโซอิเล็กทริก
- d คือ ระยะห่างของ Coupling mass ที่กันด้วยเพียโซอิเล็กทริก



รูปที่ 5 เครื่องมือวัดทดสอบรูปคลื่นสัญญาณอัลตราโซนิก

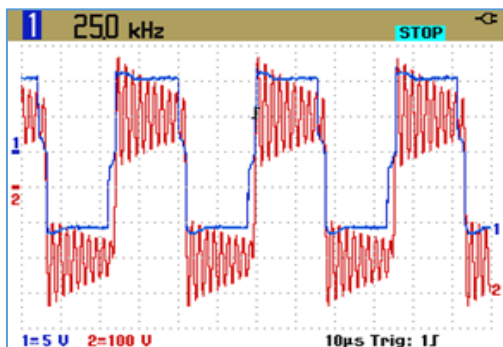
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลการทดสอบทางไฟฟ้า

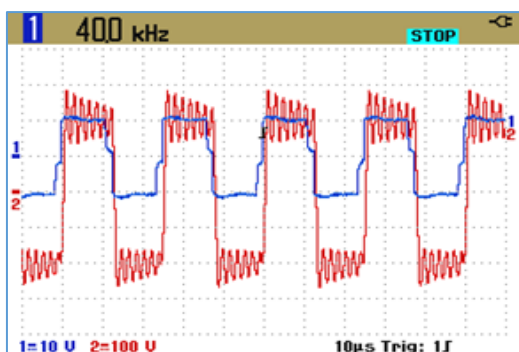
เครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ที่สร้างเสร็จทำการทดสอบการวัดค่าสัญญาณทางไฟฟ้าที่ด้านออกด้วยเครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ดังรูปที่ 5 โดยการต่อขั้วบวกและลบเข้ากับจุดต่อสัญญาณเพียโซอิเล็กทริกของหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ในการทดสอบจะใช้อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ เป็นโหลด เมื่อปรับอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนความถี่ใดจะต้องต่อหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ความถี่เดียวกันเป็นโหลด ผลการวัดแสดงในรูปที่ 6 ถึง 11

จากรูปที่ 6 ถึง 10 แสดงรูปคลื่นอัลตราโซนิกด้านขาเข้า (ช่อง 1) จากวงจรกำเนิดความถี่กับด้านขาออก (ช่อง 2) ที่จุดต่อโหลดของเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ที่บันทึกจากเครื่องออสซิลโลสโคปขณะไม่ต่อโหลด รูปที่ 6 แสดงคลื่นอัลตราโซนิกความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปที่ 7 แสดงคลื่นอัลตราโซนิกความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปที่ 8 แสดงคลื่นอัลตราโซนิกความถี่ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปที่ 9 แสดงคลื่นอัลตราโซนิกความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ รูปที่ 10 แสดงคลื่นอัลตราโซนิกความถี่ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ คลื่นอัลตราโซนิกทั้ง 5 มีความถี่ตรงตามการออกแบบ รูปคลื่นด้านขาออกมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม (Square pulse) ที่มีส่วนประกอบของฮาร์โมนิก (Harmonic) ค่อนข้างมาก

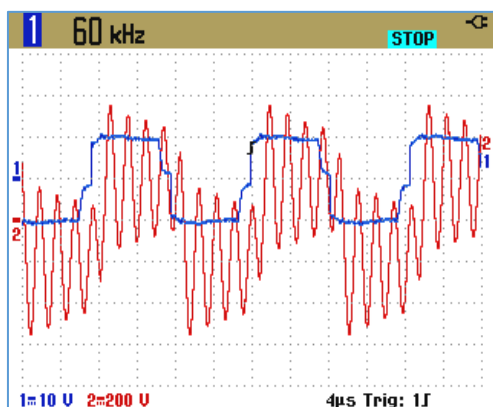
ทำการวัดทดสอบด้านการขับกำลังงานไฟฟ้า พบว่าเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถขับกำลังงานไฟฟ้าได้ถึง 1.1 กิโลวัตต์ (kW) เมื่อต่อโหลดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ 25 kHz วัดสัญญาณได้เป็นคลื่นรูปไซน์ (Sinusoidal wave) ความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ ไม่มีฮาร์โมนิก ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์มีความถี่เรโซแนนซ์ตรงกับความถี่ทางด้านขาออกที่กำหนด จึงมีการตอบสนองเฉพาะความถี่ที่กำหนดและไม่ตอบสนองความถี่ฮาร์โมนิก ดังแสดงในรูปที่ 11



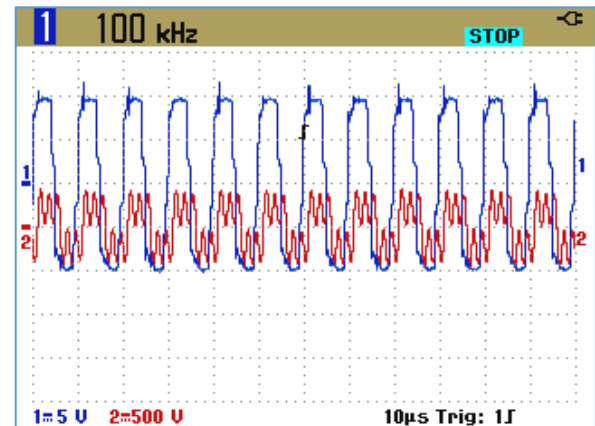
รูปที่ 6 รูปคลื่นสัญญาณอัลตราโซนิกความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์
ขณะไม่ต่อโหลด



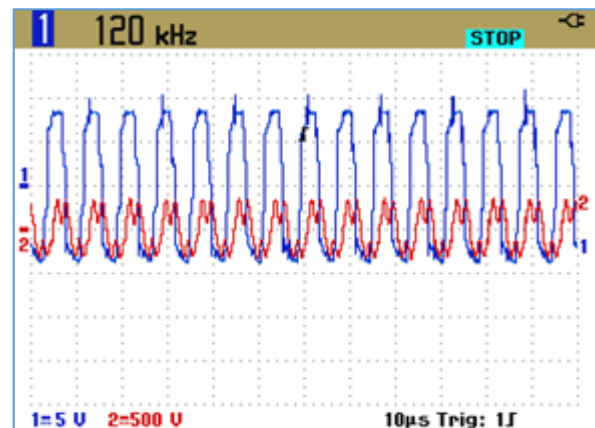
รูปที่ 7 รูปคลื่นสัญญาณอัลตราโซนิกความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์
ขณะไม่ต่อโหลด



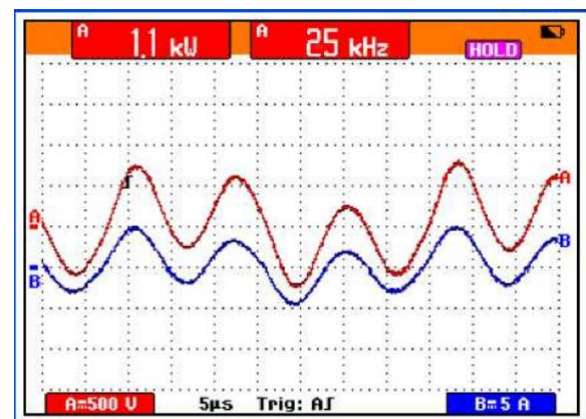
รูปที่ 8 รูปคลื่นสัญญาณอัลตราโซนิกความถี่ 60 กิโลเฮิร์ตซ์
ขณะไม่ต่อโหลด



รูปที่ 9 รูปคลื่นสัญญาณอัลตราโซนิกความถี่ 100 กิโลเฮิร์ตซ์
ขณะไม่ต่อโหลด



รูปที่ 10 รูปคลื่นสัญญาณอัลตราโซนิกความถี่ 120
กิโลเฮิร์ตซ์ ขณะไม่ต่อโหลด



รูปที่ 11 ผลการวัดกำลังงานเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์
ขณะขับโหลดอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ 25 kHz



รูปที่ 12 การทดสอบเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง
และบันทึกผลการวัด

3.2 การทดสอบอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์กับสว่านแท่นเจาะ

ติดตั้งเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ที่สร้างเสร็จเข้ากับอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์และสว่านแท่นเจาะ ดังรูปที่ 12 โดยยึดติดทรานสดิวเซอร์กับแผ่นวัสดุตัวอย่างให้แน่นเพื่อให้พลังงานคลื่นทางกลถ่ายไปสู่แผ่นวัสดุตัวอย่างได้มากที่สุด จากนั้นทำการเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง โดยทำการจับเวลาการเจาะและเปลี่ยนชนิดของแผ่นวัสดุตัวอย่าง ด้วยแผ่นวัสดุ 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นเหล็กหนา 1 มิลลิเมตร แผ่นสแตนเลสหนา 1.5 มิลลิเมตร แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร และแผ่นอะคริลิกหนา 2 มิลลิเมตร และเก็บผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 ในการทดสอบจะใช้สว่านแท่นเจาะเครื่องเดียวกัน ดอกสว่านขนาดเดียวกัน และเจาะโดยไม่มีแรงกดจาก

ภายนอก ทั้งนี้เพื่อวัดและเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเจาะวัสดุตัวอย่างทั้ง 4 ชนิดในสถานการณ์เดียวกัน โดยการปรับเปลี่ยนเฉพาะความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิกตามที่ออกแบบไว้เท่านั้น

จากตารางที่ 1 พบว่า การเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง 4 ชนิดแบบใช้อัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ เวลาในการเจาะเร็วกว่าแบบที่ไม่ใช้อัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ สรุปเวลาที่ใช้ในการเจาะวัสดุตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด เรียงจากน้อยไปหามากคือ ใช้อัลตราโซนิกความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ และไม่ใช้อัลตราโซนิก ตามลำดับ ผลการทดสอบในครั้งนี้ยังไม่ครอบคลุมถึงผลกระทบของแรงกดดอกสว่านและลักษณะของรูเจาะบนแผ่นวัสดุ งานวิจัยส่วนเพิ่มในอนาคตคือ การทดสอบในส่วนการวัดแรงกดของสว่านขณะเจาะแผ่นวัสดุ และปรับเปลี่ยนขนาดของรูเจาะที่ทำการเจาะบนแผ่นวัสดุ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้น และนำมาพัฒนางานวิจัยต่อไป

3.3 ต้นทุนการสร้างเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์

ต้นทุนค่าวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์แสดงดังตารางที่ 2 ราคาของมอสเฟต IRFP460 และไดโอดบริดจ์ RBV2506D อ้างจากร้านค้าออนไลน์ [10] ณ วันที่เข้าถึงข้อมูล อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เป็นราคาขายปลีกจากร้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ส่วนราคาวัสดุอื่นๆ เช่น กล่องเครื่อง น็อต ขายึด สายไฟ เป็นราคาประมาณโดยรวมจากร้านวัสดุทั่วไป หม้อแปลงไฟฟ้า TR4 และ TR5 เป็นราคาจ้างพิมพ์หม้อแปลง เมื่อรวมราคาต้นทุนวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ (ไม่รวมค่าออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ต้องลงมือทำด้วยตนเอง) แล้วยังพบว่ามียุทธศาสตร์ต่ำกว่าราคาประมาณการจากบทความอ้างอิงหมายเลข [3] ในส่วนของหัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ราคาต่อหัวจะขึ้นอยู่กับกำลังงานไฟฟ้า หัวขนาด 40 วัตต์ มีราคาประมาณ 600-1200 บาท ควรเลือกเฉพาะความถี่ที่จะใช้งาน ถ้าต้องการกำลังงานสูงให้ใช้หลายหัวต่อขนานกัน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลทดสอบการเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง

วัสดุตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการเจาะ (วินาที)					
	ไม่ใช้อัลตราโซนิก	25 กิโลเฮิร์ตซ์	40 กิโลเฮิร์ตซ์	60 กิโลเฮิร์ตซ์	100 กิโลเฮิร์ตซ์	120 กิโลเฮิร์ตซ์
แผ่นเหล็ก หนา 1 มิลลิเมตร	120	39	41	44	51	59
แผ่นสแตนเลส หนา 1.5 มิลลิเมตร	140	61	64	71	79	94
แผ่นอลูมิเนียม หนา 1 มิลลิเมตร	60	42	45	49	53	57
แผ่นอะคริลิก หนา 2 มิลลิเมตร	80	36	39	46	49	53



ตารางที่ 2 ต้นทุนการสร้างเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์

รายการ	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคารวม (บาท)
มอสเฟต IRFP460	53.08	2	106.16
ไดโอดบริดจ์ RBV2506D	48.52	3	145.56
หม้อแปลง TR1 TR2 TR3	85	3	255
หม้อแปลง TR4 TR5	500	2	1,000
Q1 Q2 Q3 Q4	10	4	40
CA CB	180	2	360
R รวมทั้งหมด	50	1	50
C รวมทั้งหมด	100	1	100
กล่อง สายไฟ ขายึด น็อต	500	1	500
แผ่นลายวงจรพิมพ์	800	1	800
อื่นๆ	500	1	500
ยอดรวม (บาท)			3,856.72

4. บทสรุป

บทความวิจัยนี้เสนอการออกแบบและสร้างอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์สำหรับใช้งานร่วมกับสว่านแท่นเจาะ ผลการทดสอบทางไฟฟ้า พบว่า อัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถขับเคลื่อนกำลังงานไฟฟ้าได้ถึง 1.1 กิโลวัตต์ มีรูปคลื่นสัญญาณที่ด้านขาออกความถี่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ 60 กิโลเฮิร์ตซ์ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 120 กิโลเฮิร์ตซ์ ตรงตามการออกแบบ เมื่อต่อเครื่องอัลตราโซนิกอินเวอร์เตอร์ร่วมกับสว่านแท่นเจาะ วัดผลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเจาะแผ่นวัสดุตัวอย่าง 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นเหล็กหนา 1 มิลลิเมตร แผ่นสแตนเลสหนา 1.5 มิลลิเมตร แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร และแผ่นอะคริลิกหนา 2 มิลลิเมตร พบว่า การเจาะโดยใช้อัลตราโซนิกเร็วกว่าการเจาะโดยไม่ใช้อัลตราโซนิกทั้ง 4 ตัวอย่าง การประยุกต์ใช้งานอนาคตควรทดสอบเพิ่มเติมกับวัสดุตัวอย่างชนิดอื่น อีกทั้งควรปรับดอกสว่านหลายขนาด เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการเจาะและหาวิธีนำไปใช้งานจริงต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนเครื่องมือวิจัยและทดสอบ และขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้การชี้แนะอันเป็นประโยชน์ ให้งานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จลุล่วงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Vaodee S, Asavanarakul P. Ultrasonic waste water treatment. Proceedings of the Rajamangala Manufacturing and Management

Technology, RMTC2017; 2017 December 7-8, Chonburi, Thailand, 2017. Thai

- [2] David J, Cheeke N. Fundamentals and applications of ultrasonic waves. Florida: CRC Press LLC; 2002.
- [3] Chang SS. Ultrasonic assisted drilling. M.Sci. Thesis. McMaster University; 2003.
- [4] Horne MF. Drilling on mars – mathematical model for rotary-ultrasonic core drilling of brittle materials. Ph.D. Thesis. University of California, Berkeley; 2015.
- [5] Chowdhury MAK, Sharif Ullah AMM, Anwar S. Rotary ultrasonic machining and uncertainties underlying cutting force, tool wear and production materials. 2017;10(1069) Available from: doi:10.3390/ma10091069 [Accessed 22nd September 2019].
- [6] Gray PR, Hurst PJ, Lewis SH, Meyer RG. Analysis and design of analog integrated circuits 5th Edition. New York: John Wiley & Sons; 2009.
- [7] Power MOSFET IRFP460. Available from: <http://www.vishay.com/docs/91237/91237.pdf> [Accessed 22nd September 2019].
- [8] RBV2506D.[internet]. Available from: <https://www.es.co.th/Schematic/PDF/RBV25XX-EIC.PDF> [Accessed 22nd September 2019].
- [9] Cheng DK. Field and wave electromagnetics 2nd Edition. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing; 1989.
- [10] Electronics Source. .[internet]. Available from: <https://www.es.co.th/> [Accessed 22nd September 2019].



การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการตัดกระยาสารท กลุ่มวิสาหกิจชุมชนขนมไทยบ้านตาก Increasing Efficiency of Cutting Process Thai Enterprises Kanom (Krayasart) of Small Enterprises Kanom Thai Ban Tak

ชยันต์ คำบรรลือ^{1*} ธันยน์รี พรไพโรเพชร² และไกรสร วงษ์ปู้¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

41/1 ถนนพหลโยธิน ตำบลแม่เงา อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

²คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ สาขาการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

41/1 ถนนพหลโยธิน ตำบลแม่เงา อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

Chayan Khambunlue^{1*}, Thannari Pornpripheet², and Kaisorn Wongpoo¹

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak

41/1 Phaholyothin Road, Muang Tak, Tak, Thailand, 63000

²Department of Business Administration Program in General Management, Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Lanna Tak

41/1 Phaholyothin Road, Muang Tak, Tak, Thailand, 63000

*ผู้รับผิดชอบบทความ: Ngr.cha@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-8644-16409

Received: 7 August 2019, Revised: 22 October 2019, Accepted: 2 November 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการตัดกระยาสารทให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนขนมไทยบ้านตาก โดยลดเวลาและความเมื่อยล้าในกระบวนการตัดกระยาสารท ซึ่งในกระบวนการผลิตกระยาสารทใช้แรงงานคนเป็นหลัก สมาชิกกลุ่มส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ คณะผู้วิจัยนี้นำหลักการซึ่งประกอบด้วย การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) (ECRS) โดยใช้ S (Simplify) ปรับปรุงกระบวนการทำงานให้ง่ายขึ้น ด้วยการออกแบบอุปกรณ์ในการลดเวลาในการตัดกระยาสารท โดยใช้หลักการของกลไก เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน การบำรุงรักษา เหมาะสมกับธุรกิจขนาดเล็ก และต้นทุนในการจัดสร้างต่ำ ผลการดำเนินงาน สามารถลดเวลาในการตัดกระยาสารท จากเดิมก่อนปรับปรุงใช้เวลา 6 นาทีต่อครั้ง (126 นาทีต่อ 34 กิโลกรัม) และหลังปรับปรุงกระบวนการตัดกระยาสารท ใช้เวลา 0.5 นาทีต่อครั้ง (10.5 นาที ต่อ 34 กิโลกรัม) สามารถลดเวลาในการตัดลง 5.5 นาทีต่อครั้ง (115.5 นาที ต่อ 34 กิโลกรัม) ซึ่งผลการดำเนินงานวิจัยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการตัดกระยาสารทเพิ่มขึ้นร้อยละ 91.6

คำสำคัญ การศึกษางาน เทคนิคการปรับปรุง ECRS กระยาสารท

Abstract

The objective of this project is to reduce the time and fatigue in the process of cutting Krayasart (a type of Thai dessert) for small enterprises Kanom Thai Ban Tak. Traditionally, this process was done by hand by the enterprise members, most of which were the elderly people. We applied the ECRS principle by using S (Simplify) to improve work process in designing the equipment, and using the mechanical principle to improve ease of use and maintenance to make it suitable for small businesses and low cost for the instruction. The result revealed that Krayasart cutting time was greatly reduced. Before the improvement, it took 6 minutes per piece (126 minutes per 34 kilogram) whereas after the improvement, the cutting time was 0.5 minutes (10.5 minutes per 34 kilogram) which showed that after improvement, the equipment was able to reduce cutting time by 5.5 minutes per piece (115.5 minutes per 34 kilogram). As a result, the equipment can increase the efficiency of the cutting process by 96.1%.

Keywords: work study, ECRS, krayasart.

1. บทนำ

ปัจจุบัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาได้ให้ความสำคัญต่อการพัฒนาวิสาหกิจชุมชนลดต้นทุนการผลิตเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน เพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มชุมชน โดยส่งเสริมการวิจัย RMUTL OTOP Mentor'61 ภายใต้โครงการ การศึกษาเชิงบูรณาการระหว่างการเรียนรู้ในสถานศึกษากับการนำวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ไปพัฒนาและยกระดับผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์ชุมชนในพื้นที่ภาคเหนือ 6 จังหวัด

คณะผู้ดำเนินงานได้เข้าร่วมโครงการและเล็งเห็นความสำคัญในการพัฒนาเพิ่มศักยภาพในกระบวนการผลิตให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน เพื่อพัฒนากลุ่มวิสาหกิจชุมชนให้มีรายได้เพิ่มขึ้น ชีวิตความเป็นอยู่ดีขึ้น กลุ่มวิสาหกิจชุมชนชนมไทยบ้านตาก เป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ผลิตกระยาสารท และขนมไทย ผลไม้กวนขาย เป็นสินค้า OTOP ขายเป็นรายได้หลักให้กับสมาชิกกลุ่ม (รหัส OTOP 6-63-02-01/1-0029) ได้ส่งจำหน่ายภายในจังหวัดตาก และต่างจังหวัด สามารถสร้างรายได้ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนชนมไทยบ้านตากได้ ประมาณปีละ 300,000 บาท ซึ่งผลิตภัณฑ์กระยาสารทของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในปัจจุบันเป็นที่ต้องการของตลาดประกอบกับไม่สามารถผลิตสินค้าได้เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ส่งผลให้เกิดการเสียโอกาส รายได้ ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ซึ่งมีผลมาจากปัจจัยหลายประการ ดังเช่น สมาชิกเป็นผู้สูงอายุ และขาดเครื่องมือเครื่องจักรอุปกรณ์ในการผลิต ใช้แรงงานคนเป็นหลัก ส่งผลให้ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตามปริมาณความต้องการของท้องตลาด

1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อปรับปรุงกระบวนการตัดกระยาสารทให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนชนมไทยบ้านตาก จังหวัดตาก
2. เพื่อลดเวลาและความเมื่อยล้าในกระบวนการผลิตให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ชนมไทยบ้านตาก จังหวัดตาก
3. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการตัดกระยาสารทให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนชนมไทยบ้านตาก จังหวัดตาก

1.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการตัดกระยาสารทให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนชนมไทยบ้านตาก
2. สามารถเพิ่มโอกาสสร้างรายได้จากปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนชนมไทยบ้านตาก

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและเครื่องมือการวิเคราะห์ปัญหา แผนภูมิแสดงเหตุและผล หรือแผนภูมิก้างปลา (Cause and effect diagram)

แผนภูมิแสดงเหตุและผล หรือแผนภูมิก้างปลา และบางครั้งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "แผนภูมิอิชิกาวา" (Ishikawa Diagram) ทั้งนี้เพื่อเป็นการให้เกียรติแก่ผู้พัฒนาแผนภูมินิพนธ์ขึ้นเป็นคนแรกโดย ศาสตราจารย์คาโอรุอิชิกาวา (Professor Kaoru Ishikawa) แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว (The University of Tokyo) เมื่อ ค.ศ. 1943 โดยครั้งแรกนั้น ดร.อิชิกาวา ได้ใช้แผนภูมินี้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพในการผลิตแก้ววิศวกรจากบริษัททวากาซากิสตีลเวิร์ค จำกัด โดยนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลลัพธ์สำหรับประเด็นปัญหาที่พิจารณาซึ่งมีรูปร่างคล้าย ก้างปลา จึงมีผู้นิยมเรียกว่า "แผนภูมิก้างปลา" (Fishbone diagram) สำนักมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งญี่ปุ่น (JIS) ได้นิยามความหมายของแผนภูมิแสดงเหตุและผล ไว้ว่าเป็นแผนภูมิที่แสดงความสัมพันธ์อย่างมีระบบระหว่างผลที่แน่นอนประการหนึ่งกับสาเหตุต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง [1]

2.1.1 หลักการ ECRS

หลักการ ECRS เป็นหลักการที่ประกอบด้วย การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) ซึ่งเป็นหลักการง่าย ๆ ที่สามารถใช้ในการเริ่มต้นลดความสูญเสียเปล่าหรือ MUDA ลงได้เป็นอย่างดี

การกำจัด หมายถึง การพิจารณาการทำงานปัจจุบันและทำการกำจัดความสูญเสียเปล่าทั้ง 7 ที่พบในการผลิตออกไป คือการผลิตมากเกินไป การรอคอย การเคลื่อนที่/เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น การทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์การเก็บสินค้าที่มากเกินไป การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น และ ของเสีย

การรวมกัน สามารถลดการทำงานที่ไม่จำเป็นลงได้โดยการพิจารณาว่าสามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ เช่น จากเดิมเคยทำ 5 ขั้นตอนก็รวมบางขั้นตอนเข้าด้วยกัน ทำให้ขั้นตอนที่ต้องทำลดลงจากเดิม การผลิตก็จะสามารถทำได้เร็วขึ้นและลดการเคลื่อนที่ระหว่างขั้นตอนลงอีกด้วย เพราะถ้ามีการรวมขั้นตอนกัน การเคลื่อนที่ระหว่างขั้นตอนก็ลดลง

การจัดใหม่ คือ การจัดขั้นตอนการผลิตใหม่เพื่อให้ลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น หรือ การรอคอย

การทำให้ง่าย หมายถึง การปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยอาจจะออกแบบอุปกรณ์จับยึด (jig/fixture) เข้าช่วยในการทำงานเพื่อให้การทำงานสะดวกและแม่นยำมากขึ้น ซึ่งสามารถลดของเสียลงได้จึงเป็นการลดการเคลื่อนที่ ที่ไม่จำเป็นและลดการทำงานที่ไม่จำเป็น [2]

2.1.2 หลักการ 4M

กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ใดๆ สิ่งที่ได้ออกมา นอกจากตัวผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจริงๆ และผลิตภัณฑ์ข้างเคียงแล้ว ยังมีผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการรวมอยู่ด้วยเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการส่วนมากก็จะถูกเรียกว่า ของเสีย [3] เพื่อตรวจสอบให้มั่นใจว่า ปัจจัย 4M คือคน (Man), เครื่องจักร (Machine), วัสดุดิบ (Material) และวิธีการ (Method) มีผลต่อกระบวนการอย่างไร โดยการใช้แผนภูมิแกงปลาเข้ามามีส่วนช่วยในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิต หรือการแก้ปัญหา [4]

2.1.3 หลักการออกแบบทางวิศวกรรม

ระบบการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่เหมาะสมและที่ใช้งาน เป็นที่ทราบกันทั่วไปว่า แนวทางที่เป็นไปได้ในการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ สามารถทำได้หลายรูปแบบมากมาย ไม่ว่าจะเป็น แบบใช้แรงงานคน (Manual) หรือแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automatic) หรือแบบอัตโนมัติ (Automatic) ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ แต่ในการนำไปใช้งานจริง ในการออกแบบจะต้องตัดสินใจเลือกแนวทางใดแนวทางหนึ่งเพียงแนวทางเดียว ซึ่งโดยทั่วไปต้องเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในสถานการณ์นั้น ความเหมาะสมนี้พิจารณาจากการกำหนดกฎเกณฑ์ของการออกแบบ ซึ่งระบบที่ใช้ในการออกแบบการทำงานในทางวิศวกรรมมีลักษณะดังนี้ คือ

- สอนองความต้องการของข้อกำหนดในการออกแบบ

- เหมาะสมในด้านเศรษฐกิจ เช่น การใช้ทรัพยากรต้นทุน การคืนทุน

- เหมาะสมทางด้านเทคนิค

- เหมาะสมทางการสร้างสรรค์

- สอนองตอบความพึงพอใจของผู้ใช้

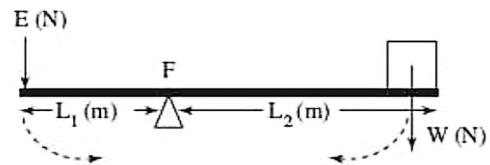
ในการทำงานจริง การออกแบบต้องพยายามทำให้เหมาะสมที่สุด และสนองตอบความต้องการของผู้ใช้ข้อกำหนดเกณฑ์ต่างๆ ตามลักษณะทางวิศวกรรม [5]

การออกแบบกลไกการทำงานโดยใช้หลักการโมเมนต์ของแรง ซึ่ง โมเมนต์ (Moment) หมายถึง ผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุเพื่อให้วัตถุหมุนไปรอบจุดหมุน ดังนั้น โมเมนต์ของแรงก็คือ ผลคูณของแรงกับระยะตั้งฉากจากแนวแรงถึงจุดหมุน ดังสูตร

$$\text{โมเมนต์} = \text{แรง} \times \text{ระยะตั้งฉากจากแนวแรงถึงจุดหมุน}$$

ทิศทางของโมเมนต์ มี 2 ทิศทาง คือ

1. โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา
2. โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา



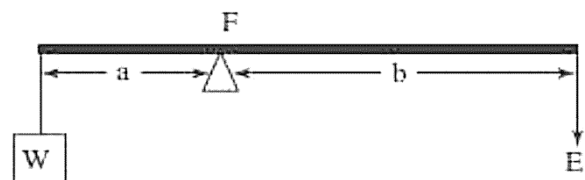
รูปที่ 1 ทิศทางของโมเมนต์

จากรูปที่ 1 โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา = $W \times L_2$ (นิวตัน-เมตร)

โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา = $E \times L_1$ (นิวตัน-เมตร)

ถ้ามีแรงหลายแรงกระทำต่อวัตถุชิ้นหนึ่ง แล้วทำให้วัตถุชิ้นนั้นอยู่ในสภาวะสมดุลจะได้ว่า ผลรวมของโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา = ผลรวมของโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา

หลักการของโมเมนต์ เรานำมาใช้กับอุปกรณ์ที่เรียกว่า คาน (lever) หรือคานดีดคานงัด คานเป็นเครื่องกลชนิดหนึ่งที่ใช้ติดตั้งวัตถุให้เคลื่อนที่รอบจุดหมุน (fulcrum) มีลักษณะเป็นแท่งยาว หลักการทำงานของคานใช้หลักของโมเมนต์



รูปที่ 2 ลักษณะของคาน

ส่วนประกอบของคาน ส่วนประกอบที่สำคัญในการทำงานของคานมี 3 ส่วน คือ

1. จุดหมุนหรือจุดฟัลครัม (Fulcrum) F
2. แรงความต้านทาน (W) หรือน้ำหนักของวัตถุ
3. แรงความพยายาม (E) หรือแรงที่กระทำต่อคาน

หลักการและขั้นตอนการคำนวณเรื่องคานและโมเมนต์

1. วาดรูปคาน พร้อมกับแสดงตำแหน่งของแรงที่กระทำบนคานทั้งหมด

2. หาตำแหน่งของจุดหมุนหรือจุดฟัลครัม ถ้าไม่มีให้สมมติขึ้น

3. ถ้าโจทย์ไม่บอกน้ำหนักของคานมาให้ เราไม่ต้องคติน้ำหนักของคาน ถือว่าคานนั้นเบามาก

4. ในการคำนวณให้ถือว่า คานมีขนาดสม่ำเสมอ

5. ถ้าโจทย์บอกน้ำหนักคานมาให้ต้องคติน้ำหนักคานด้วย โดยถือว่าน้ำหนักของคานจะอยู่จุดกึ่งกลางคานเสมอ

6. เมื่อคานอยู่ในสภาวะสมดุล โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาเท่ากับโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา

7. โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา หรือโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา มีค่าเท่ากับ ผลบวกของโมเมนต์ย่อยแต่ละชนิด

8. เมื่อมีแรงกระทำที่จุดหมุน ค่าของโมเมนต์มีค่าเท่ากับศูนย์ เพราะระยะทางเป็นศูนย์ [6] ดังนี้

$$\text{โมเมนต์} = \text{แรง} \times \text{ระยะทางตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรง} \\ = \text{แรง} \times 0$$

$$\text{โมเมนต์} = 0$$

2.1.4 หลักการ การศึกษาเวลา (Work study)

การศึกษาเวลา ต้องมีการแบ่งองค์ประกอบของงานได้อย่างชัดเจนเพื่อที่จะสามารถนำมาทำการจับเวลา [7] การวัดปริมาณงานออกมาเป็นหน่วยของเวลา เรียกว่าการกำหนดเวลามาตรฐาน เทคนิคการวัดผลการทำงานประกอบด้วยสามเทคนิคหลักคือ การศึกษาเวลาโดยตรง, เวลาในการเคลื่อนไหวแบบกำหนดไว้ล่วงหน้า และการสุ่มงาน เป็นต้น การคำนวณเวลามาตรฐาน คือ เวลามาตรฐานมาจากเวลาปกติบวกด้วยเวลาเผื่อ ส่วนรูปแบบในการจับเวลาเพื่อนำมาศึกษาเวลาในการทำงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบใหญ่คือ การจับเวลาแบบต่อเนื่อง, การจับเวลาแบบจับซ้ำ และการจับเวลาแบบสะสม ทั้งนี้การศึกษาเวลานิยมใช้เทคนิคการศึกษาเวลาโดยตรงมากที่สุดคือการสังเกตงานหนึ่งๆ โดยให้นาฬิกาจับเวลาและแยกย่อยงานออกเป็นองค์ประกอบของงานที่เกี่ยวข้องจับเวลาแยกไปตามขั้นตอนของงานนั้นๆ เพื่อที่จะพิจารณาเวลามาตรฐานสำหรับงานแต่ละงานได้อย่างเหมาะสม โดยเวลาเผื่อจะถูกรวมเข้าไปในเวลากปกติ

2.1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุภรัตน์ พูลสวัสดิ์ [8] ทำการวิจัยเรื่อง การเพิ่มผลผลิตภาพการทำงานของแผนกเอกสารขาออก กรณีศึกษาสายเรือแห่งหนึ่งในเขตพื้นที่แหลมฉบัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนในการทำงานและเพิ่มผลผลิตภาพการทำงานของพนักงาน ผลลัพธ์ที่ได้จากการนำแนวทางการปรับปรุงงานอย่างต่อเนื่องและใช้หลักการ ECRS สามารถค้นพบวิธีการทำงานใหม่ จากการกำจัดขั้นตอนงานที่ไม่จำเป็น การรวมขั้นตอนงานให้เหลือน้อยลง และการปรับปรุงวิธีการทำงานให้ง่ายขึ้นมาประยุกต์ใช้ ทำให้พนักงานทำงานได้ง่ายขึ้นและช่วยลดขั้นตอนในการทำงาน จากที่ตั้งไว้ 3 เป้าหมาย ผลลัพธ์ที่ได้สามารถบรรลุตามเป้าหมาย 2 เป้าหมาย

ลัดดาวัลย์ นันทจินดา [9] ทำการวิจัยเรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งของบริษัท ABC Transport จำกัด ในส่วนของระดับปฏิบัติการตลอดจนถึงขั้นตอนการขนส่งของรถบรรทุก Milk run ซึ่งเริ่มจากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยผังก้างปลาจากนั้นจึงออกแบบวิธีการปรับปรุงแก้ไขโดยใช้ปรับปรุงความสูญเสียเปล่าด้วย ECRC ผลจากการศึกษาพบว่าการทำงานเดิมบางขั้นตอนใช้เวลาานาน และมีระยะทางสูญเสียเปล่าเกิดขึ้น ผลจากการประยุกต์ ECRC แสดงให้เห็นถึงการ

ปรับปรุงการจัดทำเอกสาร Truck Control Sheet และลักษณะการวิ่งรับภาชนะเปล่า ทำให้สามารถประหยัดเวลากระบวนการทำงานในส่วนนี้ได้ร้อยละ 50 คือ จากเดิมที่ใช้ระยะเวลา 120 นาที ลดลงเหลือ 60 นาที และรถบรรทุกสามารถรับส่งสินค้าได้ตามกำหนดเวลาในแต่ละรอบเวลาของ Milk run

คลอเดีย วจนะวิชาการ และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาปัญหาและวิเคราะห์สาเหตุด้วยแผนภูมิแก๊งปลา รวมถึงวิเคราะห์ความสูญเสียเปล่าทั้ง 7 ประการ จัดลำดับความสำคัญด้วยแผนภูมิพาเรโต พบว่า การเกิดของเสีย(defect) จากกระบวนการเผาส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตมากที่สุด เนื่องจากการเผาต้องใช้ความร้อนอุณหภูมิสูงทำให้ครกดินเกิดการแตกร้าว คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบชิ้นวางครกฝั่งลมและออกแบบวิธีการจัดเรียงครกใหม่โดยแบ่งช่วงเวลาในการจัดเรียงครกเข้าเตาเผา แบ่งกลุ่มช่วงเวลาในการฝั่งลมของครกหลังจากนั้นเรียงครกเข้าเตาโดยกำหนดให้ครกที่มีความชื้นน้อยที่สุดวางให้ใกล้หัวเตา ส่วนครกที่มีความชื้นมากกว่าจัดเรียงเข้ามาข้างในให้อยู่ตรงกลางเตาเพราะครกที่มีความชื้นมากเมื่อถูกความร้อนจะทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายกว่าครกที่มีความชื้นน้อยกว่า ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า จากเดิมก่อนปรับปรุงกระบวนการเผาครกจะเกิดของเสียประมาณ ร้อยละ 10 ของจำนวนครกทั้งหมดต่อเตา คือประมาณ 3,500 ชิ้นต่อการเผาต่อครั้ง หรือประมาณ 350 ชิ้น หลังปรับปรุงเกิดของเสียลดลงเหลือ ร้อยละ 3 ของจำนวนครกทั้งหมดต่อเตา หรือประมาณ 105 ชิ้น

สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาวิจัยการปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกในกลุ่มเกษตรกรบ้านจำปา จังหวัดสกลนคร เพื่อลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตและแสวงหาวิธีการปรับปรุงที่เหมาะสม โดยการประยุกต์การศึกษางาน และงานวิจัยนี้ใช้หลักการ ECRC เพื่อขจัดกระบวนการที่ไม่จำเป็น หลังจากการแก้ไขปรับปรุงสามารถลดขั้นตอนในกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกจากเดิม 41 ขั้นตอน เหลือเพียง 34 ขั้นตอน ส่งผลให้เวลาในการผลิตจากเดิม 3,715 นาทีต่อ 30 กิโลกรัม ลดลงเหลือ 3,677 นาทีต่อ 30 กิโลกรัม นั่นคือความสูญเสียเปล่าเชิงเวลาสามารถลดลงได้คิดเป็นร้อยละ 17.07 นอกจากนี้ยังส่งผลให้ระยะทางในการเคลื่อนย้ายรวมในกระบวนการผลิตจากเดิม 99 เมตร ลดลงเหลือ 52 เมตร นั่นคือความสูญเสียเปล่าเชิงระยะทางสามารถลดลงได้คิดเป็นร้อยละ 47.00

2.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1 ติดต่อประสานงาน เก็บรวบรวมข้อมูล

คณะผู้ดำเนินงาน ลงพื้นที่วิสาทกิจชุมชน เก็บรวบรวมข้อมูล ขั้นตอนกระบวนการผลิต ปัจจัย ประเด็นปัญหาต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการผลิต เพื่อนำมาวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไข

จากการเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตกระยาสารทมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

1. นำถั่วลิสง งา ข้าวเม่า มาคั่วให้สุกพอประมาณ แล้วพักไว้
2. นำกะทิมาเคี่ยวกับน้ำตาลปีบ จนน้ำตาลละลาย จากนั้นใส่แบะแซลงไปผสม เคี่ยวให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันหรือจนเหนียวขึ้นเป็นยางมะตูม ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
3. ใส่ถั่วลิสง ข้าวตอก ข้าวเม่า งาขาวที่คั่วเตรียมไว้ลงไปผสมในน้ำกะทิ เคี่ยวไปเรื่อยๆโดยใช้ไฟอ่อน ประมาณ 30 นาที
4. นำกระยาสารทที่ผ่านการกวน ซึ่งน้ำหนักลดลงเหลือประมาณ 34 กก. เทลงในแบบ
3. ทำการรีดกระยาสารท โดยใช้ลูกกลิ้งไม้
4. นำมีดมาตัดตามขนาดที่ต้องการ
5. บรรจุลงถุงผลิตภัณฑ์ (135 กรัมต่อถุง)



รูปที่ 3 ขั้นตอนการผลิตกระยาสารทแบบเดิม

2.2.2 วิเคราะห์ข้อมูลด้วย หลักการศึกษางาน (Work study)

จากการเก็บข้อมูลขั้นตอนกระบวนการผลิต ดำเนินการวิเคราะห์ผล โดยนำหลักการศึกษางาน เข้ามาตรวจสอบ เวลาในกระบวนการผลิต แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลเวลาในการผลิตกระยาสารทเดิม (ก่อนทำการปรับปรุงซึ่งในหนึ่งครั้งสามารถตัดกระยาสารทได้ครั้งละ 12 แผ่น)

กิจกรรมที่เกิดขึ้น	ระยะเวลา (นาที)	
1. นำถั่วลิสง ข้าวเม่า คั่วในกระทะและพักไว้	5	○⇒△□▽
2. นำกะทิ น้ำตาลปีบ แบะแซเคี่ยวในกระทะ	40	○⇒△□▽
3. ใส่ถั่ว ข้าวตอก งา ข้าวเม่าและคั่วไฟอ่อน	30	○⇒△□▽
4. พักไว้ให้เย็น	5	○⇒△□▽
5. นำไปวางไว้บนถาด	1	○⇒△□▽
6. คลึงกระยาสารทให้เรียบในถาด	5	○⇒△□▽
7. ทำการตัดด้วยมือ	6	○⇒△□▽
8. บรรจุถุง	10	○⇒△□▽
รวม	102	
ลักษณะกิจกรรม	ระยะเวลา (นาที)	
การลงมือปฏิบัติ ○	96	
การขนส่ง ⇒	1	
ความล่าช้า △	5	
ระยะเวลาทั้งหมด	102	

จากตารางที่ 1 แสดงผลข้อมูลเบื้องต้นในกระบวนการผลิตด้วยหลักการศึกษางาน ในกระบวนการผลิตใช้เวลาการผลิตทั้งหมด 102 นาที (12 แผ่น) ใช้แรงงานคนเป็นหลัก ซึ่งในขั้นตอนกระบวนการตัดกระยาสารท ใช้เวลาในการตัดกระยาสารท 6 นาทีต่อครั้ง (12 แผ่น) ใช้แรงงานคนในการตัดส่งผลให้เกิดความเมื่อยล้า ประกอบกับผู้ผลิตมีอายุมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพในกระบวนการตัดกระยาสารทต่ำ ซึ่งสามารถหาแนวทางดำเนินการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้

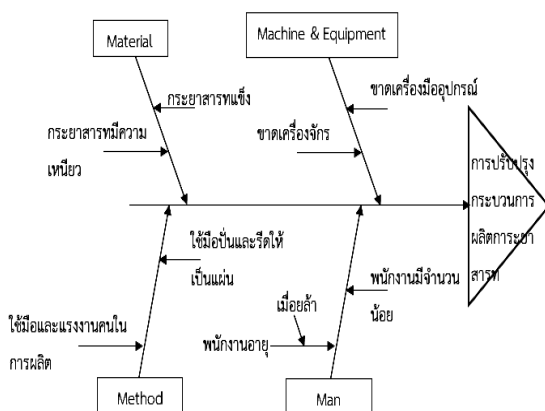
2.2.3 วิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิค SWOT

ทำการวิเคราะห์จุดแข็งจุดอ่อน (SWOT) วิสาหกิจชุมชน เพื่อให้การดำเนินงานปรับปรุงกระบวนการผลิตเหมาะสมกับวิสาหกิจชุมชน

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SWOT

Strengths	Weaknesses
1. ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและความต้องการสูง 2. มีหน่วยงานของรัฐให้การสนับสนุน 3. สมาชิกกลุ่มให้ความสำคัญด้านความสะอาด สุขลักษณะในกระบวนการผลิต	1. กระบวนการผลิตส่วนใหญ่ใช้แรงงานคนขาดเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำงาน 2. พนักงานส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ 3. ไม่สามารถผลิตสินค้าได้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า
Opportunities	Threats
1. ปัจจุบันรัฐบาลให้การสนับสนุนส่งเสริมสินค้า OTOP วิสาหกิจชุมชน 2. ผลิตภัณฑ์ของวิสาหกิจชุมชนมีคุณภาพ เป็นที่ต้องการของตลาด	1. สมาชิกกลุ่มมีอายุมาก เกิดความเมื่อยล้าส่งผลต่อกำลังการผลิต 2. กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ขาดทุนทรัพย์ในการ

จากการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิค SWOT กลุ่มวิสาหกิจชุมชนชนมไทย ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่ต้องการของตลาดอย่างมาก แต่ไม่สามารถทำการผลิตได้เพียงพอ แต่ด้วยปัจจัยด้านอายุของสมาชิกและเครื่องมืออุปกรณ์ส่งผลให้กำลังการผลิตไม่สามารถผลิตได้ตามความต้องการของตลาดจึงส่งผลให้เกิดการเสียโอกาสทางการขาย และรายได้ที่จะได้รับกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิแกงปลา

2.2.4 วิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิแกงปลา

จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นทำให้ทราบถึงกระบวนการผลิตกระยาสาร และประยุกต์ใช้แผนภูมิแกงปลา และหลักการ 4M เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกระบวนการผลิต ลดความเมื่อยล้าให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ปัญหาดังแสดงรูปที่ 4

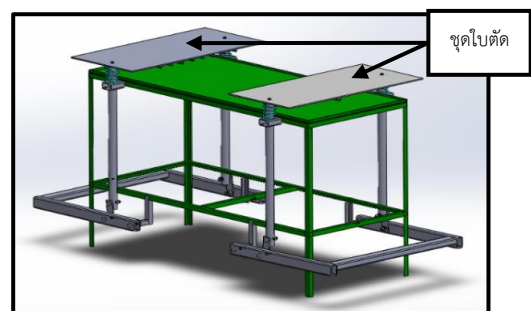
ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยหลัก 4M

หลักการ 4M	
Man	กลุ่มวิสาหกิจชุมชน สมาชิกส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ เกิดความเมื่อยล้าในการทำงาน ส่งผลต่อปริมาณการผลิต กลุ่มแม่บ้านขาดความรู้ ในการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยลดเวลาในการผลิต
Machine	กลุ่มแม่บ้านขาดเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์ช่วยในกระบวนการผลิตกระยาสาร ประกอบกับขาดทุนในการจัดซื้อเครื่องมืออุปกรณ์
Material	กระยาสาร มีความแข็งแรง ส่งผลให้กระบวนการตัดใช้แรงในการตัดมาก
Method	กลุ่มแม่บ้านใช้แรงงานคนในการผลิตเป็นหลัก ขาดเครื่องมืออุปกรณ์ช่วยลดเวลาในการผลิต

2.2.5 การประยุกต์หลักการ ECRS เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหา ลดเวลาในการกระบวนการผลิต

หลักการ ECRS เป็นการปรับปรุงการทำงาน โดยกำจัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็น E การรวมกระบวนการทำงานให้ทำงานให้รวดเร็วขึ้น C การจัดลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่ R และ การปรับปรุงการทำงานให้ง่าย สะดวกขึ้น S

จากการนำหลักการ ECRS เข้ามาประยุกต์ใช้โดยใช้ S คือ Simplify ปรับปรุงการทำงานให้ง่ายขึ้น คณะวิจัยเน้นการโดยออกแบบอุปกรณ์ตัดกระยาสารที่มีหลักการทำงานง่ายๆ ไม่ใช้มอเตอร์ หรือระบบส่งกำลัง ประยุกต์ใช้หลักการกลไกอย่างง่าย (Simple Mechanical) ไม่ยุ่งยาก เพื่อให้เหมาะกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่มี สมาชิกส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ ดูแลรักษาง่าย ดังแสดงรูปที่ 5



รูปที่ 5 การออกแบบอุปกรณ์ตัดกระยาสาร

และในการออกแบบคานะดำเนินงานออกแบบกระบวนการตัดปรับเปลี่ยนจากการใช้แรงจากมือกด เป็นใช้เท้ากดโดยใช้หลักการของโมเมนต์ ซึ่งสามารถคำนวณแรงในการตัด โดย นำข้อมูลอ้างอิงจากน้ำหนักตัวคนโดยเฉลี่ย 68.83 kg หรือประมาณ 69 kg

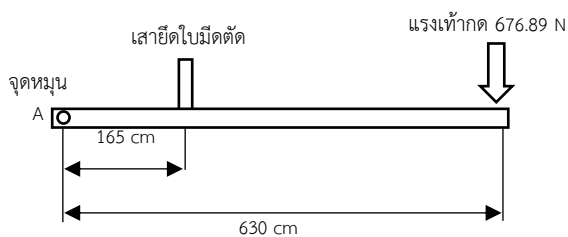
ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลน้ำหนักคนไทยโดยเฉลี่ย [12]

เพศ	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	รอมอก		รอมเอว	
			นิ้ว	เซนติเมตร	นิ้ว	เซนติเมตร
ชาย	68.83	169.46	39.10	99.20	33.50	84.79
หญิง	57.40	157.00	36.00	91.09	31.50	79.83

ซึ่งสามารถคำนวณแรงตัดด้วยมือสูงสุด จากน้ำหนักตัวดังนี้

$$\begin{aligned} F &= mg \\ &= 69 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \\ &= 676.89 \text{ N} \end{aligned}$$

และจากการออกแบบอุปกรณ์ตัดกระยาสารท สามารถคำนวณแรงตัดโดยใช้เท้ากด สามารถลดแรงลงได้ดังนี้



รูปที่ 6 คานเหยียบตัดกระยาสารท

$$\begin{aligned} \sum A &= 0 \\ &= [165 \text{ cm} \times F] - [(676.89 \text{ N}) \times 630 \text{ cm}] \\ F &= 2,584.48 \text{ N} \end{aligned}$$

ซึ่งจากการออกแบบ สามารถเพิ่มแรงกดโดยใช้เท้าเหยียบสามารถเพิ่มแรงตัดกระยาสารทเพิ่มขึ้นได้ถึง 2,584.48 N จากเดิมที่ใช้แรงจากมือในการตัด ใช้แรงตัด 676.89 N ซึ่งเพิ่มแรงในการตัดกระยาสารท ขึ้น 3.8 เท่าของแรงกดเดิม

2.2.6 ดำเนินการออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์ตัดกระยาสารท

ในการออกแบบออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์ตัดกระยาสารท คณะผู้ดำเนินการออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์ตัดกระยาสารท ให้สามารถดูแลรักษาได้ง่ายๆ ใช้วัสดุสำหรับเกรดอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) คือ สแตนเลส เกรด Sus304 ตัดกระยาสารทให้ได้ขนาด 16 x 16 cm



รูปที่ 7 ภาพอุปกรณ์ตัดกระยาสารทที่จัดสร้าง



รูปที่ 8 การทดลองตัดและกระยาสารทที่ผ่านการตัด

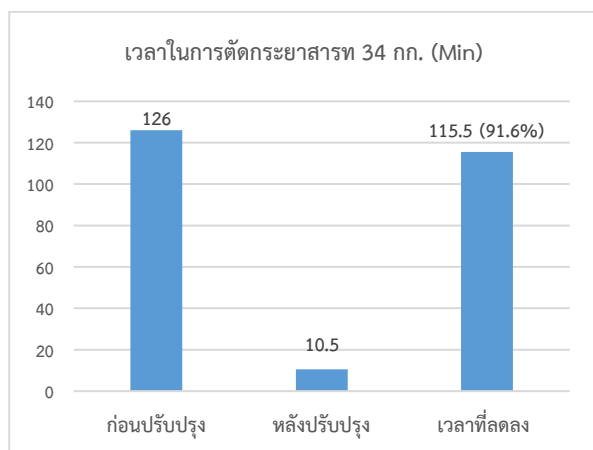
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ผลการวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตกระยาสารท โดยใช้หลักการศึกษาเวลา (Work study) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ผลเวลาในการทำงานก่อนเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งเดิมกระบวนการผลิตกระยาสารทใช้เวลาในการผลิต 102 นาทีต่อครั้ง (12 แผ่น) คณะวิจัยออกแบบและประยุกต์ใช้หลักการ Ecrcs เข้ามาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ตัดกระยาสารท และใช้หลักการของโมเมนต์ ช่วยลดแรงในการตัด จากเดิมใช้แรงจากมือในการตัด 676.89 N หลักจากทำการออกแบบอุปกรณ์ตัดกระยาสารทโดยใช้แรงจากเท้าในการตัด สามารถเพิ่มแรงตัด 2,584.48 N ใช้ช่วยลดความเมื่อยล้าในกระบวนการตัดลงได้

จากการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ในการตัดกระยาสารท สามารถลดเวลาในการตัดลงได้ จากเดิมกระบวนการตัดเดิมใช้แรงงานคน เกิดความเมื่อยล้าส่งผลให้ใช้เวลาในการตัดกระยาสารทจากเดิม 6 นาทีต่อครั้ง (12 แผ่น) หรือ 126 นาทีต่อกระยาสารท 34 กิโลกรัม และหลังทำการปรับปรุงกระบวนการตัดโดยประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตัดกระยาสารท สามารถลดเวลาในการตัดลงเหลือ 0.5 นาทีต่อครั้ง (12 แผ่น) หรือ 10.5 นาทีต่อกระยาสารท 34 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 7 แสดงกราฟเปรียบเทียบเวลาในกระบวนการตัดก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการตัดกระยาสารท

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบเวลาในกระบวนการตัดก่อน และหลังการปรับปรุงกระบวนการตัดกระดาษ

กิจกรรม	เวลาในการตัดต่อครั้ง (นาที)	เวลาในการตัดทั้งหมด 34 กิโลกรัม (นาที)
ก่อนปรับปรุง	6	126
หลังปรับปรุง	0.5	10.5
เวลาที่ลดลง	5.5 (ร้อยละ 91.6)	115.5 (ร้อยละ 91.6)



รูปที่ 9 แผนภูมิเปรียบเทียบเวลาในกระบวนการตัดกระดาษก่อนและหลังปรับปรุง

4. บทสรุป

การปรับปรุงกระบวนการตัดกระดาษให้กับวิสาหกิจชุมชนขนมไทยบ้านตาก โดยการจัดสร้างอุปกรณ์ตัดกระดาษ โดยปรับเปลี่ยนกระบวนการตัดจากการใช้แรงมือตัดเป็นใช้แรงจากเท้าในการตัด สามารถลดความเมื่อยล้าในกระบวนการตัดได้ และสามารถลดเวลาในการตัดลงจากเดิม 6 นาทีต่อครั้ง หรือ 126 นาทีต่อการผลิต 34 กิโลกรัม หลังปรับปรุงกระบวนการตัดสามารถลดเวลาในการตัดเหลือ 0.5 นาทีต่อครั้ง หรือ 10.5 นาทีต่อการผลิต 34 กิโลกรัม เวลาในการตัดลดลง 5.5 นาที หรือ 115.5 นาทีต่อการผลิต 34 กิโลกรัม สามารถเพื่อประสิทธิภาพในกระบวนการตัดกระดาษคิดเป็น ร้อยละ 91.6

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา รหัสโครงการเลขที่ 6612 62303301 7203 34 00 แผน 4

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. ระบบควบคุมคุณภาพที่หน้างาน:คิวซีเซอร์เคิล. พิมพ์ครั้งที่ 6; 2547.
- [2] ประเสริฐ อัครประมพงษ์. การลดความสูญเสียเปล่าด้วยหลักการ ECRS. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม; 2548.
- [3] ปกรณ์ ดวงใจสัก. การลดเวลาการผลิตใส่อาหารกรณีศึกษา บริษัทริสเซ็นแอร์คราฟท์อินทีเรีย ซิสเต็มส์ (ไทยแลนด์) จำกัด [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2550.
- [4] วีระพงษ์ เณิมจิระรัตน์. การแก้ปัญหาแบบ QC. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น); 2547.
- [5] นิศากร สมสุข และคณะ. บทความวิชาการการออกแบบวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ [อินเทอร์เน็ต]. มหาวิทยาลัยอีสเทอร์นเอเชีย. 2561.เข้าถึงได้จาก: <http://sci.bsru.ac.th/sciweb/e-magazine/7-2/chapter-4.pdf>.
- [6] โมนเมนต์[อินเทอร์เน็ต]. 2561. เข้าถึงได้จาก: http://korat.nfe.go.th/sci_t1/chap11/chap11_2.pdf
- [7] พิศุทธิ์ พงษ์ชัยฤกษ์. การศึกษาเวลาโดยตรงเพื่อการวัดผลงานของคนงาน. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา 2555; ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2555): หน้า 12-21.
- [8] สุภรัตน์ พูลสวัสดิ์. การเพิ่มผลผลิตภาพการทำงานของแผนกเอกสารขาออก กรณีศึกษาสายเรือแห่งหนึ่งในเขตพื้นที่แหลมฉบัง [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 2561.
- [9] ลัดดาวัลย์ นันทจินดา. การประยุกต์ ECRS กับบริษัทขนส่งระบบ Milk run กรณีศึกษา บริษัท ABC Transport จำกัด. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 2561.
- [10] คลอเดีย วจนะวิชากร. การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเพื่อลดความสูญเสียและเพื่อเพิ่มคุณภาพเครื่องปั้นดินเผา [อินเทอร์เน็ต]. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี; 2561 [เข้าถึงเมื่อ มิถุนายน 2561]. เข้าถึงได้จาก: file:///C:/Users/chayan/Downloads/84417-Article %20Text-204520-1-10-20170424 %20(1).pdf .
- [11] สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี. การลดความสูญเสียของกระบวนการผลิตข้าวกลึงงอก กรณีศึกษา กลุ่มเกษตรกรบ้านจำปา จังหวัดสกลนคร.[อินเทอร์เน็ต].



- คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์; 2561. [เข้าถึงเมื่อ
กรกฎาคม 2561] เข้าถึงได้จาก: <http://www.dms.eng.su.ac.th/filebox/FileData/POME020.pdf> .
- [12] ข้อมูลน้ำหนักคนไทยเฉลี่ย [อินเทอร์เน็ต]; 2561.
เข้าถึงได้จาก[http://www.sizethailand.org/ region_](http://www.sizethailand.org/region_all.html)
[all.html](http://www.sizethailand.org/region_all.html)

คำแนะนำในการเขียนบทความ

วัตถุประสงค์ของวารสาร

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เป็นวารสารทางวิชาการจัดพิมพ์ฉบับแรกในเดือนมกราคม พ.ศ.2559 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและองค์ความรู้ทางที่น่าสนใจด้าน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการสร้างความก้าวหน้าทางวิชาการ และมาตรฐานการประกอบวิชาชีพ โดยสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องได้แก่ วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ วิศวกรรมระบบควบคุม วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมโทรคมนาคม วิศวกรรมเครื่องกลวิศวกรรมเกษตร วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมแม่พิมพ์ วิศวกรรมโลหการ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมเหมืองแร่ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาขาที่เกี่ยวข้อง

ประเภทของบทความ

บทความวิจัย (research articles) เป็นรายการวิจัย หรือ รายงานทางวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งสร้างความก้าวหน้าทางวิชาการ โดยบทความดังกล่าวจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารหรือหนังสือ

บทความปริทัศน์ (review articles) เป็นบทความที่รวบรวมความรู้เชิงวิชาการเรื่องใดเรื่องหนึ่งจากวารสารหรือหนังสือ โดยมีการวิเคราะห์และวิจารณ์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจเชิงลึกอย่างแท้จริง

การส่งบทความ

นักวิจัยและผู้สนใจตีพิมพ์บทความในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา สามารถจัดส่งบทความโดยมีรายการดังต่อไปนี้ คือ

1. ต้นฉบับบทความที่เป็นข้อมูลของโปรแกรม Microsoft word และ Adobe Acrobat จำนวนอย่างละ 1 ชุด
2. จดหมายนำส่งที่เป็นข้อมูลของโปรแกรม Adobe Acrobat จำนวน 1 ชุด โดยสามารถจัดส่งได้ทั้งทางไปรษณีย์ อีเมล EngineeringJournal@rmutl.ac.th และทางเว็บไซต์ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/RMUTLEngJ>

ที่อยู่และสถานที่จัดส่งจดหมาย

“กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา”

128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัด
เชียงใหม่ เบอร์โทรศัพท์ 053921444 ต่อ1236

กำหนดการตีพิมพ์เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (รายหกเดือน)

กรณีที่บทความได้รับการตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะแจ้งรายละเอียดที่ต้องแก้ไขครั้งสุดท้ายให้ผู้เขียนบทความทราบ หลังจากที่ได้เขียนได้พัฒนาบทความฉบับสมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว ผู้เขียนบทความจะต้องส่งเอกสารดังนี้ คือ 1) ต้นฉบับบทความที่เป็นข้อมูลของโปรแกรม Microsoft word และ Adobe Acrobat จำนวนอย่างละ 1 ชุด โดยสามารถจัดส่งได้ทั้งทางอีเมล และทางไปรษณีย์ตามที่อยู่ที่กล่าวไว้ในข้างต้น

โครงสร้างของบทความ

1. บทนำ
2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย
3. ผลการวิจัยและอภิปราย
4. สรุป
5. กิตติกรรมประกาศ
6. เอกสารอ้างอิง

การเตรียมบทความ

1. การพิมพ์บทความใช้แบบอักษร TH SarabunPSK ขนาดตัวอักษรเท่ากับ 14 ใช้กระดาษขนาด A4 ซึ่งมีความกว้าง x ยาว เท่ากับ 21.2x29.7 ซม. พิมพ์ด้านเดียว โดยระยะห่างระหว่างบรรทัดเท่ากับหนึ่งช่อง และพิมพ์ห่างระยะห่างจากขอบกระดาษเท่ากับ 2.5 ซม. ริมขอบกระดาษด้านบน 2.5 ซม. ริมขอบกระดาษด้านล่าง 2.0 ซม. ริมขอบกระดาษด้านซ้าย 2.5 ซม. ริมขอบกระดาษด้านขวา 2.0 ซม.

2. ทุกด้านข้างของกระดาษ ส่วนตัวเลขหน้ากำหนดให้อยู่ด้านล่างขวา จำนวนหน้าของบทความทั้งหมดไม่ควรเกิน 8 หน้ากระดาษขนาด A4

3. ภาพประกอบทุกภาพและตารางควรมีการอ้างอิงในบทความ รูปภาพที่เป็นดิจิทัลควรเลือกใช้รูปแบบ eps tiff หรือ jpg และมีความละเอียดของภาพไม่น้อยกว่า 300 dpi

4. ตัวเลขที่ใช้เป็นเลขอารบิกเท่านั้น

5. ตารางที่ใช้ต้องมีหัวข้อและเชิงอรรถเพื่อบรรยายคำย่อ สัญลักษณ์ หรือเครื่องหมายที่ใช้

6. หน่วยที่ใช้ควรใช้ระบบหน่วย International System Units หรือ SI โดยในบทความต้องเขียนเป็นภาษาอังกฤษ

7. คำภาษาไทยให้ใช้ตัวสะกดตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน

8. ศัพท์ภาษาอังกฤษให้แปลเป็นภาษาไทย ให้ใช้คำที่ราชบัณฑิตยสถานบัญญัติได้กำหนดไว้ให้ ในกรณีที่ไม่มียังไม่ถูกกำหนด ให้เขียนภาษาอังกฤษในวงเล็บด้านหลังเฉพาะครั้งแรกเท่านั้น

9. การย่อคำและการกำหนดสัญลักษณ์ให้ใช้เฉพาะคำย่อมาตรฐานโดยควรกำหนดคำเต็มก่อนครั้งแรกและอ้างอิงคำย่อไว้ท้าย

ส่วนประกอบของบทความ

1. ชื่อเรื่องที่ผู้ตรวจระดับและชัดเจนแต่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด และไม่ควรรใช้ตัวอักษรย่อ

2. บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จะต้องแสดงรายละเอียดและระบุ ชื่อเรื่อง วัตถุประสงค์ วิธีการวิจัย ผลการวิจัย สรุปผล โดยความยาวของบทคัดย่อไม่ควรเกิน 250 คำ และมีคำสำคัญประมาณ 3-5 คำ ส่วนการค้นในบทคัดย่อภาษาไทย ให้ใช้ เว้นวรรค และเรียงตามตัวอักษร ส่วนการค้นคำสำคัญให้ใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คำสำคัญภาษาอังกฤษต้องให้ความหมายเหมือนคำสำคัญภาษาไทย และมีจำนวนเท่ากับคำสำคัญภาษาไทย

3. เนื้อเรื่องของบทความจะประกอบไปด้วย บทนำ ทฤษฎี และวิธีการดำเนินการวิจัย ผลการวิจัยและอภิปราย บทสรุป กิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิง

3.1 บทนำ จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย สมมติฐาน ซึ่งเชื่อมโยงกับผลการวิจัย

3.2 ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย จะกล่าวถึง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดของวัสดุและวิธีการที่ใช้ในการศึกษา โดยรายละเอียดที่แสดง สามารถนำไปทดลองทำซ้ำได้

3.3 ผลการวิจัยและอภิปราย จะต้องแสดงเป็นหมวดหมู่ และสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์ของบทความซึ่งผลการศึกษาสามารถแสดงในรูปแบบตารางและรูปภาพได้ แต่ต้องไม่ซ้ำกับเนื้อหาที่เขียนในส่วนนี้ ส่วนตำแหน่งการวางรูปภาพจะต้องอยู่หลังจากคำแนะนำในบทความ และไม่จำเป็นต้องแสดงทันทีทันใดหลังจากแนะนำหรือบรรยายบทความ ผู้เขียนอาจวางรูปใกล้กับรูปอื่น โดยจัดให้อยู่บริเวณด้านบนสุดหรือล่างสุดของบทความ

โดยในแต่ละช่วงของผลการวิจัย ผู้เขียนสามารถเขียนบทวิจารณ์ และวิจารณ์ได้ทุกส่วนประกอบของบทความและผลของการวิจารณ์จะต้องแสดงองค์ความรู้ใหม่ที่ได้รับผลประโยชน์ที่ได้รับ รวมทั้งรายละเอียดของปัญหาและอุปสรรคต่างๆ

3.4 บทสรุป เป็นการกล่าวถึงผลโดยย่อและข้อสรุปจากบทวิจารณ์

3.5 กิตติกรรมประกาศ เป็นส่วนที่กล่าวคำขอบคุณถึงองค์กร หรือบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนต่อผู้เขียน

3.6 เอกสารอ้างอิง ซึ่งการเขียนเอกสารอ้างอิงสามารถแสดงในลำดับถัดไป โดยใช้รูปแบบการอ้างอิงแบบวนคูเวอร์

(Vancouver system) ในกรณีที่เอกสารอ้างอิงต้นฉบับเขียนเป็นภาษาไทยให้ผู้เขียนเปลี่ยนเป็นภาษาอังกฤษแล้วใช้ระบบวนคูเวอร์และเขียนกำกับด้านท้ายว่า Thai ซึ่งตัวอย่างการอ้างอิงบางส่วนสามารถแสดงได้ดังนี้

ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงหนังสือ

[1] Simons NE, Menzies B, Matthews M. A Short Course in Soil and Rock Slope Engineering. London: Thomas Telford Publishing;2001.

ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงบทในหนังสือ

[1] Meltzer PS, Kallioniemi A, Trent JM. Chromosome alterations in human solid tumors. In: Vogelstein B, Kinzler KW, editors. The genetic basis of human cancer. New York: McGraw-Hill;2002. p. 93-113.

ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงวารสาร

[1] Geck MJ, Yoo S, Wang JC. Assessment of cervical ligamentous injury in trauma patients using MRI. J Spinal Disord. 2001;14(5):371-7.

[2] Bua-art S, Saksirir W, Kanokmedhakul S, Hirsansalee A, Lekphrom R. Extraction of bioactive compounds from luminescent mushroom (*Neonothopanus nambi*) and its effect on root-knot nema-tode (*Meloidogyne incognita*). KKU Res J. 2010;15(1):726-37.Thai.

ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงบทความในการประชุมวิชาการ

[1] Christensen S, Oppacher F. An analysis of Koza's computational effort statistic for genetic programming. In: Foster JA, Lutton E, Miller J, Ryan C, Tettamanzi AG, editors. Genetic programming: EuroGP 2002: Proceedings of the 5th European Conference on Genetic Programming; 2002 Apr 3-5; Kinsdale, Ireland. Berlin: Springer; 2002. p. 182-91.

[2] Wittke M. Design, construction, supervision and long-term behaviour of tunnels in swelling rock. In: Van Cotthem A., Charlier, R., Thimus, J.-F. and Tshibangu, J.-P. (eds.) Eurock 2006: Multiphysics coupling and long term behaviour in rock mechanics: Proceedings of the International Symposium of the International Society for Rock Mechanics, EUROCK 2006, 9-12 May 2006, Liège, Belgium. London: Taylor & Francis; 2006.p. 211-216.

[3] Edge BL. Coastal engineering 2000: conference proceedings, July 16-21, 2000, Sydney Convention

& Exhibition Centre, Sydney, Australia. Reston, VA: ASCE; 2001.

ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงวิทยานิพนธ์

- [1] Leckenby RJ. Dynamic characterisation and fluid flow modelling of fractured reservoirs. PhD thesis. Imperial College London; 2005.

ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงสิทธิบัตร

- [1] Landini, L. & Chielini, E. Water soluble and biodegradable self airproof tight closing bag. CN101045489 (Patent) 2007.

ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงจากบทความวารสารอิเล็กทรอนิกส์

- [1] Wang F, Maidment G, Missenden J and Tozer R. The novel use of phase change materials in refrigeration plant. Part 1: Experimental investigation. Applied Thermal Engineering. 2007;27(17-18): 2893-2901. Available from: doi:10.1016/j.applthermaleng.2005.06.011 [Accessed 14th July 2008].

ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงจากมาตรฐาน

- [1] British Standards Institution. BS 5950-8:2003. Structural use of steelwork in building: code of practice for fire resistant design. London: BSI; 2003

ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงจากเว็บไซต์

- [1] European Space Agency. Rosetta: rendezvous with a comet. Available from: <http://rosetta.esa.int/> [Accessed 15th June 2015].

ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงจากรายงาน

- [1] Leatherwood S. Whales, dolphins, and porpoises of the western North Atlantic. U.S. Dept. of Commerce. Report number: 63, 2001

การพิจารณากลับกรอง

บทความวิจัยและบทความปริทัศน์จะได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขานั้นๆ อย่างน้อย 2 ท่าน โดยใช้เวลาประมาณ 4-8 สัปดาห์ ในกรณีที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำให้แก้ไข ผู้เขียนต้องพิจารณาแก้ไขหรือชี้แจงเพิ่มเติมให้ผู้ทรงคุณวุฒิทราบ เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนมีความเห็นตรงกัน และบทความได้แก้ไขเรียบร้อยแล้ว จึงสามารถดำเนินการขั้นตอนการตีพิมพ์บทความในวารสารได้

สำเนาพิมพ์

ผู้เขียนบทความวิจัยและบทความปริทัศน์จะได้รับวารสาร 1 ฉบับ และสำเนาพิมพ์ (Reprint) เรื่องละ 5 ชุด โดยหากผู้เขียนต้องการจำนวนมากกว่านี้จะต้องแจ้งให้ทราบเมื่อส่งบทความฉบับแก้ไขครั้งสุดท้ายและต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมตามอัตราที่กำหนดโดยสำนักพิมพ์



จดหมายนำส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

เรียน หัวหน้ากองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ข้าพเจ้ามีความประสงค์ขอเสนอบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และขอรับรองว่าบทความนี้เป็นบทความต้นฉบับ ไม่มีส่วนลอกเลียนผลงานของผู้ใดและผลงานนี้ไม่ได้ส่งตีพิมพ์ผลงานในวารสารฉบับอื่นแล้วแต่ได้รับการปฏิเสธมาก่อน ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้าพเจ้ามีส่วนร่วมในการศึกษาและได้รู้เห็นข้อมูลทั้งหมดในบทความอย่างครบถ้วนรวมทั้งได้ตรวจสอบข้อมูลความถูกต้องของเนื้อหาเป็นอย่างดีแล้ว

ประเภทบทความ ○ บทความวิจัย ○ บทความปริทัศน์

ลายมือชื่อ

(.....) วันที่

ลายมือชื่อ

(.....) วันที่

ลายมือชื่อ

(.....) วันที่

ลายมือชื่อ

(.....) วันที่

ชื่อผู้เขียนที่ให้ติดต่อเกี่ยวกับบทความ.....

สถานที่ติดต่อ

.....

.....

โทรศัพท์ E-Mail.....

