



RMUTK
RAJAMANGALA
KRUNGTHAP

JTEP

วารสาร เทคโนโลยีและ วิศวกรรม ก้าวหน้า

Journal of Technology
and Engineering
Progress



ปีที่ 2 ฉบับที่ 1-2

เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม 2567

ISSN : 3027-6500 (Online)

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า

Journal of Technology and Engineering Progress

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1-2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567 (Vol 2, No.1-2, 2024, July - December)

เจ้าของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ที่ปรึกษา

อธิการบดี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

นายกสมาคมเทคโนโลยีและนวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์

สมาคมเทคโนโลยีและนวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย เกาเนียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลพงศ์ แจ่มกมล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวัฒน์ ชูวารี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.วิชาญ ช่วยพันธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล กลิ่นบุญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศรฐ์ พัฒนเดช

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.อิศรทัต พึ่งอัน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.ประยูร สุรินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

รองศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ มุฑามระ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ วรพงศ์ บุญช่วยแทน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติชัย โสจิพันธุ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้จัดทำวารสาร

ดร.สมชาย วนไทยสงค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

นายวงศธร วงศ์ดีอินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียน**กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป****ความเป็นมา**

วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า ISSN 3027 - 6500 เป็นวารสารวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ร่วมกับ สมาคมเทคโนโลยีและนวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์ (ICTA) ซึ่งมีนโยบายรับตีพิมพ์บทความคุณภาพสูงในด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม โดยเผยแพร่เป็นราย 6 เดือน ซึ่งตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับละ 8 - 12 บทความ) และ มีการดำเนินงานจัดพิมพ์บทความประเภทต่าง ๆ ได้แก่ บทความวิจัย (Research paper) บทความวิชาการ (Academic paper) และบทความปริทัศน์ (Review article)

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า เป็นบทความที่สร้างองค์ความรู้ และมีคุณภาพในทางวิชาการสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการอ้างอิงได้ เพราะผ่านการพิจารณาถ่วงดุล และประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จากหลากหลายสถาบัน อย่างน้อย 3 ท่าน ซึ่งเป็น การประเมินแบบไม่แสดงชื่อผู้แต่งและผู้ประเมิน (Double blinded) ก่อนที่จะเผยแพร่สู่สาธารณชน จึงทำให้วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า เป็นวารสารวิชาการที่มีคุณภาพ

กองบรรณาธิการ วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า จัดทำวารสารเป็นรูปเล่มฉบับสมบูรณ์และเผยแพร่ให้กับสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ทั่วประเทศไทย นอกจากนี้ยังสามารถสืบค้นเพื่ออ้างอิงหรืออ่านบทความที่เปี่ยมด้วยองค์ความรู้ได้ที่ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JTEP>

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research paper) บทความวิชาการ (Academic paper) และบทความปริทัศน์ (Review article) ที่มีคุณภาพของอาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และสาขาต่าง ๆ ที่มีการบูรณาการข้ามศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย ได้แก่

- 1.1. ด้านกระบวนการผลิตขั้นสูง
- 1.2. กรรมวิธีการแปรรูปสมัยใหม่
- 1.3. เทคโนโลยีวัสดุขั้นสูงและวัสดุศาสตร์
- 1.4. วิศวกรรมงานเชื่อมและโลหะการ
- 1.5. การวิจัยการดำเนินงานขั้นสูง
- 1.6. เทคโนโลยีและนวัตกรรม

1.7 วิศวกรรมย้อนรอยและการตรวจสอบ

2. เพื่อส่งเสริมและเป็นกลไกการขับเคลื่อนงานวิจัย ทำให้เกิดผลงานวิจัยที่เข้าไปสู่การพัฒนาต่อภาคสังคม ชุมชน อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง และนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนเพื่อต่อยอด และเกิดความเชื่อมโยงระหว่างงานวิจัย งานวิชาการ ซึ่งนำมาสู่การเกิดประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และตอบสนองต่อการพัฒนาด้านเทคโนโลยี และวิศวกรรมของประเทศไทย

นโยบายการรับบทความ

กองบรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า มีความยินดีที่จะรับบทความจากอาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ที่เขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ซึ่งผลงานที่ส่งมาขอตีพิมพ์ต้องไม่เคยเผยแพร่ในสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารอื่น

การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่าน การพิจารณา กลั่นกรองคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ และได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ

ข้อความที่ปรากฏอยู่ในแต่ละบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเล่มนี้ เป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียนแต่ละท่าน ไม่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพแต่อย่างใด ความรับผิดชอบด้านเนื้อหา และ การตรวจร่างบทความ แต่ละบทความเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน หากมีความผิดพลาดใด ๆ ผู้เขียน แต่ละท่านจะต้องรับผิดชอบบทความของตนเอง แต่ผู้เดียว

กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ให้นำเนื้อหา หรือข้อคิดเห็นใด ๆ ของบทความในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรม ก้าวหน้า ไปเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาตจากกองบรรณาธิการ อย่างเป็นลายลักษณ์อักษร ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็น ลิขสิทธิ์ของวารสาร ผู้ประสงค์จะส่งบทความกรุณาอ่านรายละเอียดการส่งบทความที่คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความ ซึ่งได้ ระบุไว้ในเล่มวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า (Online) หรือ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JTEP> และ สามารถส่ง Online ได้โดยกรอกรายละเอียดให้ครบถ้วนในระบบการส่งบทความ Online หากต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม ติดต่อได้ที่

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

E-mail: jtep.journal@mail.rmutk.ac.th

<https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JTEP>

กำหนดการเผยแพร่ ปีละ 2 ฉบับ (ทุก 6 เดือนต่อฉบับ)
ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน
ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม

การเผยแพร่ เผยแพร่ผ่านระบบออนไลน์
<https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JTEP>

สารบัญ

หน้า

ความแม่นยำของขนาดและการหดตัวของอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีนในกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ	1
Dimensional Accuracy and Shrinkage of Acrylonitrile Butadiene Styrene in 3D Printing Process	
วิชัย พุ่มจันทร์, อุไรวรรณ พงสา, อรจิตร แจ่มแสง, ภูเมศวร์ แสงระยั้บ, ประสาน แสงเขียว, พงศกร หลีตระกูล, พิสิทธิ์ เมื่อน้อย, ภาสุรีย์ ล้าสกุล, ทวี หมดสีะ	
การประยุกต์ใช้ Teachable Machine สำหรับระบบคัดแยกขวดน้ำอัตโนมัติ	13
Application of Teachable Machine for Automatic Bottle Sorting	
บพิตร ไชยนอก, ฤชานนท์ ศรีราชวงศ์	
การปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อลดต้นทุนในสายการผลิตชิ้นส่วนแผ่นยึดโครงตัวถังรถกระบะ	21
Process Improvement Semi-automatic for Reducing Cost on Chassis Frame Auto Part Pick-up Production Line	
อมรศักดิ์ มาใหญ่, สมบัติ น้อยมิ่ง, สนธยา แฝงศรีสาร, โกเมน หายม้น	
ระบบแจ้งเตือนความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โนติฟาย	33
Soil Humidity Warning System with Humidity Sensor via Line Notification	
สุพรรณษา พันธุ์นอม, นันทพร มนต์โยธิน, รุ่งฤดี พงศ์ยี่หล้า, พีรณัฐ ทาประเสริฐ, ชาศกริต มลิวัลย์, สงกรานต์ จรรจลานิมิตร	
ปัจจัยที่ส่งผลต่อความลึกในการแกะสลักด้วยเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับวัสดุอะคริลิก (กรณีศึกษา)	43
Factors Affecting the Depth in CO ₂ Laser Engraving for Acrylic Material (Case Study)	
เจษฎา แก้ววิจิตร, มลรัตน์ แซ่อ่อง, สัญญา คำจริง	
การเปรียบเทียบผิวรอยกัดของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20 ด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติแบบ 3 และ 5 แกน	56
Comparison of Machining Surface of Mold Steel AISI-P20 in 3 and 5-Axis CNC Milling Machines	
ฐานทัพ นนท์ตุลา, ปิยะพงษ์ คำคุณ, สุทธิลักษณ์ พิลา, สมพร ปิยะพันธ์, โอริส มณีสาย	
เครื่องต้นแบบการวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์	65
A prototype machine for measuring water levels in fish ponds using an ultrasonic sensor	
ภูษิตา พึ่งและ, พันธิตรา อัญญโพธิ์, คณาธิป รื่นเริง, มุคลิก ชารีฟ, อนุชมา รูปแก้ว, สงกรานต์ จรรจลานิมิตร	
การตรวจสอบขนาดของรองเท้าเพื่อสุขภาพโดยการประยุกต์ใช้วิศวกรรมย้อนรอย (กรณีศึกษา)	76
To Check Size of Healthy Shoe by Applying Reverse Engineering (Case Study)	
ธงชัย เพ็งจันทร์ดี, บุญส่ง จงกลณี, เอกพล ทับพร	

ความแม่นยำของขนาดและการหดตัวของอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน ในกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ

Dimensional Accuracy and Shrinkage of Acrylonitrile Butadiene Styrene in 3D Printing Process

วิชัย พุ่มจันทร์, อุไรวรรณ พงสา, อรจิตร แจ่มแสง, ภูเมศวร์ แสงระยับ, ประสาน แสงเขียว,

พงศกร หลีตระกูล, พิสิษฐ์ เมืองน้อย, ภาสุรีย์ ล้ำสกุล และ ทวี หมดสี*

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

กม. 242 ถนนเพชรเกษม อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110

Wichai Pumchan, Uraivan Pongsa, Orajit Jamesang, Phoometh Sangrayub, Prasan Saengkhaio,

Pongakorn Leetrakul, Phisith Muangnoy, Pasuree Lumsakul and Tavee Madsa*

Department of Industrial and Production Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Rattanakosin Wong Klai Kang Won Campus

Km 242, Petchkasem Road, Hua Hin, Prachuap Khiri Khan 77110

*Corresponding author Email: tavee.mad@rmutr.ac.th

(Received: October 18, 2024 / Revised: December 22, 2024 / Accepted: December 24, 2024)

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน การพิมพ์ 3 มิติ มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว การสร้างชิ้นส่วนที่มีความแม่นยำของขนาดมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการผลิตชิ้นส่วนขนาดใหญ่หรือชิ้นส่วนประกอบที่ต้องการขนาดพอดีกัน ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงนำเสนอเกี่ยวกับผลกระทบของเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุต่อความแม่นยำของขนาดและการหดตัวของชิ้นงานที่พิมพ์จากวัสดุอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (ABS) การตรวจวัดขนาด 3 มิติ ใช้เครื่องสแกนตรวจวัดชิ้นงาน 3 มิติ และซอฟต์แวร์ GOM Inspect ในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุ ABS รูปแบบเส้น เป็นวัสดุในการพิมพ์ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร หัวฉีดขนาด 0.4 มิลลิเมตร ชิ้นงานทดสอบทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สูง 25 มิลลิเมตร ใช้รูปแบบการเติมเนื้อวัสดุแบบลูกบาศก์ อุณหภูมิในการพิมพ์ 230 องศาเซลเซียส และความเร็วในการเติมเนื้อวัสดุ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 5 ระดับ คือ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% จากผลการศึกษาพบว่าสามารถพิมพ์ชิ้นงานได้รูปทรงตามต้องการ มีค่าพิสัยความกลมและพิสัยความเป็นทรงกระบอกใกล้เคียงกัน ชิ้นงานที่ได้ในทุกตัวแปรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าขนาดที่กำหนด ที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่ำ เกิดการหดตัวสูงและมีค่าความหนาแน่นน้อย ทำให้ความแม่นยำของขนาดน้อย เมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น เกิดการหดตัวน้อยลงและมีค่าความหนาแน่นสูงขึ้น ทำให้ความแม่นยำของขนาดเพิ่มสูงขึ้น

คำสำคัญ: การพิมพ์ 3 มิติ, อะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน, การหดตัว, ความแม่นยำของขนาด

Abstract

Nowadays, 3D printing is widely used in rapid prototyping. The dimensional accuracy of printed parts is very important for producing large-size assemblies or parts that need to precisely fit together. Thus, the effect of infill level on the dimensional accuracy and the shrinkage of the printed parts from Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) was investigated in this research. Three dimensional measurement was carried out using the optical 3D measuring machine and GOM inspect software. The ABS filaments having a diameter of 1.75 mm were used as raw material for 3D printing. The nozzle diameter is 0.4 mm. The cylindrical specimens of 25 mm diameter and 25 mm height were created with cubic infill pattern at the printing temperature of 230 °C and the printing speed of 30 mm/sec. There were 5 levels of infill including 20%, 40%, 60%, 80% and 100%. As the results, it was found that all specimens were successfully printed with the desired shape. Their values of circularity and cylindricity were similar. The diameter of printed specimens was smaller than the set value for all parameters. At low percentage of infill, high shrinkage and low density was observed which could result in large dimensional accuracy tolerance. With increasing the percentage of infill, lower shrinkage and higher density were obtained, leading to higher dimensional accuracy.

Keywords: 3D Printing, Acrylonitrile Butadiene Styrene, Shrinkage, Dimensional Accuracy

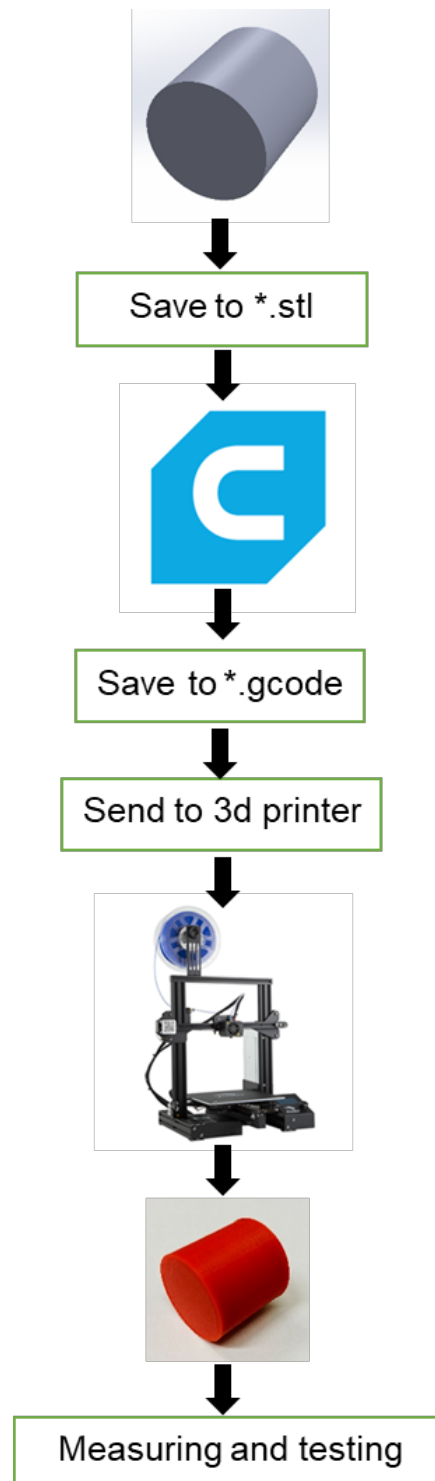
1. บทนำ

ในปัจจุบัน การพิมพ์ 3 มิติ (3D Printing) ได้รับความนิยมมากขึ้นและมีการใช้งานอย่างหลากหลาย เนื่องจากสามารถช่วยลดต้นทุนและระยะเวลาในการจะส่งพิมพ์โมเดลเฉพาะแบบ ลดค่าใช้จ่ายในการสร้างแม่พิมพ์ต้นแบบ และสามารถสร้างชิ้นงานต้นแบบ ชิ้นส่วนทดแทนและผลิตภัณฑ์พลาสติกได้หลากหลายรูปแบบ อาทิ ชิ้นงานที่เป็นของเล่น ของใช้ในครัวเรือน ชิ้นส่วนทดแทนในงานอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วน ไปจนถึงอุตสาหกรรมทางการแพทย์ การผ่าตัด และทันตกรรม [1] ซึ่งคาดการณ์ว่าเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ จะถูกนำมาใช้ผลิตชิ้นงานเพื่อมาทดแทนชิ้นงานได้จากกระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) สำหรับวัสดุที่ใช้ในการพิมพ์นั้นมีหลายชนิด เช่น อะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS) ไนลอน (Nylon) พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต ไกลคอล (Polyethylene Terephthalate Glycol, PETG) พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate, PC) พอลิเอไมด์ (Polyamide, PA) และพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เป็นต้น [2] สำหรับงานวิจัยนี้สนใจวัสดุ ABS เนื่องจาก ABS เป็นพลาสติกวิศวกรรมที่นิยมใช้เป็นวัสดุพื้นฐานในกระบวนการพิมพ์แบบ 3 มิติ และนิยมใช้ในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ทางไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์ของเล่น [3] จากการสืบค้นงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบของตัวแปรหรือสภาวะในกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ ที่มีต่อสมบัติทางกลของชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ เช่น A. Dey et al. [4] ได้ทำการทดลองเพื่อหาตัวแปรที่ดีที่สุดสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ ได้แก่ ความหนาของชั้น การวางแนวของวัสดุ เฟอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ อุณหภูมิในการพิมพ์ สำหรับวัสดุ PLA พบว่าตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อความต้านทานแรงกดของชิ้นงานทดลอง และเวลาในการพิมพ์ชิ้นงาน ยิ่งใช้เวลาในการพิมพ์ ยิ่งทำให้มีความต้านทานแรงกดสูง เพราะความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น ส่วนด้านในชิ้นงานมีเนื้อวัสดุอัดแน่นอยู่เป็นจำนวนมาก ในขณะที่ B. Rankouhi et al. [5] วิเคราะห์ความเสียหายและสมบัติทางกลของ ABS ที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยพิจารณาตัวแปรในการทดลอง คือ ความหนาของชั้น ทิศทางการพิมพ์ ความเร็วในการพิมพ์ และอุณหภูมิของฐานพิมพ์ ที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 100% และอุณหภูมิการพิมพ์ 230 องศาเซลเซียส พบว่าทิศทางการพิมพ์ที่ 0 องศา ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดในทุกตัวแปร เพราะทิศทางการพิมพ์ขนานกับแนวของแรงทำให้ชิ้นงานมีความต้านทานแรงดึงได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ H. Dave et al. [6] นำเสนอผลกระทบของรูปแบบการเติมเนื้อวัสดุต่อความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ ใช้วัสดุเป็น PLA และ ABS โดยกำหนดเปอร์เซ็นต์ของการเติม

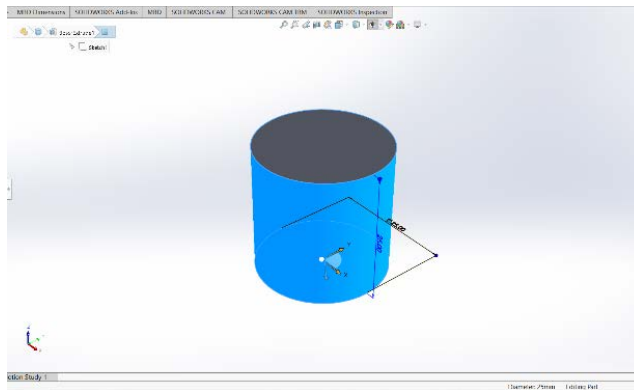
เนื้อวัสดุ 30%, 60% และ 90% ทิศทางการพิมพ์เป็นมุม 0 องศา และ 45 องศา พบว่าการพิมพ์ในทิศทาง 0 องศา ทิศทางขนานกับแรง ที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุเท่ากับ 90% ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงถึง 40 เมกกะปาสกาล และ 30 เมกกะปาสกาล สำหรับ PLA และ ABS ตามลำดับ ในงานวิจัยของ A. M. Abdullah et al. [7] นำเสนอผลกระทบของเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ ABS ที่ 70%, 80%, 90% และ 100% ที่อุณหภูมิในการพิมพ์ 230 องศาเซลเซียส ความเร็วในการพิมพ์ 90 มิลลิเมตรต่อวินาที ความหนาของชั้นการพิมพ์ 0.2 มิลลิเมตร พบว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงกดมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 100% ให้ค่าความต้านทานแรงกดสูงสุดเท่ากับ 120 เมกกะปาสกาล จากผลการศึกษาของ P. Žur et al. [8] กล่าวว่า การพิมพ์วัสดุ ABS ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส และเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 100% ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงถึง 34.02 เมกกะปาสกาล และมีค่าความต้านทานแรงดัดลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุลดลง มีค่าต่ำสุดคือ 18.16 เมกกะปาสกาล ที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 10% จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุมีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน B. Akhoundi และ A. H. Behravesht [9] นำเสนอผลกระทบของแบบการเติมเนื้อวัสดุ PLA ที่มีต่อสมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและการดัดของชิ้นงานที่ได้จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 20%, 50% และ 100% พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุสูงขึ้น จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงและการดัดสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ K. Alvarez et al. [10] ได้ศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่อสมบัติทางกลของชิ้นส่วนที่ผลิตจาก ABS โดยใช้การเติมเนื้อวัสดุแบบหกเหลี่ยม (Hexagonal) พบว่าเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 100% ให้ค่าความต้านทานแรงดึงและแรงกระแทกสูงสุด เมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุสูงขึ้น ทำให้แบบของการเติมเนื้อวัสดุมีขนาดของรูปร่างเล็กลงเรียงตัวกันอัดแน่นทำให้ไม่เกิดช่องว่างในเนื้อวัสดุ จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะสังเกตเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ การใช้เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุสูง จะทำให้ชิ้นส่วนที่พิมพ์ได้มีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น แต่ก็ต้องใช้ระยะเวลาในการกระบวนการพิมพ์นานขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่ออัตราการผลิตและต้นทุนการผลิตอีกด้วย นอกจากนี้ ยังไม่มีงานวิจัยที่นำเสนอผลกระทบของเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุที่มีต่อความแม่นยำของขนาดของชิ้นงานที่ได้จากการพิมพ์ 3 มิติ การใช้เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุที่แตกต่างกันนั้นมีความแม่นยำของขนาดมากน้อยเพียงใด ซึ่งความแม่นยำของขนาดของชิ้นงานมีความสำคัญสำหรับการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่มีความละเอียดแม่นยำสูงที่ใช้ในงานเชิงวิศวกรรม หรือในงานทันตกรรมที่ต้องใช้การผลิตโมเดลแบบเฉพาะ ต้องการความแม่นยำสูง และมีความละเอียดมาก เช่น การพิมพ์โมเดลต้นแบบหรือการพิมพ์โมเดลตัวอย่างฟันของคนไข้เพื่อสร้างชิ้นส่วนฟันปลอมหรือที่ครอบฟัน เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความแม่นยำของขนาดของชิ้นงานวัสดุอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS) ที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% เพื่อเป็นข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนต้นแบบและการผลิตชิ้นส่วนสำหรับอุตสาหกรรม การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ในอนาคตต่อไป

2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

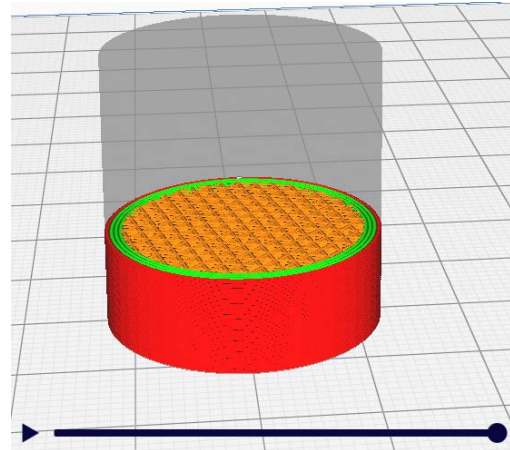
รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานในงานวิจัยนี้ การออกแบบโมเดล 3 มิติของชิ้นงานทดลองทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร และสูง 25 มิลลิเมตร ด้วยซอฟต์แวร์ SolidWorks แสดงดังรูปที่ 2 ทำการบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์นามสกุล *.stl จากนั้นใช้โปรแกรม Ultimaker Cura เพื่อแปลงโมเดล 3 มิติที่อยู่ในรูปของไฟล์นามสกุล *.stl ไปเป็น G-Code โดยโปรแกรมจะทำการตัดโมเดล 3 มิติ เป็นแผ่นบาง (Slice) คล้ายแผ่นกระดาษที่อยู่ในลักษณะ 2 มิติ เรียงกันเป็นชั้น ๆ ตามรูปแบบของโมเดลที่กำหนด ซึ่งโปรแกรมจะสร้าง G-Code ขึ้นเพื่อกำหนดตำแหน่งพิกัด x, y ของหัวฉีดในการพิมพ์ชิ้นงานแต่ละชั้น โดยกำหนดค่าสถานะของตัวแปรต่าง ๆ ในการพิมพ์ 3 มิติ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 5 ระดับ คือ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ทำการบันทึกโปรแกรมและส่งไปยังเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Creality 3D Ender-3 ขนาด 220 x 220 x 250 มิลลิเมตร ความแม่นยำ ± 0.01 มิลลิเมตร ขนาดหัวฉีด 0.4 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4 วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็น ABS เกรด GP450 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร ในแต่ละการทดลอง ทำการพิมพ์ชิ้นงานทดสอบ จำนวนอย่างน้อย 5 ชิ้น



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 2 การสร้างโมเดล 3 มิติ ของชิ้นงานทดลอง
ด้วยโปรแกรม SolidWorks



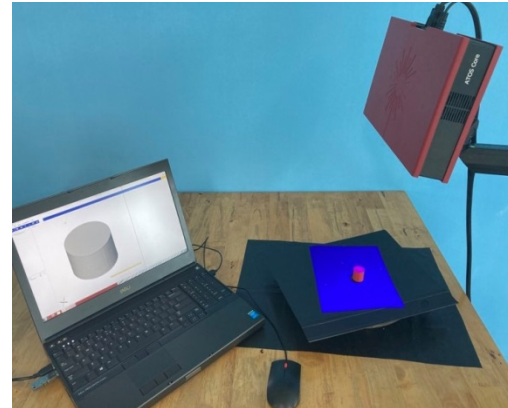
รูปที่ 3 การแปลงโมเดล 3 มิติ ไปเป็น G-Code
ด้วยโปรแกรม Ultimaker Cura

ตารางที่ 1 ค่าสถานะของตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม Ultimaker Cura

Layer Height	0.2 มิลลิเมตร
Wall Thickness	0.8 มิลลิเมตร
Wall Line Count	2
Top/Bottom Thickness	0.8 มิลลิเมตร
Top	0.8 มิลลิเมตร
Top Layers	4 ชั้น
Bottom	0.8 มิลลิเมตร
Bottom Layers	4 ชั้น
Infill Density	20, 40, 60, 80, 100%
Fill Pattern	ลูกบาศก์ (Cubic)
Printing Temperature	230 องศาเซลเซียส
Build Plate Temperature	100 องศาเซลเซียส
Printing Speed	30 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ 4 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ



รูปที่ 5 เครื่องสแกนตรวจวัดชิ้นงาน 3 มิติ

การตรวจสอบขนาดของชิ้นงานทดสอบ จำนวนอย่างน้อย 5 ชิ้น ด้วยเครื่องสแกนตรวจวัดชิ้นงาน 3 มิติ (Optical 3D Measuring Machine) ยี่ห้อ ATOS Core Series 3-D Scanner รุ่น 300 แสดงในรูปที่ 5 ตรวจวัดขนาดของชิ้นงาน (3D Measuring) โดยไม่ทำลายชิ้นงานและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสแกนแบบ 3 มิติ โดยใช้ซอฟต์แวร์ GOM Inspect เพื่อตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง พิกัดความกลม และพิกัดความเป็นทรงกระบอกของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้

จากนั้นนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานตัวอย่างดังสมการที่ (1)

$$S\% = \left(1 - \frac{\Delta d}{d}\right) \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ $S\%$ = เปอร์เซ็นต์การหดตัว

Δd = ขนาดชิ้นงานที่พิมพ์ได้ (มิลลิเมตร)

d = ขนาดชิ้นงานที่กำหนด (มิลลิเมตร)

การทดสอบหาความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ของชิ้นงานทดสอบ จำนวนอย่างน้อย 5 ชิ้น วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องสแกนตรวจวัดชิ้นงาน 3 มิติ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo แล้วคำนวณหาความหนาแน่นรวมได้ดังสมการที่ (2)

$$D = \frac{m}{V} \quad (2)$$

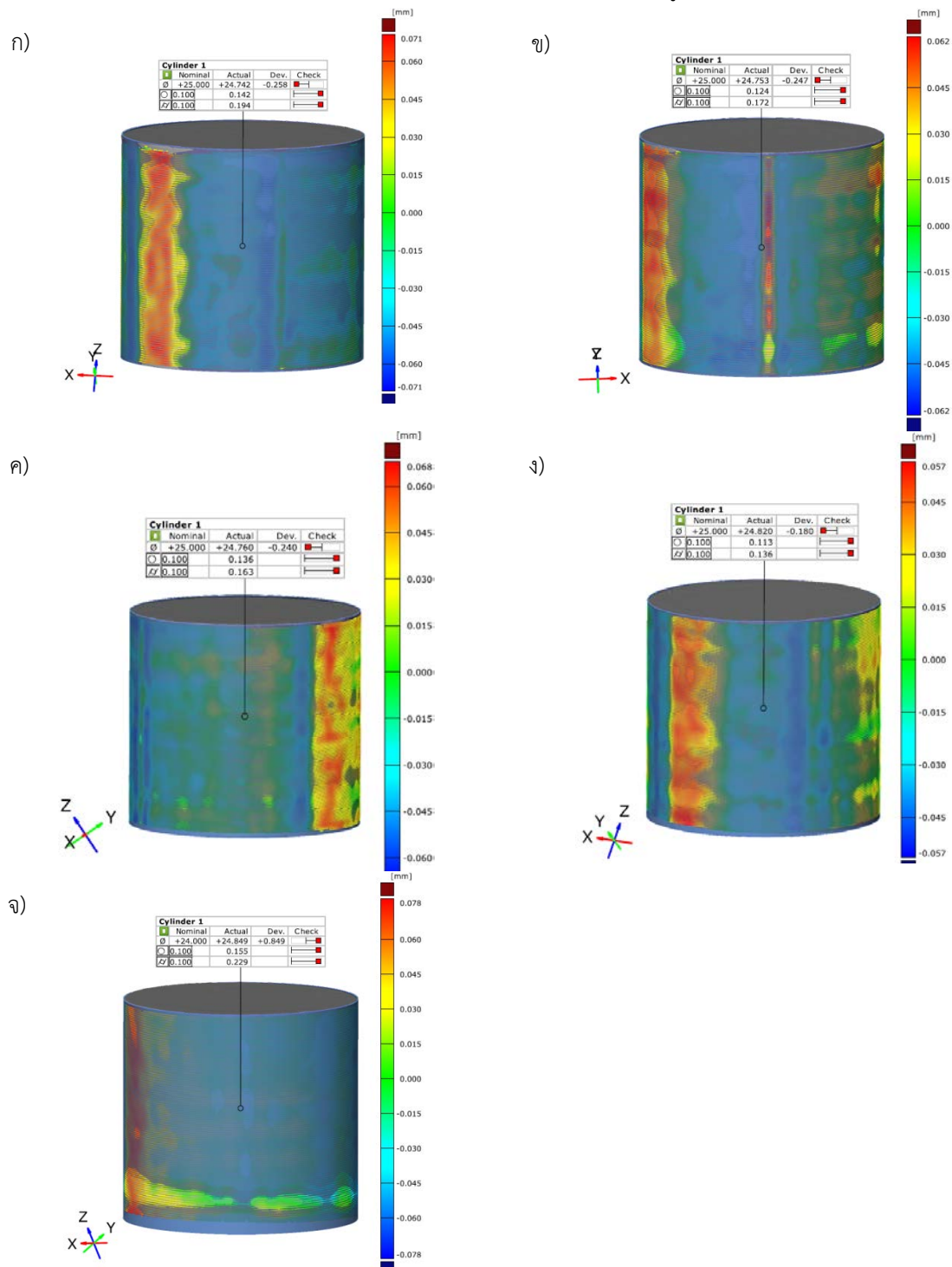
โดยที่ D = ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

m = มวล (กรัม)

V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

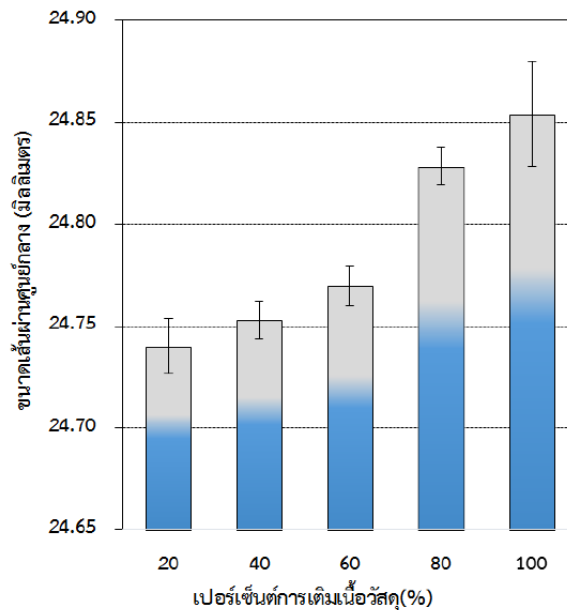
3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

รูปที่ 6 แสดงผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่อลักษณะ 3 มิติ ของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้ ซึ่งผ่านการตรวจวัดขนาดด้วยเครื่องสแกนตรวจวัดชิ้นงาน 3 มิติ และตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยซอฟต์แวร์ GOM Inspect



รูปที่ 6 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่อลักษณะของชิ้นงานทดสอบที่ตรวจวัดและตรวจสอบขนาดด้วยเครื่องสแกนตรวจวัดชิ้นงาน 3 มิติ และซอฟต์แวร์ GOM Inspect

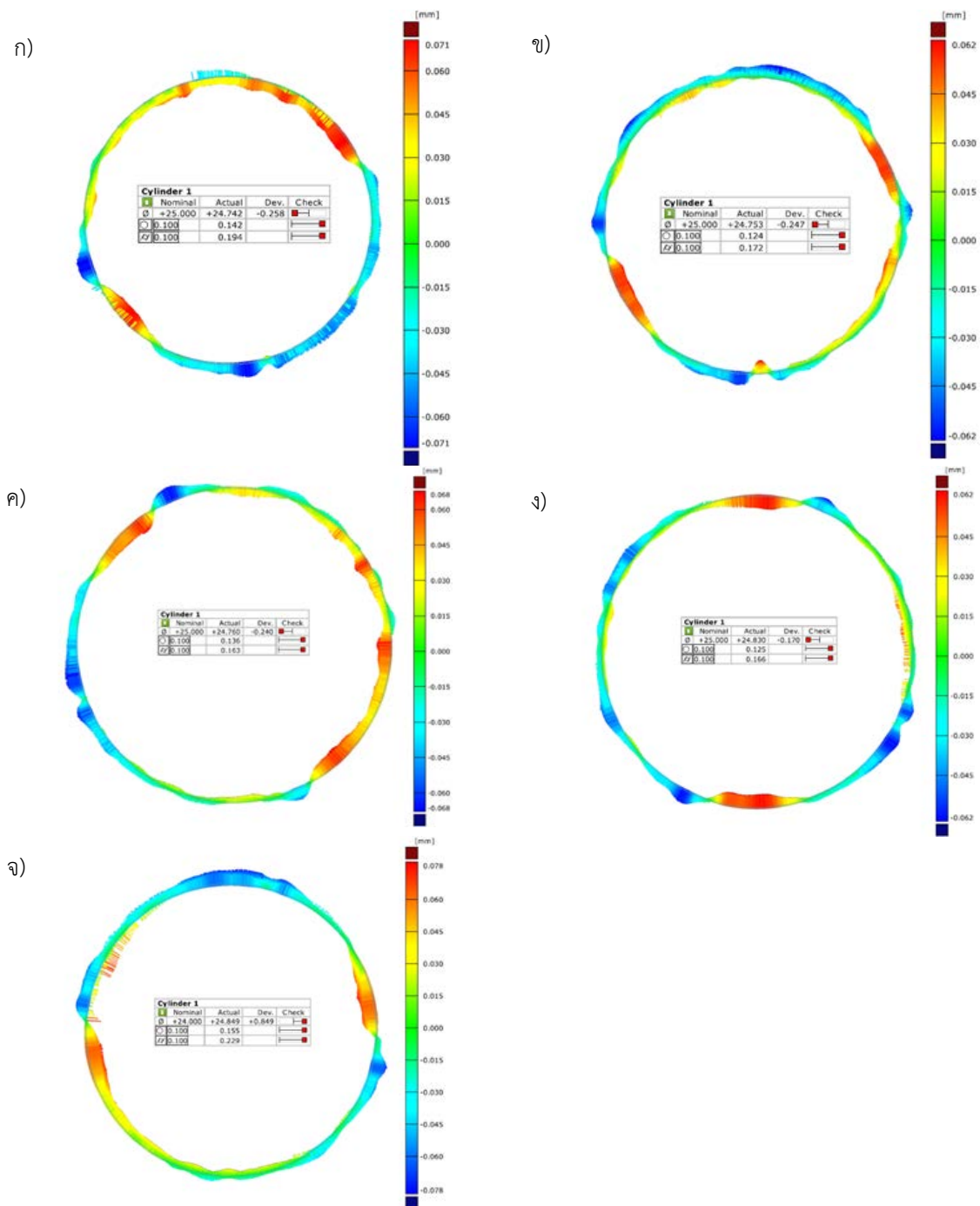
ก) 20% ข) 40% ค) 60% ง) 80% จ) 100%



รูปที่ 7 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้

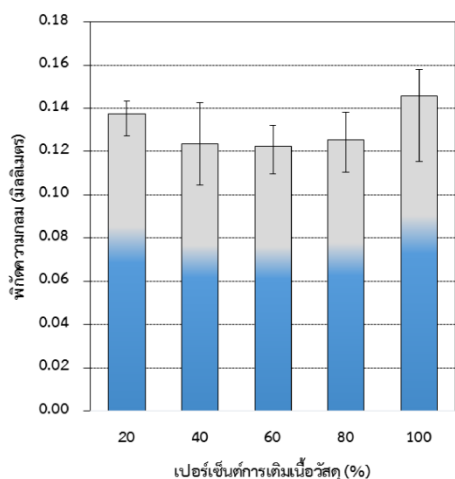
พบว่าชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าขนาดที่กำหนด ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตรวจสอบได้มีค่าอยู่ในช่วง 24.74-24.85 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 7 เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต้องการมากขึ้น โดยที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 20% ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบที่ตรวจสอบได้มีขนาดเล็กที่สุดมีค่าเฉลี่ย 24.74 มิลลิเมตร คิดเป็นความคลาดเคลื่อน 1.04% ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 100% ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบที่ตรวจสอบได้มีค่าเฉลี่ย 24.85 มิลลิเมตร คิดเป็นความคลาดเคลื่อน 0.6% มีค่าใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการมากที่สุด ซึ่งความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุที่สูงขึ้น ทำให้เนื้อวัสดุอัดแน่นมากขึ้นและช่องว่างในเนื้อวัสดุน้อยลง ส่งผลทำให้วัสดุเกิดการหดตัวน้อยลง ขนาดที่ได้จึงมีความค่าใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการมากขึ้น

ผลการตรวจสอบพิถีความกลมและพิถีความเป็นทรงกระบอกของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้ ที่ผ่านการตรวจสอบด้วยซอฟต์แวร์ GOM Inspect แสดงดังรูปที่ 8 ในการตรวจสอบได้กำหนดพิถีความกลมและพิถีความเป็นทรงกระบอกไว้ที่ 0.1 มิลลิเมตร ผลที่ได้จากค่าเฉลี่ยในการตรวจสอบพิถีความกลม แสดงดังรูปที่ 9 พิกัดความกลมมีค่าอยู่ในช่วง 0.12-0.14 มิลลิเมตร ซึ่งผลของทุกค่าตัวแปรอยู่นอกค่าที่กำหนด สำหรับค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจสอบพิถีความเป็นทรงกระบอกแสดงดังรูปที่ 10 ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 0.15-0.22 มิลลิเมตร จะเห็นว่าอยู่นอกพิถีความเป็นทรงกระบอกที่กำหนดเช่นเดียวกัน ค่าพิถีที่ได้ที่อยู่นอกพิถีที่กำหนดนี้ มีหลากหลายปัจจัยมาก ทั้งตัวเครื่อง วัสดุ เฟิร์มแวร์ (Firmware) ไฟเจอร์ของโมเดลสามมิติ แต่หลักๆ ต้องไปแก้ไขในเฟิร์มแวร์ [11] ทำให้ค่าพิถีความกลมและพิถีความเป็นทรงกระบอกเกินค่าที่กำหนด การปรับค่าเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุส่งผลทำให้พิถีความกลมและพิถีความเป็นทรงกระบอกมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน โดยพบว่าที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 100% มีค่าพิถีความกลมและพิถีความเป็นทรงกระบอกเกินค่าที่กำหนดมากที่สุด ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 60% ให้มีค่าพิถีความกลมและพิถีความเป็นทรงกระบอกใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดมากที่สุด อาจเพราะการหดตัวของชิ้นงาน ที่ขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการพิมพ์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือการเย็นตัวของวัสดุในขณะพิมพ์ ซึ่งที่นำเสนอเกี่ยวกับการหดตัวของวัสดุได้นำเสนอไว้ [12]

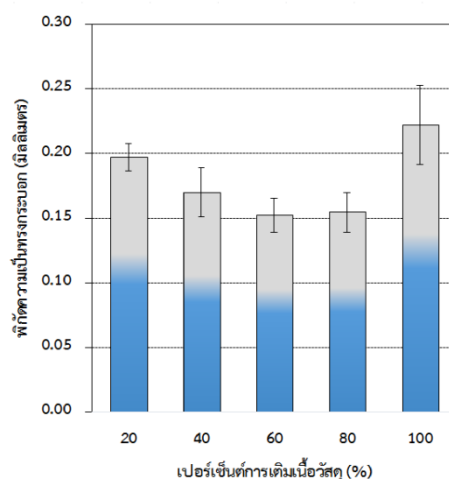


รูปที่ 8 ผลการผ่านตรวจสอบพิกัดความกลมและพิกัดความเป็นทรงกระบอกด้วยซอฟต์แวร์ GOM Inspect

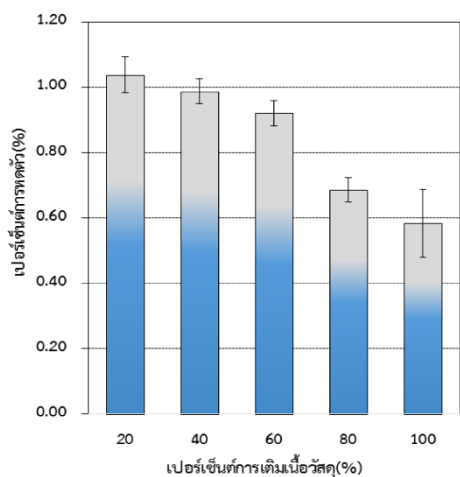
ก) 20% ข) 40% ค) 60% ง) 80% จ) 100%



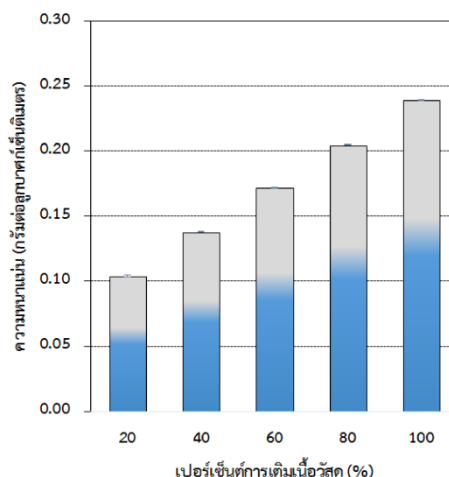
รูปที่ 9 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมน้ำวุ้นต่อพิกัดความกลม



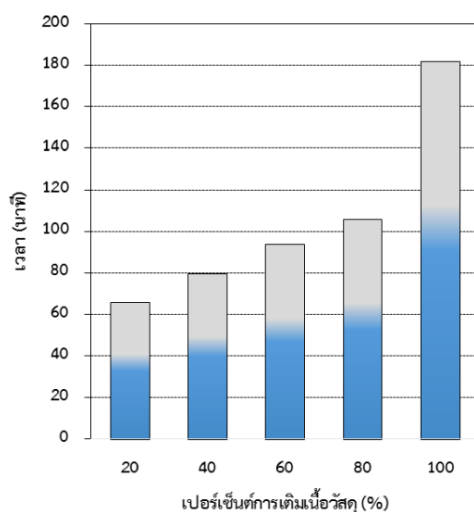
รูปที่ 10 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมน้ำวุ้นต่อพิกัดความเป็นทรงกระบอก



รูปที่ 11 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมน้ำวุ้นต่อเปอร์เซ็นต์การหด



รูปที่ 12 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมน้ำวุ้นต่อความหนาแน่นรวมของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้



รูปที่ 13 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมน้ำวุ้นต่อเวลาที่ใช้ในการพิมพ์

รูปที่ 11 แสดงผลของการคำนวณเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้ที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่าง ๆ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าอยู่ในช่วง 1.03-0.58 เปอร์เซ็นต์ของการหดตัวมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น การเติมเนื้อวัสดุ 20% ชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.03 ส่วนการเติมเนื้อวัสดุ 100% ชิ้นงานทดสอบมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำที่สุด โดยมีค่าลดลงเหลือเพียง 0.58 คาดว่าเกิดจากเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุที่เพิ่มทำให้ไม่เกิดช่องว่างภายในเนื้อวัสดุทำให้การหดตัวลดลง แต่การหดตัวก็ยังคงมีเพราะการพิมพ์ชิ้นงานโดยใช้ความร้อนในการทำให้วัสดุพลาสติกในการพิมพ์อ่อนตัว เมื่อวัสดุเย็นตัวลงทำให้ชิ้นงานหดตัวลง ซึ่งลักษณะการเย็นตัวของชิ้นงานนี้อาจมีลักษณะเดียวกับชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบฉีด [12] ผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับผลการตรวจสอบขนาดของชิ้นงานทดสอบ เปอร์เซ็นต์การหดตัวที่สูงของวัสดุจะเป็นสาเหตุทำให้ขนาดของชิ้นงานทดสอบเกิดความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นตามไปด้วย

นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบความหนาแน่นรวมของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้ แสดงดังรูปที่ 12 พบว่าค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 0.10-0.24 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่อเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุเพิ่มสูงขึ้น ที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 100% ชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้มีค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.24 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มสูงขึ้น 140% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นรวมของชิ้นงานทดสอบที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 20% คาดว่าความหนาแน่นของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้นี้มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานทดสอบ โดยจะสังเกตเห็นที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 20% ชิ้นงานทดสอบมีค่าความหนาแน่นต่ำ ทำให้เกิดการหดตัวสูง จึงส่งผลให้ขนาดของชิ้นงานทดสอบที่ตรวจสอบได้ที่ค่าความคลาดเคลื่อนสูง

เวลาในการพิมพ์เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในการอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนเนื่องจากส่งผลต่ออัตราการผลิตและต้นทุน ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่อระยะเวลาที่ใช้ในการพิมพ์อีกด้วย แสดงดังรูปที่ 13 สำหรับการพิมพ์ชิ้นงานทดสอบรูปร่างทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร และสูง 25 มิลลิเมตร พบว่าการใช้เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุต่ำจะใช้เวลาในการพิมพ์น้อย เมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุสูงขึ้น เวลาในการพิมพ์จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ของการเติมเนื้อวัสดุ 20% ใช้เวลาในการพิมพ์ประมาณ 66 นาที แต่เมื่อเพิ่มการเติมเนื้อวัสดุเป็น 100% ต้องใช้เวลาในการพิมพ์นานขึ้นเป็น 182 นาที ซึ่งเวลาในการพิมพ์เพิ่มสูงขึ้นถึง 176% หรือใช้เวลานานกว่าประมาณ 3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาในการพิมพ์ที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 20% ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ [13],[14] ที่ได้นำเสนอบทความเรื่องการสร้างแบบจำลองแนวทางการผ่าตัดช่องปากและขากรรไกรหน้า ด้วยการพิมพ์ชิ้นงานจากวัสดุ ABS, PLA และHIPS แสดงให้เห็นถึงผลของเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ ที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุที่ต่ำ เวลาในการพิมพ์น้อย ที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุสูง เวลาในการพิมพ์ใช้เวลานาน

4. สรุป

จากการทดลองศึกษาความแม่นยำของขนาดและการหดตัวของอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (ABS) ในตัวแปรที่กำหนดคือเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ สามารถสรุปได้ว่า เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุในการพิมพ์ 3 มิติ มีผลต่อขนาดการหดตัว และความหนาแน่นของชิ้นงาน ABS เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่ำ ทำให้เกิดการหดตัวสูง ความแม่นยำของขนาดน้อยและชิ้นงานที่พิมพ์ได้มีความหนาแน่นต่ำ เมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการหดตัวต่ำลง ความแม่นยำของขนาดเพิ่มสูงขึ้น และความหนาแน่นของชิ้นงานสูงเพิ่มสูงขึ้น โดยที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 100% ชิ้นงานที่พิมพ์ได้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดที่กำหนดที่สุด ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 24.85 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นต์การหดตัว 0.58% ดังนั้น สำหรับคำแนะนำในการออกแบบชิ้นงานสำหรับการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้วัสดุ ABS นั้น ควรต้องกำหนดขนาดบวกค่าความเผื่อการหดตัวประมาณ 0.58% เพื่อที่จะให้ได้ขนาดที่ต้องการ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. J. Lopes, M. A. Perez, D. Espalin, and R. B. Wicker, "Comparison of ranking models to evaluate desktop 3D printers in a growing market," *Additive Manufacturing*, vol. 35, p. 101291, Oct. 2020.
- [2] B. Diallo. (2021, Nov 5) . 3D Printer Filament Types. [Online] . Available: <https://www.lpfrg.com/guides/3d-printer-filament-types/>
- [3] J. White. (2021, Nov 5). How LEGO perfected the recycled plastic brick. [Online]. Available: <https://www.wired.co.uk/article/recycled-lego-brick>
- [4] A. Dey, D. Hoffman, and N. Yodo, "Optimizing multiple process parameters in fused deposition modeling with particle swarm optimization," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 14, pp. 393-405, Jun. 2020.
- [5] B. Rankouhi, S. Javadpour, F. Delfanian, and T. Letcher, " Failure Analysis and Mechanical Characterization of 3D Printed ABS With Respect to Layer Thickness and Orientation," *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol. 16, May. 2016.
- [6] H. Dave, B. Patel, S. Rajpurohit, A. Prajapati, and D. Nedelcu, "Effect of multi-infill patterns on tensile behavior of FDM printed parts," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 43, Jan. 2021.
- [7] A. M. Abdullah, D. Mohamad, T. N. A. T. Rahim, H. M. Akil, and Z. A. Rajion, "Effect of narrow infill density gap on the compressive properties of 3D printed carbon fibre reinforced acrylonitrile butadiene styrene," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 33, pp. 2339-2343, May. 2019.
- [8] P. Žur, A. Žur, A. Baier, and G. Kokot, "Optimization of Abs 3D-Printing Method and Parameters," *European Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 3, pp. 44-51, Mar. 2020.
- [9] B. Akhoundi and A. H. Behraves, "Effect of Filling Pattern on the Tensile and Flexural Mechanical Properties of FDM 3D Printed Products," *Experimental Mechanics*, vol. 59, pp. 883-897, Jan. 2019.
- [10] K. Alvarez, R. Lagos, and M. Aizpun, "Investigating the influence of infill percentage on the mechanical properties of fused deposition modelled ABS parts," *Ingeniería e Investigación*, vol. 36, pp. 110-116, Dec. 2016
- [11] Admin. (2019, Aug 31) . Wrong dimension. [Online] . Available: <https://www.sync-innovation.com/troubleshooting/problem-fdm-3d-printer/>
- [12] P. Kankaew, "A study of shrinkage percentage acrylonitrile butadiene styrene based on the ASTM D955 standard test method," *RMUTP Research Journal*, vol.12, pp. 148-157, Jul. 2018.
- [13] C. Studders, I. Fraser, J. W. Giles, and S. M. Willerth, "Evaluation of 3D-printer settings for producing personal protective equipment," *Journal of 3D printing in medicine*, vol. 5, pp. 133-144, Aug. 2021.
- [14] M. Adhitya, S. Sunarso, and A. Muis, "Comparison of Popular Three-Dimensional Printing Materials for Oral and Maxillofacial Surgical Guidance Model," *Journal of Dentistry Indonesia*, vol. 27, pp. 158-163, Dec. 2020.

การประยุกต์ใช้ Teachable Machine สำหรับระบบคัดแยกขวดน้ำอัตโนมัติ

Application of Teachable Machine for Automatic Bottle Sorting

บพิตร ไชยนอก* และ ฤชานนท์ ศรีรางวัลค์

สาขาวิชานวัตกรรมควบคุมอัจฉริยะ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

85 ถนนมาลัยแมน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

Bopit Chainok* and Ruchanon Srirawong

Department of Intelligent Control Innovation, Faculty of Science and Technology,

Nakhon Pathom Rajabhat University

85 Malaiman Road, Mueang District, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

*Corresponding author Email: bopitch@npru.ac.th

(Received: August 31, 2024 / Revised: December 04, 2024 / Accepted: December 07, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พัฒนาระบบคัดแยกประเภทขวดน้ำอัตโนมัติ โดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อแก้ปัญหาการใช้แรงงานคนในการคัดแยกขยะ ใช้เทคนิค Teachable machine ในการจำแนกประเภทของขวดน้ำ ได้แก่ ขวดพลาสติก ขวดแก้ว กล่องกระดาษ และกระป๋องอะลูมิเนียม รองรับขวดขนาดไม่เกิน 1.5 ลิตร เก็บข้อมูลการคัดแยก และแสดงสถิติบนเว็บไซต์เซิร์ฟเวอร์ ผลการทดลองพบว่าสามารถคัดแยกประเภทขวดน้ำสามารถจำแนกประเภทของขวดน้ำได้อย่างแม่นยำ โดยมีอัตราความถูกต้องเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 95% ระบบสามารถประมวลผลภาพและจำแนกประเภทขวดน้ำได้ภายในเวลาไม่ถึง 1 วินาทีต่อขวด ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่มีประสิทธิภาพสูง

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ, การเรียนรู้ของเครื่อง, ขวดน้ำ, จำแนก, การทำนาย

Abstract

This research developed an automatic water bottle classification system using image processing and machine learning technologies to address the issue of manual labor in waste sorting. The system employs the Teachable Machine technique to classify water bottles into categories such as plastic bottles, glass bottles, paper cartons, and aluminum cans. Supporting bottles up to 1.5 liters, the system stores sorting data and displays statistics on a web server. Experimental results showed an average accuracy rate of approximately 95%, with processing times under 1 second per bottle, indicating high efficiency.

Keywords: Image Processing, Machine Learning, Classification, Prediction

1. บทนำ

ปัจจุบัน ปัญหาขยะพลาสติกในประเทศไทยได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง โดยจากสถิติของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในปี พ.ศ. 2566 พบว่าประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกประมาณร้อยละ 12 ของขยะทั้งหมด หรือประมาณ 2 ล้านตันต่อปี โดยมีการนำกลับมาใช้ประโยชน์เพียงประมาณ 0.5 ล้านตัน (ร้อยละ 25) ขณะที่ส่วนที่เหลืออีก 1.5 ล้านตัน (ร้อยละ 75) เป็นพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (Single-use plastics) ที่ไม่ได้มีการนำกลับมาใช้ใหม่ และถูกทิ้งเป็นขยะมูลฝอยในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ [1] นอกจากนี้ ในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ประชาชนมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการสั่งซื้อสินค้าและอาหารผ่านระบบออนไลน์มากขึ้น ทำให้การคัดแยกขยะมูลฝอยเพื่อนำไปรีไซเคิลลดลง ซึ่งส่งผลให้ปัญหาขยะยังคงไม่ได้รับการแก้ไขอย่างมั่นคงและยั่งยืน สำหรับประเทศไทย โรงงานแยกขยะหลายแห่ง โดยเฉพาะขยะประเภทขวดน้ำ กำลังเผชิญกับความท้าทายในการแยกประเภทขวดน้ำที่ยังคงต้องพึ่งพาแรงงานคน แม้ว่าวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพในการแยกขวดน้ำตามประเภทต่างๆ เพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการย่อยขยะ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดและปัญหา เช่น เวลาที่ใช้ในกระบวนการมากเกินไป ประสิทธิภาพไม่เสถียร และความเป็นไปได้ในการเกิดความผิดพลาดในกระบวนการแยกขยะเหล่านี้

เพื่อแก้ไขปัญหามลพิษจากขยะพลาสติกในประเทศไทยที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง การวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่อง [2] มาใช้เพื่อพัฒนาระบบคัดแยกขวดน้ำอัตโนมัติที่สามารถจดจำและแยกขวดพลาสติก, ขวดแก้ว, กระจกอลูมิเนียม และกล่องกระดาษออกจากกันได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว เพื่อลดภาระงานของแรงงานและส่งเสริมประสิทธิภาพการจัดการขยะและพัฒนากระบวนการทำงาน [3] งานวิจัยของ ญัฐภาส และคณะ ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพโรงงานรีไซเคิลและเสนอว่าเทคโนโลยีการมองเห็นสามารถช่วยแยกขยะได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น [4] สมเกียรติ และคณะ ได้พัฒนาแบบจำลองเครื่องจักรกลการเรียนรู้เพื่อการจำแนกประเภทพลาสติกที่แม่นยำยิ่งขึ้น [5] ความสำเร็จในการปรับปรุงกระบวนการแยกขยะมีผลให้กระบวนการรีไซเคิลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน [6]

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อพัฒนาระบบคัดแยกประเภทขวดน้ำอัตโนมัติด้วยการใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพและการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อนำไปสู่การสร้างเครื่องคัดแยกขวดน้ำอัตโนมัติที่สามารถแก้ปัญหาการใช้แรงงานคนในโรงงานคัดแยกขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยขอบเขตของโครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการสร้างระบบแยกประเภทขวดน้ำอัตโนมัติที่สามารถแยกได้ทีละขวด ซึ่งสามารถช่วยแยกประเภทของขวดน้ำ เช่น ขวดพลาสติก ขวดแก้ว กล่องกระดาษ และกระจกอลูมิเนียม ขนาดไม่เกิน 1.5 ลิตร ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 แพลตฟอรม์และโปรแกรม

1) **Teachable Machine** แพลตฟอรม์นี้มีความสามารถหลากหลายในการสร้างแบบจำลองต่าง ๆ เช่น แบบจำลองจำแนกประเภทภาพ (Image Classification) ซึ่งสามารถสอนแบบจำลองให้แยกแยะวัตถุต่าง ๆ ตามประเภทที่กำหนด โดยใช้ภาพถ่ายหรือวิดีโอเป็นข้อมูลนำเข้า [7] นอกจากนี้ยังสามารถสร้างแบบจำลองตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ซึ่งสอนแบบจำลองให้ค้นหาและระบุตำแหน่งของวัตถุในภาพถ่ายหรือวิดีโอได้อย่างแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถสร้างแบบจำลองเสียง (Audio Recognition) ซึ่งมีความสามารถในการตรวจจับและจำแนกเสียงต่าง ๆ อีกด้วย

แพลตฟอร์มนี้เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการเรียนรู้และทำความเข้าใจเกี่ยวกับ Machine Learning โดยไม่จำเป็นต้องมีพื้นฐานทางด้านการเขียนโปรแกรมหรือความรู้ทางเทคนิคใด ๆ การออกแบบที่ใช้งานง่ายและเป็นมิตรต่อผู้ใช้ทำให้ผู้ใช้ทุกคนสามารถสร้างและฝึกฝนแบบจำลอง Machine Learning ได้ในเวลาอันสั้น รวมถึงสามารถปรับแต่งและนำแบบจำลองไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ [8-9] ดังนั้น แพลตฟอรม์นี้จึงเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ต้องการเข้าสู่โลกของ Machine Learning [10] และนำเทคโนโลยีนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ

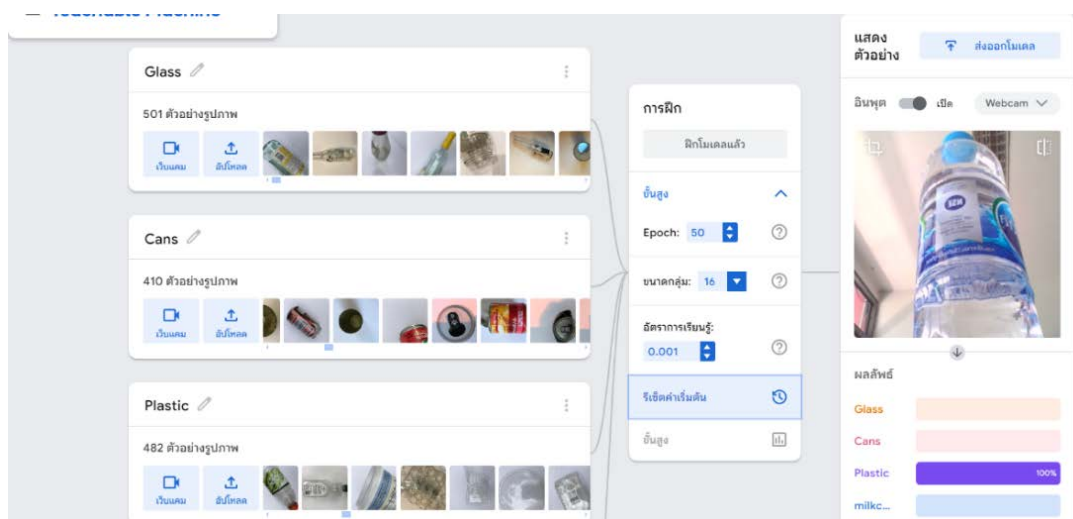
2) **Visual Studio Code** เป็นโปรแกรมแก้ไขชุดคำสั่งแบบโอเพนซอร์สที่พัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟท์ รองรับการใช้งานบนระบบปฏิบัติการ Windows Linux และ macOS โปรแกรมนี้มีคุณสมบัติที่รองรับการเขียนโปรแกรมได้หลากหลายภาษา และมี Extension มากมายที่สามารถติดตั้งเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเขียนโปรแกรมในหลายรูปแบบ

2.2 วิธีการทดลอง

การสร้างแบบจำลองการประมวลผลภาพเพื่อคัดแยกประเภทของขวดน้ำ เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและต้องการความละเอียดรอบคอบ ในการสร้างแบบจำลองสำหรับประมวลผลเพื่อคัดแยกประเภทของขวดน้ำ โดยใช้ Teachable Machine ของ Google ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถสร้างแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องได้โดยไม่ต้องมีความรู้ด้านการเขียนโปรแกรม นอกจากนี้ ยังนำแบบจำลองที่พัฒนาไปใช้ต่อในเว็บไซตโดยการเขียนชุดคำสั่งด้วยภาษา HTML และ JavaScript เพื่อให้สามารถแสดงผลได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ สำหรับข้อมูลที่จะใช้ในการฝึกฝนแบบจำลองการประมวลผลภาพนั้น ได้รับการจัดเตรียมจากเว็บไซต์ kaggle.com ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ โดยจะแบ่งข้อมูลภาพขวดน้ำที่ใช้ในการฝึกฝนออกเป็น ประเภทหลัก ได้แก่ ขวดแก้ว 4 กระป๋อง กล่องกระดาษ และขวดพลาสติก ซึ่งการแบ่งประเภทนี้จะช่วยให้แบบจำลองสามารถแยกแยะประเภทของขวดน้ำได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยการจำแนกด้วยวิธีการจำแนกสีของวัตถุ ความขุ่นความใสของวัสดุที่ใช้ทำขวดน้ำ

กระบวนการเริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลภาพของขวดน้ำแต่ละประเภท โดยจัดหมวดหมู่ตามประเภทของวัสดุที่ใช้ผลิตขวดน้ำดังรูปที่ 1 จากนั้นนำข้อมูลภาพเหล่านี้มาใช้ในการฝึกฝนแบบจำลองผ่าน Teachable Machine โดยในกระบวนการนี้ ผู้จัดทำจะต้องจัดเตรียมข้อมูลรูปที่หลากหลายและเพียงพอสำหรับการฝึกฝน เพื่อให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้และจดจำลักษณะของขวดน้ำแต่ละประเภทได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากที่แบบจำลองได้รับการฝึกฝนจนสามารถแยกแยะประเภทของขวดน้ำได้แล้ว จะนำแบบจำลองนี้ไปผนวกกับเว็บไซต์ที่พัฒนาโดยใช้ HTML และ JavaScript เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานแบบจำลองผ่านหน้าเว็บไซต์ได้อย่างสะดวก โดยผู้ใช้สามารถอัปโหลดภาพของขวดน้ำที่ต้องการคัดแยกประเภทและแบบจำลองจะทำการประมวลผลและแสดงผลลัพธ์ว่าขวดน้ำในภาพนั้นเป็นประเภทใด

ขั้นตอนต่อไปคือการอัปโหลดภาพทั้งหมดลงในแพลตฟอร์ม Teachable Machine โดยจะต้องทำการจัดประเภทภาพตามคลาสที่ได้ทำการคัดแยกไว้ล่วงหน้าอย่างเป็นระบบ ขั้นตอนถัดไปคือการเริ่มฝึกฝนแบบจำลอง ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการปรับปรุงความแม่นยำของการทำนาย หลังจากฝึกฝนแบบจำลองเสร็จสิ้นแล้ว จำเป็นต้องทำการทดสอบผลลัพธ์ของแบบจำลองโดยใช้กล้องเว็บแคมเพื่อตรวจสอบว่าผลการทำนายมีความถูกต้องและแม่นยำในระดับใด โดยจะทำการประเมินผลในรูปของเปอร์เซ็นต์ ดังที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การทำนายแบบจำลองโดยใช้ Teachable Machine

เมื่อได้แบบจำลองการประมวลผลภาพจาก Teachable Machine ออกมาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำแบบจำลองนั้นมาใช้งานจริง โดยทำการ Export แบบจำลองออกมาในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานได้ จากนั้นผู้จัดทำจะเขียนชุดคำสั่งด้วยภาษา HTML และ JavaScript บนโปรแกรม Visual Studio Code

การเขียนชุดคำสั่งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลองบนหน้าเว็บ โดยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงและใช้งานแบบจำลองผ่านอินเทอร์เน็ตที่สร้างขึ้น นอกจากนี้ยังต้องทำการเชื่อมต่อกับกล้องเว็บแคม เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการจำแนกประเภทของวัตถุจากภาพถ่ายแบบเวลาจริง การเชื่อมต่อกับกล้องเว็บแคมทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่า แบบจำลองสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำเมื่อมีการป้อนข้อมูลภาพเข้ามาแบบเรียลไทม์

ในกระบวนการนี้ ผู้จัดทำต้องมั่นใจว่าชุดคำสั่งที่เขียนขึ้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่มีข้อผิดพลาด ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบความถูกต้องของชุดคำสั่ง การทดสอบการทำงานของแบบจำลองกับข้อมูลจริง และการปรับปรุงแก้ไขในกรณีที่พบปัญหา การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากช่วยให้ผู้จัดทำสามารถประเมินได้ว่าแบบจำลองมีความสามารถในการจำแนกประเภทของวัตถุได้ดีเพียงใด และสามารถนำไปปรับปรุงแก้ไขได้ตามความจำเป็น

การนำแบบจำลองการประมวลผลภาพจาก Teachable Machine มาใช้งานจริงผ่านการเขียนชุดคำสั่งด้วย HTML และ JavaScript และการเชื่อมต่อกับกล้องเว็บแคมเพื่อทดสอบประสิทธิภาพ ไม่เพียงแต่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถใช้งานแบบจำลองได้อย่างสะดวกและง่ายดาย แต่ยังเป็นการยืนยันว่าแบบจำลองมีความสามารถในการทำงานได้ตามที่ตั้งใจไว้ ชุดคำสั่งบางส่วนแสดงดังรูปที่ 2

```

model.html > html > body > script > init
<html lang="en">
<body>
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/@teachablemachine/image@latest/dist/teachablemachine-image.min.js"></script>
<script type="text/javascript">

const URL = "https://teachablemachine.withgoogle.com/models/iLPiWexX6/";

let model, webcam, labelContainer, maxPredictions;

// Load the image model and setup the webcam
async function init() {
  const modelURL = URL + "model.json";
  const metadataURL = URL + "metadata.json";

  model = await tmImage.load(modelURL, metadataURL);
  maxPredictions = model.getTotalClasses();

  // Convenience function to setup a webcam
  const flip = true; // whether to flip the webcam
  webcam = new tmImage.Webcam(200, 200, flip); // width, height, flip
  await webcam.setup(); // request access to the webcam
  await webcam.play();
  window.requestAnimationFrame(loop);

  // append elements to the DOM
  document.getElementById("webcam-container").appendChild(webcam.canvas);
  labelContainer = document.getElementById("label-container");
  for (let i = 0; i < maxPredictions; i++) { // and class labels
    labelContainer.appendChild(document.createElement("div"));
  }
}

```

รูปที่ 2 ชุดคำสั่งภาษา HTML และ JavaScript

3. อภิปรายผล

แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ได้รับการออกแบบและปรับแต่งอย่างละเอียดเพื่อตอบสนองต่อการทำนายประเภทของขวดน้ำได้อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาถึงความหลากหลายของวัสดุที่ใช้ผลิตขวดน้ำ ไม่ว่าจะเป็นขวดพลาสติก ขวดแก้ว กล่องกระต๊าก หรือกระป๋องโลหะ แบบจำลองสามารถแยกแยะประเภทเหล่านี้ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพและความสามารถของแบบจำลองในการนำไปใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมและตรวจสอบอย่างเข้มงวด ความสามารถนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการจัดการขยะและการรีไซเคิล ที่ต้องการความแม่นยำในการจำแนกประเภทของวัสดุเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการและลดปัญหาการปนเปื้อนในกระบวนการผลิตใหม่

การทดลองนี้มุ่งเน้นการให้กล้องเว็บแคมจับภาพขวดน้ำภายในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้อย่างเหมาะสม จากนั้นส่งข้อมูลภาพที่ได้ไปยังแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อทำการจำแนกประเภทของขวดน้ำ ข้อกำหนดของการทดลองดังกล่าวคือการใช้กล้องที่บัสแสงเพื่อให้แน่ใจว่าแสงภายนอกจะไม่เข้ามารบกวนผลลัพธ์ ทำให้แบบจำลองสามารถทำนายประเภทขวดน้ำได้อย่างแม่นยำภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด มั่นใจ ในรูปที่ 3 แสดงการจัดเตรียมสำหรับการทดลองในการแยกประเภทขวดน้ำ ในการทดลองนี้ ขวดพลาสติกถูกวางไว้ในกล่องกระดาษที่มีความทึบแสง เพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอกที่อาจส่งผลกระทบต่อประมวลผลภาพของกล้องเว็บแคมซึ่งติดตั้งอยู่ในกล่อง



รูปที่ 3 กล้องเว็บแคมจับภาพขวดพลาสติกในลังกระดาษ

ผลการทดสอบการจำแนกประเภทวัสดุทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ ขวดพลาสติก กระป๋อง ขวดแก้ว และกล่องกระดาษ โดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อการทำนายประเภทของวัสดุจากภาพถ่ายที่ได้จากกล้องเว็บแคม ซึ่งวางไว้ในกล่องที่บัสแสงเพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก

- 3.1 ขวดพลาสติก ผลการทำนายระบุว่าขวดน้ำนี้เป็นพลาสติกด้วยความแม่นยำ 96.37%
- 3.2 กระป๋อง แบบจำลองสามารถระบุได้อย่างถูกต้องว่าเป็นกระป๋องโลหะด้วยความแม่นยำ 99.79%
- 3.3 ขวดแก้ว แบบจำลองทำนายว่าขวดน้ำนี้เป็นแก้วด้วยความแม่นยำ 99.92%
- 3.4 กล่องกระดาษ แบบจำลองสามารถทำนายได้อย่างถูกต้องว่ากล่องนี้เป็นกล่องกระดาษด้วยความแม่นยำ 100.00%

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความสามารถและประสิทธิภาพของแบบจำลองในการแยกแยะและจำแนกประเภทวัสดุได้อย่างแม่นยำในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ โดยกระบวนการทดสอบวัสดุแต่ละประเภทแสดงดังในรูปที่ 4 ก. ถึง 4 ง.



plastic: 96.37%
Result : plastic (96.37%)

ก. ขวดพลาสติก



plastic: 0.00%
glass: 0.21%
cans: 99.79%
Result : cans (99.79%)

ข. กระป๋อง



plastic: 0.08%
glass: 99.92%
Result : glass (99.92%)
cans: 0.00%

ค. ขวดแก้ว



plastic: 0.00%
glass: 0.00%
cans: 0.00%
milk_carton: 100.00%
Result : milk_carton (100.00%)

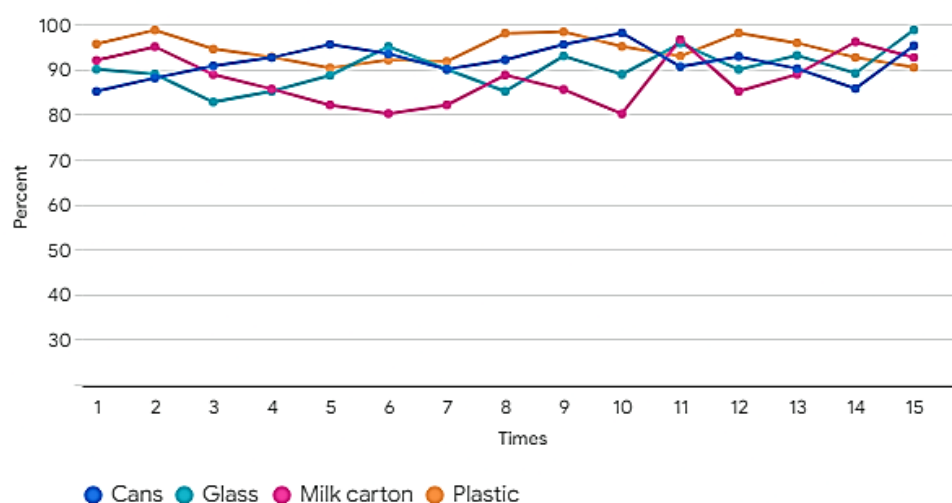
ง. กล่องกระดาษ

รูปที่ 4 การทำนายวัสดุทั้ง 4 ประเภท

ข้อจำกัดของการทดลองนี้ เกิดจากบางกรณีที่แบบจำลองทำนายประเภทของวัสดุผิดพลาด เช่น การทำนายว่าขวดพลาสติกเป็นขวดแก้ว ซึ่งปัญหานี้เกิดขึ้นเนื่องจากความคล้ายคลึงกันของลักษณะภายนอก โดยเฉพาะความใสและพื้นผิวของขวดน้ำ อย่างไรก็ตาม ด้วยการฝึกฝนแบบจำลองด้วยข้อมูลที่มีคุณภาพสูง และการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในทุกขั้นตอน ทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการจำแนกประเภทวัสดุ ผลการทดสอบนี้สามารถเห็นได้ชัดเจนในตารางที่ 1 และกราฟที่แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 ค่าความแม่นยำของแบบจำลองจากการทดสอบ 15 ครั้ง

ครั้งที่	ขวดพลาสติก	ขวดแก้ว	กล่องกระดาษ	กระป๋อง
1	95.67	90.04	92.02	85.12
2	98.76	88.96	95.06	88.09
3	94.54	82.76	88.87	90.79
4	92.79	85.13	85.65	92.64
5	90.34	88.68	82.09	95.56
6	92.09	95.09	80.18	93.46
7	91.78	90.06	82.09	90.03
8	98.07	85.14	88.76	92.13
9	98.37	92.99	85.56	95.56
10	95.12	88.89	80.13	98.14
11	92.97	95.81	96.65	90.65
12	98.14	90.01	85.13	92.89
13	95.89	93.13	88.91	90.18
14	92.67	89.14	96.14	85.75
15	90.47	98.78	92.68	95.28



รูปที่ 5 ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลองจากการทดสอบ

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าแบบจำลองการประมวลผลภาพมีความแม่นยำสูงในการทำนายประเภทของขวดน้ำในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมแสงได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม แบบจำลองนี้มีความจำกัดในเงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่แตกต่าง ซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพลดลงเมื่อขวดมีลักษณะคล้ายกันหรือแสงไม่สม่ำเสมอ แนะนำว่าควรมีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้มีความคงที่เพื่อรักษาความแม่นยำของแบบจำลองในการทำนายประเภทของขวดน้ำ ซึ่งจะช่วยให้มีความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพในการใช้งานจริงได้ดียิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตคือการพัฒนาแบบจำลองให้สามารถรองรับขวดน้ำที่มีขนาดและรูปร่างที่หลากหลายมากขึ้น สามารถแยกประเภทของขวดน้ำได้หลากหลายมากขึ้น รวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีแสงและเงาที่ซับซ้อน นอกจากนี้ การพัฒนาระบบให้สามารถเชื่อมต่อกับระบบการจัดการขยะอื่นๆ ด้วย Serial Communication เช่น เครื่องคัดแยกขวดน้ำอัตโนมัติที่ผู้จัดทำมีแผนที่จะทำขึ้นในอนาคต หรือการพัฒนาส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface) ที่ใช้งานง่าย ก็จะเป็นประโยชน์ในการนำระบบนี้ไปใช้งานจริงในระบบคัดแยกขยะ หรืออาจจะพัฒนาเชื่อมกับระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เพื่อเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเวลาจริง [11]

นอกจากนี้ ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะและรีไซเคิล เช่น การใช้แบบจำลองในการแยกประเภทของวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ใช่ขวดน้ำ เพื่อให้ระบบสามารถนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายและซับซ้อนมากขึ้น อีกทั้งยังควรมีการพัฒนาความสามารถของแบบจำลองในการประมวลผลรูปที่มีความละเอียดสูงและความเร็วในการทำนายที่เพิ่มขึ้น เพื่อรองรับการใช้งานในสถานการณ์ที่ต้องการความแม่นยำและความรวดเร็วในระดับสูง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ได้ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งในการทำงานวิจัยนี้ ทั้งในด้านทรัพยากรและคำแนะนำที่สำคัญ ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำเชิงวิชาการและข้อเสนอแนะที่มีคุณค่าอันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาและปรับปรุงงานวิจัย นอกจากนี้ ผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานและผู้ช่วยวิจัยทุกคนที่ให้ความร่วมมือ ความทุ่มเท และการสนับสนุนอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการวิจัย จนทำให้การดำเนินงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตามเป้าหมายที่วางไว้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, "สถิติขยะพลาสติกในประเทศไทย," 2566. [Online]. Available: <https://www.onep.go.th/>
- [2] Google, "Teachable Machine," [Online]. Available: <https://teachablemachine.withgoogle.com/>. [Accessed: 24-Jul-2024].
- [3] สมเกียรติ คงมาลัย และคณะ, พัฒนาแบบจำลองเครื่องจักรกลการเรียนรู้สำหรับการจำแนกประเภทพลาสติก, วารสารเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, 2564.
- [4] เกรียงไกร เจียมอยู่ และคณะ, การใช้เทคโนโลยีการมองเห็นเพื่อแยกขยะอัตโนมัติ, วารสารนวัตกรรมและเทคโนโลยี, 2566.
- [5] ปิยะมาศ อุดมสิน และคณะ, การประเมินผลกระทบของการจัดการขยะรีไซเคิลในชุมชน, วารสารสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม, 2565.
- [6] วชิร โล่ห์สุนทร และคณะ, ผลของการศึกษาพฤติกรรมการใช้พลาสติกของประชาชนในพื้นที่เมือง, วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม, 2564.

- [7] วีรวรรณ จันทะทรัพย์, "MASK DETECTION BY TEACHABLE MACHINE," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร , กรุงเทพฯ, 2565.
- [8] วาสนา วงศ์ษา, "เครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ," มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, เพชรบูรณ์, 2565.
- [9] จิตรพงษ์ เจริญจิตร, “ระบบแยกประเภทขยะ ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ,” มหาวิทยาลัยหาดใหญ่, สงขลา, 2561
- [10] Tamás Czimmermann, “Visual-Based Defect Detection and Classification Approaches for Industrial Applications—A SURVEY,” Sensors, 2020
- [11] ธาณิล ม่วงพูล และ วรียา เย็นเปิง. (2565). "การพัฒนาระบบคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยเทคโนโลยีไอโอที." วารสารวิชาการ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ, 8(2), 8-15.

การปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อลดต้นทุน
ในสายการผลิตชิ้นส่วนแผ่นยึดโครงตัวถังรถกระบะ
Process Improvement Semi-automatic for Reducing Cost
on Chassis Frame Auto Part Pick-up Production Line

อมรศักดิ์ มาใหญ่¹, สมบัติ น้อยมิ่ง², สุธยา แพ่งศรีสาร³ และ โกเมน หมายมัน^{4*}

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

^{3,4}สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

Amornsak Mayai¹, Sombut Noyming², Sonthaya Phaengsisan³ and Komen Maimun^{4*}

^{1,2}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,

Rajamangala University of Technology Isan

^{3,4}Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University

*Corresponding author Email: komain.m@nsru.ac.th

(Received: December 10, 2024 / Revised: December 22, 2024 / Accepted: December 24, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อลดต้นทุนในสายการผลิตชิ้นส่วนแผ่นยึดโครงตัวถังรถกระบะ ซึ่งเป็นงานวิจัยร่วมกันระหว่างหน่วยงานภาคการศึกษาและภาคเอกชน ในรูปแบบของกรณีศึกษา โดยทำการประยุกต์ใช้หลักการศึกษางานร่วมกับการศึกษาเวลา การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเพื่อลดเวลาสูญเสียเปล่าด้วยเทคนิค ECRS หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของกระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง ผลการดำเนินการปรับปรุงสายการผลิต พบว่า เวลาการผลิตแผ่นยึดโครงตัวถังรถกระบะก่อนการปรับปรุงมีเวลาในการผลิต (Takt Time) 414 วินาทีต่อชิ้น กำลังการผลิตโดยประมาณ 68 ชิ้นต่อวัน ภายหลังจากประยุกต์ใช้หลักการลดเวลาสูญเสียเปล่าด้วยเทคนิค ECRS และสร้างอุปกรณ์การเจียรในแบบกึ่งอัตโนมัติสามารถปรับปรุงเวลาการผลิตให้ลดลงได้ โดยมีเวลามาตรฐานในการผลิตลดลงที่ 358 วินาทีต่อชิ้น คิดเป็น 13.52 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราเวลาที่ลดลงและส่งผลกระทบต่ออัตราการกำลังการผลิตในรอบ 1 วันเพิ่มสูงขึ้นเป็น 80 ชิ้นต่อวัน มากไปกว่านั้นเมื่อทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า ต้นทุนในการสร้างอุปกรณ์ช่วยจับยึดในสถานีงานเจียรจำนวน 58,860 บาท หากชิ้นส่วนแผ่นยึดโครงตัวถังรถกระบะ มีกำไรชิ้นละ 500 บาท จากปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นวันละ 7 ชิ้น ก็จะพบว่าเพียง 16 วัน หรือไม่เกิน 1 เดือนก็จะคุ้มทุนและยังเพิ่มผลผลิตเพื่อสร้างกำไรได้อีกต่อไป

คำสำคัญ: เทคนิค ECRS, การลดเวลาสูญเสียเปล่า, แผ่นยึดโครงตัวถังรถกระบะ, เวลาในการผลิต

Abstract

This research aims to improve performance and process improvement semi-automatic for reducing cost on chassis frame auto part pick-up production line. Which application principle of work study couple with time study for Improvement efficiency of production process and idle time reduce by ECRS method. After comparing the performance of the manufacturing process. The results showed that, performance before improvement time for producing Chassis Frame Auto Part Pic-up is 414 seconds per piece and

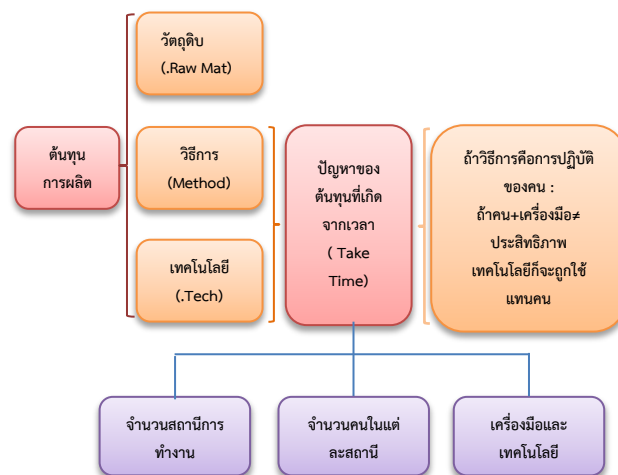
capacity of approximately 68 pieces per day, after to improvement the production idle time by using ECRS Technics and creating semi-automatic grinding equipment. The take time can be reduced to 358 seconds per piece, representing 13.52 percent. Therefore, the production capacity in one-day cycle time increased to 80 piece per day.

Keywords: ECRS Technics, Idle Time Reduction, Chassis Frame Auto Part Pic-up, Take Time

1. บทนำ

เมื่อกล่าวถึงอุตสาหกรรมยานยนต์แล้วย่อมทำให้หลายคนจินตนาการถึงการผลิตและประกอบชิ้นส่วนจำนวนมากที่ต้องใช้ทั้งเทคโนโลยี และปริมาณบุคลากรจำนวนมาก ทั้งนี้การผลิตหรือประกอบชิ้นส่วนที่มีหลากหลายหรือซับซ้อน จะก่อให้เกิดสายการผลิตที่หลากหลายเช่นกัน ซึ่งในแต่ละสายการผลิตจะประกอบด้วยสถานีการทำงานที่อาจถูกควบคุมด้วยคนหรือเครื่องจักร หรือทั้งสองอย่างทำงานอยู่ด้วยกัน หากลักษณะงานที่ซับซ้อนต้องการใช้ปริมาณคนงานจำนวนมากจะก่อให้เกิดต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นเนื่องมาจากค่าแรงที่แปลงสภาพตามเวลาและอัตราเงินเฟ้อ ในภาคการแข่งขันทางด้านการธุรกิจ หากวิเคราะห์และเปรียบเทียบทางด้านการผลิตพบว่า ในยุคปัจจุบันเป็นยุคของการแข่งขันเพื่อลดต้นทุนโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและกำลังการผลิต ทั้งนี้ปัจจัยที่ส่งผลเป็นอย่างมากต่อต้นทุนในการผลิตนั้นคือเวลา [1]

บริษัทตัวอย่างในการทำงานวิจัยนี้เป็นบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์รายใหญ่ของประเทศได้ประสบปัญหาการผลิตโดยภาพรวมของการลดต้นทุนที่เกิดจากเงื่อนไขของเวลาตามสายการผลิตจะประกอบด้วยสามส่วน หลักคือต้นทุนที่เกิดจากวัตถุดิบตั้งแต่การเข้ามามีการบริหารจัดการเพื่อให้เกิดคุณภาพและความต่อเนื่องของสายการผลิต ประการต่อมาเป็นต้นทุนจากวิธีการคือต้นทุนที่เกิดจากการบริหารจัดการซึ่งคนที่มีทักษะและประสบการณ์จะมีผลลัพธ์ที่ดีในการปฏิบัติงาน และส่วนสุดท้ายคือต้นทุนที่เกิดจากเทคโนโลยี ซึ่งนิยมนำมาใช้ทดแทนคน ทำให้คณะผู้วิจัยสามารถสรุปภาพรวมของปัญหาดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาของเวลาในการผลิตที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตรวมของภาคอุตสาหกรรม [2-4]

สิ่งสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาของต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากสายการผลิตที่มีความต่อเนื่องนั้นคือเวลาการผลิต โดยการประกอบชิ้นส่วนยานยนต์จากหลายสถานีการทำงานส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการผลิตและประกอบที่ยาวนาน การลดต้นทุนในส่วนของการทำงานอาจดำเนินการได้โดยอาศัยหลักการปรับปรุงสายการผลิต การค้นหาเส้นทางวิกฤติการขัดหรือยุบรวมสถานีการทำงานเพื่อลด เวลาสูญเสีย (การควบคุม Takt Time) [5,6] ทั้งนี้หลักการดังกล่าวเป็นพื้นฐานที่ส่งผลต่อการพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้นั่นคน

สามารถทำงานได้มากกว่าหนึ่งหน้าที่จึงทำให้สามารถลดปริมาณคนในสายการผลิตได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อชิ้นงานหากสามารถเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสม เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบันของประเทศไทยเป็นที่ทราบกันดีว่าในธุรกิจอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นกิจกรรมที่ดำเนินการอยู่ตลอดเวลาไม่ว่าจะเป็นภาคการผลิตหรือภาคการบริการ มักพบปัญหาต่างๆ ในกระบวนการผลิต หรือที่เรียกกันติดปากว่า มูตะ (MUDA) คือความสูญเปล่า ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและก่อให้เกิดการสูญเสียเวลาอันเป็นเหตุให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น [7] เนื่องจากในสภาวะปัจจุบันการประกอบธุรกิจมีการแข่งขันค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแข่งขันในภาคส่วนอุตสาหกรรมยานยนต์ที่กำลังเติบโตมากในปัจจุบัน ซึ่งผู้ประกอบการที่มีสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและได้มาตรฐานที่กำหนดไว้นั้นมักจะได้เปรียบทางการค้าซึ่งเป็นหนึ่งของกลยุทธ์ด้านการตลาด ดังนั้นจึงต้องมีการประกันคุณภาพสินค้าหรือควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้าซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาในหลาย ๆ ด้านในขั้นตอนการผลิตตามมา ฉะนั้น คณะผู้วิจัยร่วมกับบริษัทตัวอย่าง จึงได้แสวงหาวิธีการและเทคนิคต่างๆ ในการลดปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตขึ้นส่วนตัวถังยึดโครงรถกระบะซึ่งเป็นตำแหน่งวิกฤติของการปฏิบัติงานเพื่อให้สามารถจัดความสูญเปล่าและส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าตามเวลาที่กำหนดเส้นทางวิกฤติที่เกิดจากการใช้เวลาในแต่ละกระบวนการมากเกินไปสูญเสียเวลาในการแก้ไขงาน การปฏิบัติงานไม่เป็นขั้นตอน การรอคอยงานจากสถานีก่อนหน้าซึ่งปัญหาเหล่านี้ล้วนแต่เป็นปัญหาหลักๆ ที่มักพบเจอทุกกระบวนการผลิตในส่วนของการผลิตขึ้นส่วนตัวถังยึดโครงรถกระบะ และอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถส่งถึงลูกค้าได้ตามเวลาที่กำหนด บริษัทฯ ไม่สามารถผลิตขึ้นส่วนตัวถังยึดโครงรถกระบะได้ทันต่อความต้องการของลูกค้าได้ซึ่งเป็นปัญหาที่ฝ่ายผลิตประสบอยู่ในปัจจุบันซึ่งส่งผลกระทบที่อาจจะทำให้ความน่าเชื่อถือของบริษัทฯ ลดลงในการดำเนินธุรกิจอุตสาหกรรมยานยนต์ทั้งภายในและต่างประเทศ

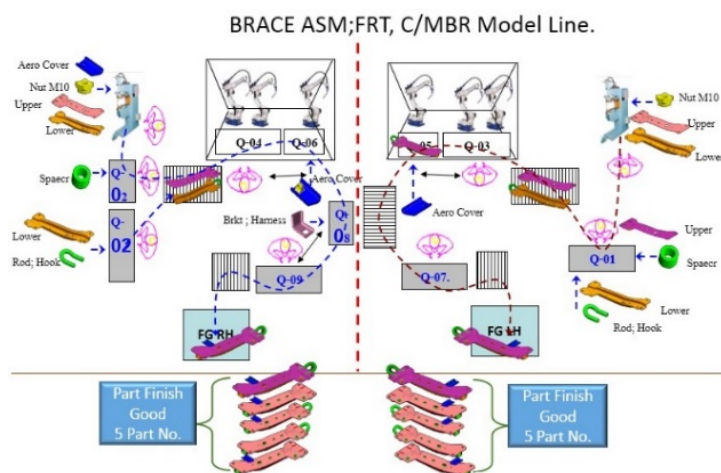
ดังนั้น คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตขึ้นส่วนตัวถังยึดโครงรถกระบะ ซึ่งเป็นปัญหาอยู่ในขณะนี้เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้และทำงานในแต่ละจุดงานให้ใช้เวลาในการทำงานให้เท่ากันเพื่อไม่ให้แต่ละขบวนการรอคอยกันและสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ครบถ้วน อีกทั้งยังเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน เพิ่มคุณภาพของสินค้า และลดความสูญเสีย ในด้านต่างๆ ได้อย่างยั่งยืน โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตสำหรับลดต้นทุนในสายการผลิตขึ้นส่วนตัวถังยึดโครงรถกระบะและจัดสมดุลสายการผลิตให้มีประสิทธิภาพ

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารายละเอียดของโรงงานตัวอย่างและปัญหาในสายการผลิต เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประกอบการออกแบบและกำหนดแนวทางในการดำเนินงานวิจัย เพื่อการแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

2.1 ศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน

จากการศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานเบื้องต้นของแต่ละคนอย่างละเอียดทุกสถานีงานย่อย โดยการสำรวจข้อมูลการผลิตที่ผ่านมา พบว่า จำนวนความต้องการของผู้บริโภคสูงกว่ากำลังการผลิตที่มีอยู่และจากการศึกษาเพื่อใช้เป็นข้อมูลตัดสินใจปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มผลผลิตปรากฏว่าสายการผลิตโดยรวมประกอบด้วย การปั๊มขึ้นรูป, การประกอบชิ้นส่วนโดยใช้แรงงานคนสำหรับการป้อนชิ้นงานเข้าสู่ระบบการเชื่อมแบบอัตโนมัติ จากนั้นมีการนำชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมไปทำการเจียรระโนเพื่อปรับผิวแนวเชื่อมให้มีความราบเพื่อประกอบเข้ากับชิ้นส่วนหลัก ซึ่งในกระบวนการดังกล่าวจะเกิดการรอคอยของชิ้นงานในสถานีของการเจียรระโนปรับแต่งผิวซึ่งเป็นตำแหน่งงานที่เกิดเป็นเส้นทางวิกฤต



รูปที่ 2 ผังสายการผลิตและประกอบชิ้นส่วน

จากการศึกษาความสามารถในกระบวนการผลิต (Process Capability) ซึ่งในช่วงปีที่ผ่านมาถึงปี 2560 บริษัทมีรอบการทำงาน คือช่วงเวลา 08.00-17.00 น. คิดเป็นเวลาการทำงาน 1 วัน 8 ชั่วโมงต่อ 1 กะ โดยในระยะเวลา 1 เดือนมีวันทำงานทั้งสิ้น 22 วัน ดังนั้นสามารถคำนวณหาความสามารถในการผลิตได้ดังสมการที่ 1 และข้อมูลตารางเวลาการผลิตดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลตารางเวลาการผลิตก่อนทำการปรับปรุง

ข้อมูล	เวลา
เวลาทำงาน 08.00-17.00 น.	8x60 = 480 นาที
สถานีการทำงานวิกฤตสูงสุดในการทำงาน	414 วินาที
วันทำงานในรอบเดือน	22 วัน

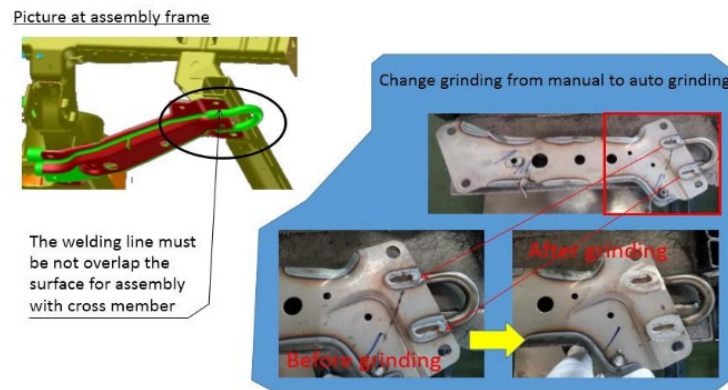
$$\text{ความสามารถในการผลิต} = \frac{\text{เวลาที่ทำงานจริงต่อเดือน}}{\text{รอบเวลาในการผลิต}} \quad (1)$$

ดังนั้น

$$(8 \text{ ชั่วโมงต่อวัน} \times 60 \text{ นาที} \times 22 \text{ วัน}) / (414/60 \text{ วินาที}) = 1,530 \text{ ชิ้นต่อเดือน ต่อ 1 รอบการทำงาน}$$

2.2 การวิเคราะห์หาสาเหตุ

จากข้อมูลการผลิตโดยรวมของสถานีการทำงานที่เกิด เป็นเส้นทางวิกฤต พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ทำการประกอบโดยการเชื่อมมีลักษณะของชิ้นส่วนที่ทำการบ่มขึ้นรูปดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนสำหรับการประกอบการจับยึดกับโครงสร้างหลักของชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีรายละเอียดการทำงานที่ค่อนข้างซับซ้อน



รูปที่ 3 การวิเคราะห์ตำแหน่งงานที่ทำให้เกิดเป็นเส้นทางวิกฤติของการปฏิบัติงาน

ในสถานีการทำงานดังกล่าวต้องทำการนำชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กแผ่นบางมาเชื่อมประกอบ เพื่อให้เกิดเป็นโครงสร้างที่มีการเชื่อมยึดสลักสำหรับใช้ประกอบเข้ากับโครงสร้างอื่นในภายหลัง สำหรับกระบวนการเชื่อมนั้น เป็นระบบการเชื่อมแบบ MIG ที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีการควบคุมการทำงานด้วยระบบกึ่งอัตโนมัติ กล่าวคือ เมื่อทำการระบุตำแหน่งและป้อนงานเข้าสู่อุปกรณ์จับยึดหัวเชื่อมจะทำการเดินแนวเชื่อมโดยทันที ในขณะที่ตัวผู้ปฏิบัติงานจะต้องเตรียมชิ้นงานเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบในวัฏจักรถัดไป จึงทำให้ต้องเพิ่มคนงานสำหรับการปรับแต่งผิวแนวเชื่อมในสถานีการทำงานดังกล่าว ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ตำแหน่งของการปรับแต่งผิวงานโดยการเจียรระโน

2.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram)

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) พบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตประกอบด้วยปัจจัยหลักพื้นฐาน 4 ประการ อันประกอบด้วย วัสดุ วิธีการ เครื่องมือ/เครื่องจักร และคน หากพิจารณาและวิเคราะห์รายประเด็นจะพบว่า วัสดุนั้นไม่สามารถเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงได้เลย เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเหลือปัจจัยที่ต้องพิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาของการผลิตอีก 3 ประการ คือ วิธีการทำงานของคน การใช้ เครื่องมือ และเครื่องจักร ซึ่งเกี่ยวเนื่องกัน ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องมือทางด้านการศึกษางานเข้ามาวิเคราะห์การทำงานของคนที่เรียกว่าแผนภูมิสองมือและแผนภูมิกระบวนการไหล

4.2 การกำหนดแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ด้วยวิธีการ ECRS

จากการวิเคราะห์สาเหตุและแนวทางในการแก้ไขปัญหา ทำให้ทางคณะผู้ทำงานวิจัยสามารถสรุปแนวทางที่คาดว่าจะก่อให้เกิดผลที่ดีในระยะยาว นั่นคือ การออกแบบเครื่องมือเครื่องจักรเพื่อส่งเสริมให้คนงานสามารถปฏิบัติงานได้ดีขึ้น ตามหลักการแก้ไข ECRS และจำเป็นต้องทำการศึกษาผลเพิ่มเติมในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของคนที่และเครื่องจักร ดังนี้

1) สำรวจสภาพปัญหาจริงจากขั้นตอนการทำงานในสายการผลิต ซึ่งจากการสังเกตการทำงานเบื้องต้นกระบวนการทำงาน หลักประกอบด้วย 3 สถานีหลัก และ 13 กระบวนการย่อย ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนแผ่นยึดโครงตัวถังรถกระบะ จากการสังเกตการทำงานเบื้องต้น

Work Station	Process Name	Description of Job
A (Assembly)	Stamping upper/lower	นำ Plate Main เข้าเครื่อง Stamping และทำการ Forming upper/lower ตามขนาดมาตรฐาน
	Assembly upper/lower	ทำการประกอบ แผ่น upper/lower เข้าด้วยกัน ตามมาตรฐานการทำงานที่กำหนด
	Assembly Aero Cover	ทำการประกอบ Aero Cover เข้ากับชิ้นส่วนหลัก ตามมาตรฐานการทำงานที่กำหนด
	Assembly Nut M10	ทำการประกอบ Nut M10 เข้ากับชิ้นส่วนหลัก ตามมาตรฐานการทำงานที่กำหนด
	Assembly Sparer	ทำการประกอบ Sparer เข้ากับชิ้นส่วนหลัก ตามมาตรฐานการทำงานที่กำหนด
	Next-to-Robot welding	ป้อนชิ้นงานเข้าสู่ระบบงานเชื่อมอัตโนมัติด้วยแรงงานคน
B (Welding)	Welding / upper, lower	เชื่อมประกอบ upper, lower เข้ากับชิ้นส่วนหลัก
	Welding / Rod, Hook	เชื่อมประกอบ Rod, Hook เข้ากับชิ้นส่วนหลัก
	Welding / Nut M10	เชื่อมประกอบ Nut M10 เข้ากับชิ้นส่วนหลัก
	Welding / Aero Cover	เชื่อมประกอบ Aero Cover เข้ากับชิ้นส่วนหลัก
	Next-to-Grinding Process	ป้อนชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการเจียรไนด้วยคน
C (Grinding)	Grinding / Weld Zone	ทำการเจียรไนผิวงานเชื่อมด้วยแรงงานคน
	Assembly /Main Part.	ทำการประกอบชิ้นส่วนแผ่นยึดโครงตัวถังรถกระบะ เข้ากับชิ้นส่วนหลัก ตามมาตรฐานการทำงานที่กำหนด

2) จัดลำดับความสำคัญด้วยแผนภูมิพาราโต (Pareto Chart) ของแต่ละสถานีการทำงานโดยให้เวลาที่ยาวที่สุดเป็นสำคัญ เพื่อคัดเลือกกระบวนการทำงานที่เป็นปัญหา

3) เขียนแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) หลังจากนั้นนำปัญหาในแต่ละกระบวนการมาปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียของเวลาในแต่ละขั้นตอน

4) ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปัญหาด้วย ECRS ร่วมกับ 5W1H เทคนิค เพื่อการเพิ่มผลผลิตโดยภาพรวม

5) หาแนวทางในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลผลิตเฉพาะส่วนงานสำหรับสถานีการทำงานเชื่อมประกอบ

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการเก็บข้อมูลสภาพปัญหาของการทำงาน

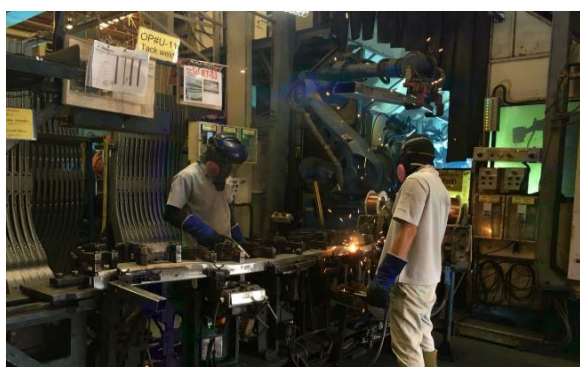
ผลการศึกษากระบวนการทำงานในแต่ละสถานีการทำงาน ซึ่งกระบวนการทำงานสามารถแบ่งตามลำดับและขั้นตอนการทำงานออกเป็นสถานีการทำงานต่างๆ ได้ 3 สถานีหลัก แต่ละสถานีหลักสามารถแบ่งสถานีย่อยออกได้ ดังนี้

สถานีการทำงานที่ 1 (Assembly) เป็นสถานีที่นำเอาแผ่นโลหะ Plate Main เข้าเครื่อง Stamping และทำการบีมขึ้นรูปชิ้นส่วน upper/lower Plate จากนั้นแผ่น Upper/Lower Plate จะถูกส่งทำการประกอบเข้าด้วยกัน รวมไปถึงชิ้นส่วน

อื่นๆ สรุปเวลาโดยรวมของเวลาการทำงานทั้งสิ้น 253 วินาที หรือ 4.21 นาที ทั้งนี้สถานี่การทำงานที่ 1 (Assembly) ประกอบไปด้วยสถานี่การทำงานย่อย ดังนี้

- 1) สถานี่ S1-1 (Stamping) ปั้นขึ้นรูปแผ่น Upper / Lower Plate
- 2) สถานี่ S1-2 (Assembly) ประกอบชิ้นส่วน Upper / Lower Plate, Aero Cover, Nut M10, Spacer

สถานี่การทำงานที่ 2 (Welding) เป็นสถานี่เชื่อมประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยทำการเชื่อม Upper / Lower Plate เข้าด้วยกัน นอกจากนี้จะทำการเชื่อม Aero Cover, Nut M10, Spacer เข้ากับ Upper / Lower Plate สรุปเวลาโดยรวมของเวลาการทำงานทั้งสิ้น 265 วินาที หรือ 4.42 นาที



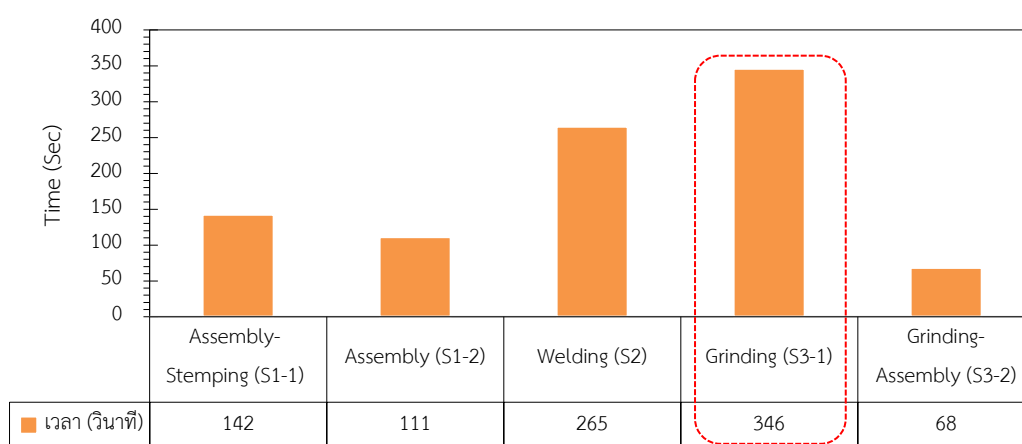
รูปที่ 4 สถานี่การทำงานที่ 2 (Welding)



รูปที่ 5 สถานี่การทำงานที่ 3 (Grinding)

สถานี่การทำงานที่ 3 (Grinding) เป็นสถานี่การเจียรในผิวงานเชื่อมให้มีความเรียบเพื่อส่งไปยังสถานี่การประกอบเข้ากับชิ้นส่วนงานหลัก สรุปเวลาโดยรวมของเวลาการทำงานทั้งสิ้น 414 วินาที หรือ 6.90 นาที ทั้งนี้สถานี่การทำงานที่ 3 (Grinding) ประกอบไปด้วยสถานี่การทำงานย่อย ดังนี้

- 1) สถานี่ S3-1 (Grinding) เจียรในผิวแนวเชื่อม Upper / Lower Plate, Aero Cover, Nut M10, Spacer
 - 2) สถานี่ S3-2 (Main Structure Assembly) ประกอบแผ่นยึดโครงตัวถังรถกระบะเพื่อไปประกอบเข้ากับชิ้นส่วนหลัก
- ผลการศึกษากระบวนการทำงานของแต่ละสถานี่การทำงานร่วมกับกระบวนการศึกษาเวลา ทำให้สามารถเก็บข้อมูลของรอบเวลาการทำงานในแต่ละสถานี่การทำงาน ตลอดจนรอบเวลาการผลิตรวมได้ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 กระบวนการทำงาน 3 สถานี่หลักการทำงาน (Assembly, Welding, Grinding)

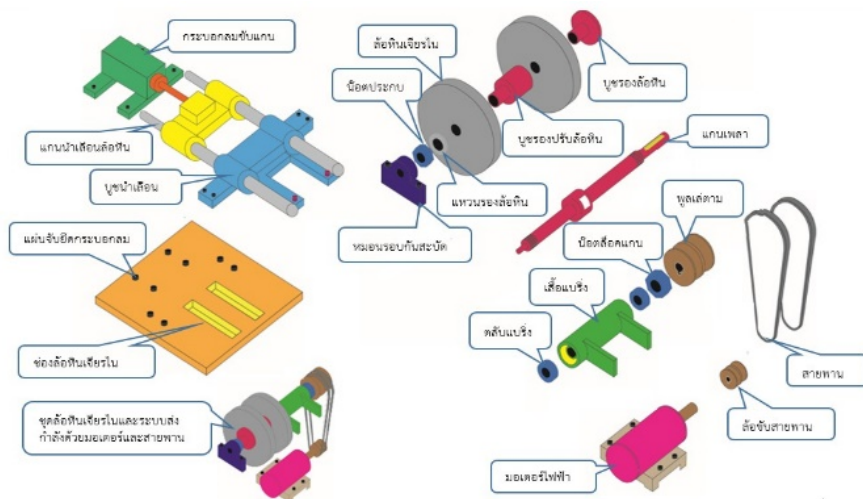
ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็น 5 สถานี่ย่อย และเวลาการทำงานก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงเวลาในการทำงานของแต่ละสถานีการทำงาน 3 สถานีหลัก ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็น 5 สถานีย่อย โดยสถานีที่ใช้เวลาในการทำงานมากที่สุดคือ สถานีการทำงานหลักที่ S3-1 (Grinding) ผนวกกับสถานีการทำงานที่ S3-2 ใช้เวลารวมทั้งสิ้น 414 วินาที หรือ 6.90 นาที ซึ่งเป็นเวลาสูงสุดในการทำงาน ทำให้สถานีการทำงานที่ 3 กลายเป็นสถานีการทำงานวิกฤตที่ต้องปรับปรุงแก้ไขต่อไป

3.2 ผลการวิเคราะห์และดำเนินการปรับปรุงโดยใช้เทคนิค ECRS

การหามาตรการและวิธีการแก้ไขในส่วนนี้เป็นการดำเนินการเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตตามหลักการของ ECRS ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน

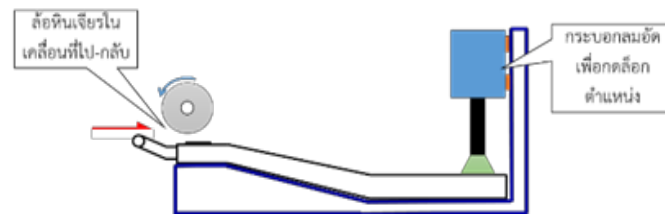
1. ขั้นตอนที่หนึ่ง คือ การขจัดกระบวนการทำงานที่ไม่สำคัญออก (Eliminate: E) ในขั้นตอนนี้ใช้วิธีการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานโดยการประยุกต์ใช้เครื่องจักรร่วมกับคน ทั้งในในการทำงานจะใช้เครื่องเจียรโนอัตโนมัติที่ทำการออกแบบ มาใช้แทนการทำงานของคน ทำให้เวลาที่เกิดจากกระบวนการเจียรโนผิวงานเชื่อมในสถานีย่อยที่ S3-1 ถูกขจัดออกไป 56 วินาที ดังนั้นเวลารวมที่ใช้ในสถานีการทำงานหลักจากเดิม 414 วินาที หรือ 6.90 นาที ลดลงเหลือ 358 วินาที หรือ 6.23 นาที
2. ขั้นตอนที่สอง คือ การรวมส่วนงาน (Combined: C) ในการวิเคราะห์กระบวนการดังกล่าว การยุบรวมกันของกระบวนการทำงานไม่ได้ทำการพิจารณา ทำให้สถานีการทำงานยังคงเดิม
3. ขั้นตอนที่สาม คือการจัดลำดับงานใหม่ (Rearrange : R) ในการวิเคราะห์กระบวนการดังกล่าวยังคงยึดหลักกระบวนการทำงานเดิม ทำให้สถานีการทำงานยังคงเรียงลำดับจากกระบวนการทำงานเดิม
4. ขั้นตอนที่สี่ คือ ทำขั้นตอนหนึ่งๆให้ง่ายขึ้น (Simplify : S) หลังจากในขั้นตอนที่หนึ่งได้มีการจัดขั้นตอนการทำงานที่เกิดการทำงานที่ล่าช้าโดยการประยุกต์ใช้เครื่องจักรแบบอัตโนมัติในการเจียรโน แทนการทำงานของคน ทำให้ในขั้นตอนนี้มีการออกแบบเครื่องจักร และเครื่องมือ ผนวกกับกลไกการทำงานที่เอื้ออำนวยต่อกระบวนการเจียรโนทำให้สามารถลดเวลาสูญเสียในกระบวนการทำงานลงได้ โดยอุปกรณ์การเจียรโนอัตโนมัติแสดงในรูปที่ 7



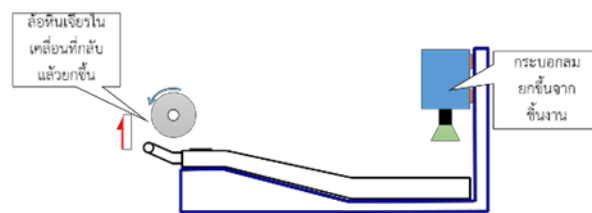
รูปที่ 7 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องมือสำหรับการปรับแต่งผิวงานโดยการเจียรโน

จากกระบวนการปรับปรุงกระบวนการทำงานตามหลัก ECRS เทคนิคเข้ามาปรับปรุงแก้ไข โดยการประยุกต์ใช้เครื่องเจียรโนแบบอัตโนมัติ และออกแบบระบบอุปกรณ์จับยึดในการกำหนดตำแหน่งชิ้นงานเพื่อลดเวลาในการทำงาน และแก้ไขปัญหการเกิดการรอยงานของสถานีการทำงานที่ 2 และ 1 ซึ่งสามารถแสดงได้ในรูปที่ 8 การประยุกต์ใช้เครื่องเจียรโนแบบอัตโนมัติ ซึ่งเวลาในการทำงานรวมลดลงต่ำกว่าการทำงานแบบปกติที่ใช้แรงงานคน นอกจากนี้ยังสามารถประมาณการ

ทำงานได้อย่างแม่นยำเนื่องจากเครื่องมือสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่เกิดการหยุดของงานและลดการเสี่ยงอุบัติเหตุจากการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงาน

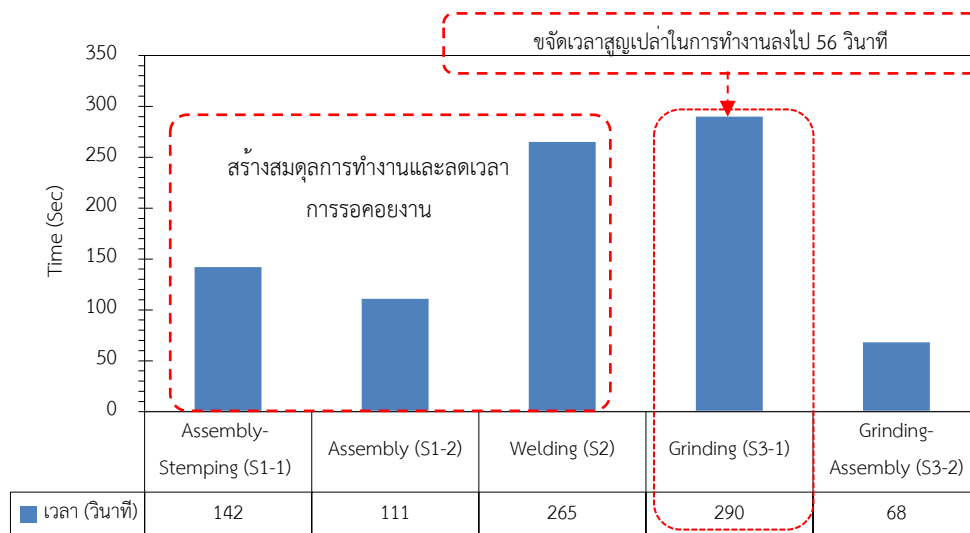


(ก) กระบอกกลมอัดเพื่อกดล็อกชิ้นงานให้เข้าตำแหน่งการเจียรไน โดยการควบคุมจุดการเจียรไนด้วย Jig and Fixture ที่ทำการออกแบบเฉพาะ หลังจากนั้นล้อหินเจียรไนจะเคลื่อนไปตามผิวงานตามทิศทางที่ต้องการเพื่อเจียรไนผิวเชื่อม



(ข) กระบอกกลมยกขึ้นจากชิ้นงานเมื่อทำการเจียรไนเสร็จสิ้น

รูปที่ 8 กระบวนการทำงานของเครื่องเจียรไนอัตโนมัติ



รูปที่ 9 เวลาการทำงานและสมดุลของการผลิตภายหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 9 สถานีการทำงานหลักที่ 3 (Grinding) สถานีย่อยที่ S3-1 จากเดิมที่ใช้เวลาในการทำงาน 346 วินาที และใช้เวลา รวมในการทำงานทั้งสถานีหลักคือ 414 วินาที หรือ 6.90 นาที ลดลงเหลือ 358 วินาที หรือ 6.23 นาที โดยเป็นสถานีการทำงานย่อยที่ S3-1 ที่ลดเวลาลงเหลือ 290 วินาที ทำให้เวลารวมของสถานีการทำงานหลักที่ 3 (Grinding) ลดลง

ทั้งนี้ จากการลดลงของเวลาการเจียรไนที่ 56 วินาที ทำให้เวลาในการทำงานรวมทั้งกระบวนการของการผลิตชิ้นส่วนแผ่นยึดโครงตัวถังรถกระบะลดลงตามไปด้วย ซึ่งการทำงานแบบเก่าจะมีค่าเวลา Takt Time ของเวลาการทำงานทั้งหมดอยู่ที่ 6.40

นาทีต่อชิ้น แต่สถานีการทำงานหลักที่ 3 (Grinding) มีเวลาในการทำงานอยู่ที่ 6.90 นาที ซึ่งนั่นทำให้เกิดการรอคอยของงานในสถานีก่อนหน้า อย่างไรก็ตามภายหลังจากการปรับปรุงเวลาในสถานีการทำงานหลักที่ 3 ลดลงเหลือ 6.23 นาที ซึ่งต่ำกว่าเวลา Takt Time ที่ 6.40 นาที ดังนั้นระบบการผลิตจึงเกิดการสมดุลมากขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิต

3.3 การประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตภายหลังการปรับปรุง

กระบวนการผลิตที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนรูปแบบการดำเนินงานในสถานีหลักที่ 3 สถานีการทำงานย่อยที่ S3-1 โดยการสร้างอุปกรณ์เครื่องเจียรในรอยเชื่อมกึ่งอัตโนมัติ เข้ามาแทนที่การเจียรในด้วยแรงงานคน ส่งผลต่อเวลาโดยรวมลดลง ดังนั้น เมื่อทำการคำนวณอัตราของกำลังการผลิตในหนึ่งวันจะมีค่าเท่ากับ ความสามารถในการผลิต = เวลาที่ใช้ทำงานจริงต่อเดือน/รอบเวลาในการผลิต ดังนี้

$$(8 \text{ ชั่วโมงต่อวัน} \times 60 \text{ นาที}) / (358 / 60 \text{ วินาที}) = 80 \text{ ชิ้นต่อวัน}$$

$$(8 \text{ ชั่วโมงต่อวัน} \times 60 \text{ นาที} \times 22 \text{ วัน}) / (358 / 60 \text{ วินาที}) = 1,769 \text{ ชิ้นต่อเดือน}$$

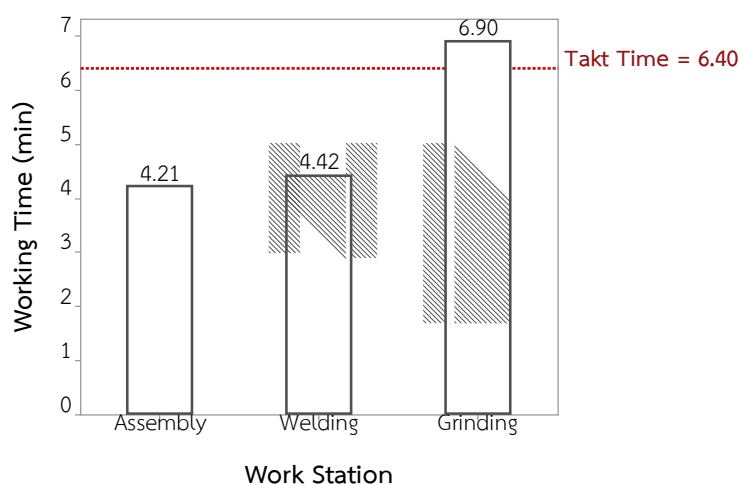
ตารางเปรียบเทียบการคำนวณอัตราของกำลังการผลิต แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบการคำนวณอัตราของกำลังการผลิต

กำลังการผลิต	ก่อนทำการปรับปรุง	ภายหลังการปรับปรุง
เวลามาตรฐาน	414 วินาที	358 วินาที
การผลิตใน 8 ชั่วโมง	68 ชิ้น	80 ชิ้น
การผลิตใน 1 เดือน	1,496 ชิ้น	1,769 ชิ้น

3.4 การวิเคราะห์กระบวนการผลิตกับสถานะปัจจุบัน

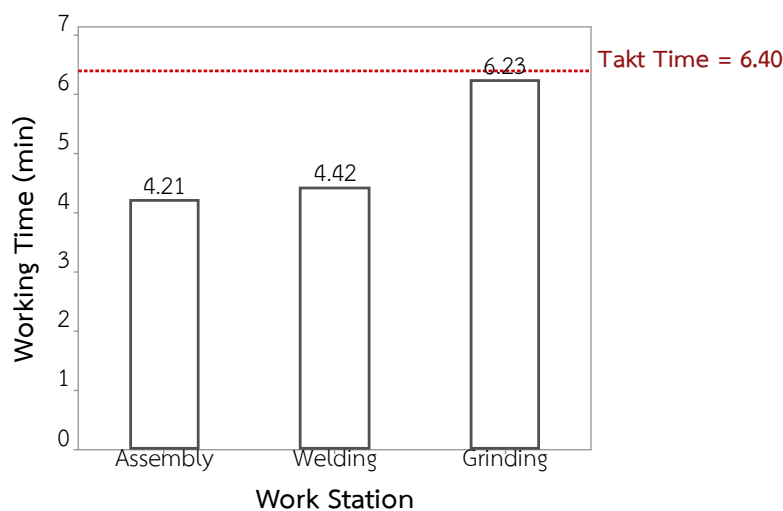
ในการวิเคราะห์กระบวนการผลิตกับสถานะปัจจุบันเกี่ยวกับความสามารถในการผลิต (Capability) โดยแบ่งสถานีการทำงานออกเป็น 3 สถานีงาน ได้แก่ สถานีงานประกอบ (Assembly), สถานีงานเชื่อม (Welding) และสถานีงานเจียรใน (Grinding) ซึ่งทั้ง 3 สถานีงาน จะมีเวลาที่ใช้ในการทำงาน (Working Time) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.21, 4.42 และ 6.90 min ตามลำดับ โดยเมื่อนำข้อมูลด้านเวลาที่ใช้ในการทำงาน (Working Time) โดยเฉลี่ยดังกล่าวเหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับ Takt Time ที่มีค่าเท่ากับ 6.40 min/piece ดังแสดงในรูปที่ 10 นั้น จะเห็นได้ว่า สถานีงานเจียรใน (Grinding) จะมีเวลาที่ใช้ในการทำงาน (Working Time) โดยเฉลี่ยสูงกว่าค่า Takt Time นั้นหมายความว่า สถานีงานเจียรใน (Grinding) เป็นปัญหาคอขวด (Bottle Neck) ของกระบวนการผลิตนั่นเอง



รูปที่ 10 โมเดลการจำลองสถานการณ์กระบวนการผลิตในสถานะปัจจุบัน (ก่อนการปรับปรุง)

3.5 การวิเคราะห์กระบวนการผลิตกับสภาวะภายหลังการปรับปรุง

ในการวิเคราะห์กระบวนการผลิตกับสภาวะภายหลังการปรับปรุงสถานีงานเจียรไน (Grinding) เกี่ยวกับความสามารถในการผลิต (Capability) โดยการออกแบบเครื่องมือช่วยในการจับยึดสำหรับการเจียรไนปรับแต่งผิวที่ผ่านกระบวนการเชื่อมมา นั้นพบว่าสามารถลดเวลาในสถานีงานเจียรไนได้จากก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 6.9 นาทีเหลือ 6.23 นาที ต่อมาจึงได้ทำการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองสถานการณ์ (Simulation) เพื่อตรวจดู (Monitoring) พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตในสภาวะปัจจุบันถึงความเป็นไปได้ด้านความสามารถการผลิตในการทำงานจริงของแต่ละขั้นตอนการทำงาน โดยแบ่งสถานีการทำงานออกเป็น 3 สถานีงาน ได้แก่ สถานีงานประกอบ (Assembly), สถานีงานเชื่อม (Welding) และสถานีงานเจียรไน (Grinding) ซึ่งทั้ง 3 สถานีงาน จะมีเวลาที่ใช้ในการทำงาน (Working Time) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.21, 4.42 และ 6.23 นาที ตามลำดับ โดยเมื่อนำข้อมูลด้านเวลาที่ใช้ในการทำงาน (Working Time) โดยเฉลี่ยดังกล่าวเหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับ Takt Time ที่มีค่าเท่ากับ 6.40 min/piece ดังแสดงในรูปที่ 11 นั้น จะเห็นได้ว่า ทั้ง 3 สถานีงาน จะมีเวลาที่ใช้ในการทำงาน (Working Time) โดยเฉลี่ยต่ำกว่าค่า Takt Time ทั้งหมด นั้นหมายความว่า ปริมาณการผลิตของกระบวนการผลิตนี้มีความเป็นไปได้ว่าจะเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าปัจจุบันที่มีปริมาณการผลิต 68 pieces/day



รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบ Working Time กับ Takt Time ของ 3 สถานีงาน สภาวะภายหลังปรับปรุง

3.6 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์

ในการออกแบบอุปกรณ์จับยึดสำหรับสถานีงานเจียรไนนั้นมีต้นทุนสำหรับอุปกรณ์ พบว่ามีต้นทุนในการสร้างอุปกรณ์ช่วยจับยึดในสถานีงานเจียรไนจำนวน 58,860 บาท ถ้าหากชิ้นส่วนแผ่นยึดโครงตัวถังรถกระบะ มีกำไรชิ้นละ 500 บาท จากปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นวันละ 7 ชิ้น ก็จะทำให้เพียง 16 วัน หรือไม่เกิน 1 เดือนก็จะคุ้มทุนและยังเพิ่มผลผลิตเพื่อสร้างกำไรได้อีกต่อไปในอนาคต

4. สรุปผลการทดลอง

การปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อลดต้นทุนในสายการผลิตชิ้นส่วนแผ่นยึดโครงตัวถังรถกระบะ ซึ่งผลการประเมินจากอัตราการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า

- 1) เวลาการผลิตต่อสถานีสูงสุด ลดลง 56 วินาที คิดเป็น 13.52 เปอร์เซ็นต์
- 2) ไม่กระทบต่อสถานีการทำงานหลัก
- 3) เวลาการผลิตรวมต่อชิ้น ลดลง 56 วินาที คิดเป็น 13.52 เปอร์เซ็นต์
- 4) อัตราการผลิตต่อวัน เพิ่มขึ้น 12 ชิ้น คิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์

5) อัตราการผลิตต่อเดือน (1 รอบการทำงาน/วัน) เพิ่มขึ้น 273 ชิ้น คิดเป็น 15.43 เปอร์เซ็นต์

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยและพัฒนาภาครัฐร่วมเอกชนในเชิงพาณิชย์ เป็นงานวิจัยร่วมกันระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และ บริษัท อาบิโก สตรัคเจอร์ส โปรดักส์ จำกัด สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากการสนับสนุนทางด้านเงินทุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ลัดดาวัลย์ มิ่งกมลรัตน์, “กิจกรรมข้อเสนอแนะเพื่อการ ปรับปรุงจุดบกพร่องและยกระดับคุณภาพของงาน” ISBN, 9747949105. Imprint, กรุงเทพฯ: สมาคม ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), (2531). Edition, พิมพ์ ครั้งที่ 2
- [2] ขวัญชัย สว่างศรี, “การจัดทำมาตรฐานสายการผลิต ติดตั้งดัมพ์”. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี, (2551).
- [3] ปาริชาติ แก้วมณ และอรรถกร เก่งพล, “การพัฒนา โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยจัดสมดุลการผลิต: กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมยานยนต์”. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2558), ปีที่ 25 ฉบับที่ 1
- [4] กอบโชค เหล็กกล้า, พนิดา กัลยา และ สานรินทร์ บุญ ยอด, “เทคนิคการลดปัญหาสายการผลิตเป็นคอขวด” ปรินญา นิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2547).
- [5] วันชัย แซ่ซิ้ม, “การจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงานใน กระบวนการประกอบหลังคารถยนต์.” วิศวกรรมศาสตร-บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี, (2547).
- [6] เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล และธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ. “การวางแผนและควบคุมการผลิต.” พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ (2540)
- [7] รุ่งนภา ฟองพา และปวีณา เขาวลิตวงศ์. “การปรับปรุง การจัดลำดับการผลิตในสายงานประกอบรถยนต์”. วารสาร วิศวกรรมศาสตร์ : ปีที่ 2 ฉบับที่ 3, ก้าวสู่ อุตสาหกรรมที่ดีกว่า : ISSN 1906-3636 : 2553.
- [8] นุชสรุา เกรียงกรกฎ และปรีชา เกรียงกรกฎ. “โปรแกรม คอมพิวเตอร์สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบ กรณี ศึกษา : โรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป จ.อุบลราชธานี”. KRU ENGINEERING JOURNAL April-june, 36(2): (2012), pp. 131-138.
- [9] Tabucanon, M. T. and J. L. Ong., “Multiproduct multistage machine requirements planning models”, Applied Mathematical Modeling, 17 (3): (1993), pp. 162-167.
- [10] Kenneth, E. Bottoms and Bartlett, E. T., “Resource Allocation through Goal Programming”, Journal of range management, 28 (6) : (1975), pp. 442-447.

ระบบแจ้งเตือนความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โนติฟาย

Soil Humidity Warning System with Humidity Sensor via Line Notification

สุพรรณา พันธุ์ถนอม¹, นันทพร มนัสโยติน¹, รุ่งฤดี พงศ์ยี่หล้า¹, พีรณัฐ ทาประเสริฐ¹,
ชาคริต มลิวัลย์¹ และ สงกรานต์ จรรจลานิมิตร^{2*}

¹หลักสูตรบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาธุรกิจดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

1761 แขวงพัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

²คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

1761 แขวงพัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

Supansa Pantanom¹, Nantaporn Manasyotin¹, Rungrudee Phongyeelar¹, Peeranat Thaprasert¹,

Chakrit Maliwan¹ and Songkran Chachalanimitr^{2*}

¹Bachelor of Business Administration Digital Business, Faculty of Business Administration,

Kasembundit University

1761 Phatthanakan Subdistrict, Suan Luang District, Bangkok 10250

²Faculty of Business Administration, Kasembundit University

1761 Phatthanakan Subdistrict, Suan Luang District, Bangkok 10250

*Corresponding author Email: songkran.cha@kbu.ac.th

(Received: September 10, 2024 / Revised: December 25, 2024 / Accepted: December 26, 2024)

บทคัดย่อ

วิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสร้างระบบแจ้งเตือนความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โนติฟาย 2) เพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ในการแจ้งเตือนความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โนติฟาย กลุ่มตัวอย่าง คือ ประชากรทั่วไปที่ทำการปลูกผัก จำนวน 20 คน ด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ คือ ระบบแจ้งเตือนความชื้นภายในดินและแบบประเมินความพึงพอใจ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลความชื้นในดิน เซนเซอร์วัดความชื้นภายในดินและระบบอินเทอร์เน็ตไร้สายที่ใช้ในการแจ้งเตือนผ่านไลน์โนติฟาย งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการสร้างเครื่องมือวัดความชื้นภายในดินที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องวัดความชื้นภายในดินที่มีการจัดจำหน่ายตามท้องตลาดที่ราคาค่อนข้างสูง ผลจากการทดลองระบบดังกล่าวผู้ใช้งานสามารถตรวจวัดปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินอย่างมีประสิทธิภาพ โดยข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถนำไปประมวลผลได้และควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ในการรดน้ำพืชได้อย่างแม่นยำและเหมาะสม ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบแจ้งเตือนความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โนติฟายโดยภาพรวมมีความพึงพอใจต่อระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ ($\bar{x}$ = 4.58, S.D. = 0.69)

คำสำคัญ: เซนเซอร์วัดความชื้น, ระบบแจ้งเตือน, อาวุธ

Abstract

This research aims 1) to create a soil moisture warning system with a moisture sensor via Line Notification and 2) to evaluate the satisfaction of using a soil moisture warning sensor via Line Notification. The sample group is 20 general vegetable farmers using a purposive selection method. The tools used are

a soil moisture warning system and a satisfaction assessment form using a microcontroller to process soil moisture, a soil moisture sensor, and a wireless internet system used to notify via Line Notification. This research presents the creation of a soil moisture measurement device that is inexpensive and has an efficiency similar to soil moisture meters that are sold in the market at a relatively high price. From the results of the experiment, the user can measure the amount of moisture in the soil effectively. The data obtained from the measurement is an electrical signal that can be processed and the amount of water used to water the plants can be controlled accurately and appropriately. The results of the evaluation of the efficiency of the soil moisture warning system with a moisture sensor via Line Notification showed that overall, the satisfaction with the system is at the highest level. The average value is at ($\bar{x}$ = 4.58, S.D. = 0.69).

Keywords: Humidity Sensor, Alarm System, Arduino

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีมีการพัฒนาก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว มีการพัฒนาอุปกรณ์เครื่องมืออำนวยความสะดวกมากมาย ทำให้ชีวิตมีความสะดวกสบายมากขึ้น โดยเฉพาะในยุคที่อินเทอร์เน็ตมีการใช้งานอย่างกว้างขวางและได้มีอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อการใช้งานตลอดเวลา

อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things) คือ สภาพแวดล้อมที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีการถ่ายโอนข้อมูลร่วมกันผ่านเครือข่าย โดยไม่จำเป็นต้องใช้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคลกับบุคคลหรือระหว่างบุคคลกับคอมพิวเตอร์ มีความสามารถในการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างกันได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต [1] เซนเซอร์วัดความชื้นในดินจึงเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อตรวจจับและวัดปริมาณความชื้น โดยจะแปลงค่าความชื้นที่ได้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สามารถนำมาประมวลผลและแสดงผลได้

Line Notify เป็นบริการและช่องทางที่ถูกต้อง สามารถส่งข้อความ การแจ้งเตือนต่างๆ ไปยัง Account ของผู้ใช้งานได้ ผ่านการใช้ HTTP POST แบบง่ายๆ ข้อจำกัดของ Line Notify คือ สามารถส่งแจ้งเตือนได้เฉพาะผู้ที่ขอใช้ หรือกลุ่มที่ผู้ขอใช้เป็นสมาชิกเท่านั้น ไม่สามารถส่งข้อความเข้าห้องสนทนาของเพื่อนๆ ได้ หากต้องการให้สามารถส่งข้อความหาใครก็ได้ ผู้ต้องใช้ Line Bot API แทน [2]

การปลูกพืชผักเป็นกิจกรรมที่ต้องอาศัยทั้งความรู้และประสบการณ์ มักพบเจอปัญหาต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพของพืชผักได้ ปัญหาเหล่านี้มีหลากหลายสาเหตุ ตั้งแต่สภาพแวดล้อม อากาศ น้ำ รวมถึงปัจจัยทางดิน ปริมาณน้ำในดินเป็นตัวแปรสำคัญในการปลูกพืชผัก เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช การมีน้ำใช้ การเติมน้ำได้ดิน และความสมบูรณ์ของระบบนิเวศน์โดยรวม [3] ความชื้นภายในดินจึงเป็นสิ่งที่ควบคุมการเจริญเติบโตของพืชผัก ถ้าความชื้นหรืออุณหภูมิต่ำหรือสูงมากเกินไปพืชผักจะไม่เจริญเติบโตอย่างเต็มที่ [4] ปัญหาที่เกิดจากความชื้นในดินที่ไม่เหมาะสม อาจเกิดจากดินแห้งแล้งหรือดินแฉะจนเกินไป ทำให้พืชขาดน้ำ ผลผลิตลดลง รากพืชขาดอากาศหายใจ เพื่ออำนวยความสะดวกในการดูแล ผู้จัดทำวิจัยนี้ เล็งเห็นปัญหาสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้ในการดูแล จึงได้ทำการสร้างเซนเซอร์วัดความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โนติฟาย เพื่อประมวลผลค่าความชื้นในดินผ่านสมาร์ตโฟน โดยจะทำงานประสานกันอย่างเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานในสถานะต่างๆ และทำการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ โดยทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง 20 ตัวอย่าง

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างระบบแจ้งเตือนความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โนติฟาย
2. เพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ในการแจ้งเตือนความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โนติฟาย

3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เซนเซอร์วัดความชื้น (Soil Moisture Sensor)
2. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 NodeMCU
3. Arduino เวอร์ชัน 1.8.19
4. สาย USB
5. สายไฟจัมเปอร์
6. กระจกตันไม้
7. ดินหมักชีวภาพมูลไส้เดือน

3.2 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์เซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โนติฟาย

1. ขั้นตอนการศึกษาข้อมูล

ศึกษาข้อมูลและรายละเอียดของปัจจัยต่างๆ รวมถึงปัจจัยทางด้านค่าความชื้นของพืช โดยรวบรวมแนวความคิดการศึกษาข้อมูลจากหลักทฤษฎีและวรรณกรรม เพื่อเขียนโครงสร้างจากการศึกษาข้อมูล ศึกษาลักษณะการปลูกผักและการควบคุมความชื้นในรูปแบบต่างๆ

2. ขั้นตอนการออกแบบและสร้างอุปกรณ์

โดยผู้วิจัยได้ออกแบบเซนเซอร์วัดความชื้นภายในดินให้ทำงานได้อย่างถูกต้องและมีมาตรฐาน เพื่อลดขั้นตอนในการออกแบบและง่ายต่อการควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 NodeMCU ผ่านแอปพลิเคชัน Line Notify โดยแอปจะทำการแจ้งเตือนให้รดน้ำ เมื่ออ่านค่าความชื้นในดินมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โดยมีหลักการทำงานของแอปพลิเคชันไลน์โนติฟาย

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

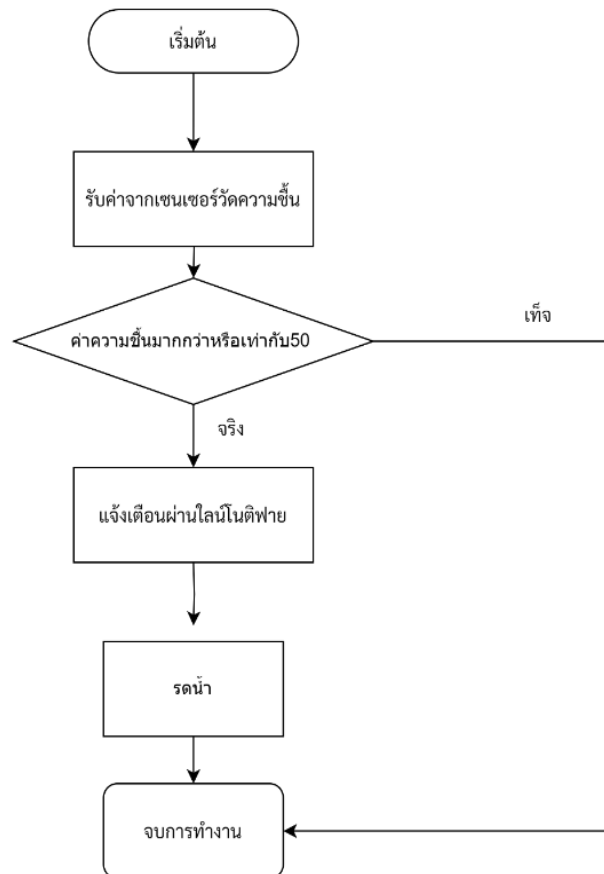
ผู้จัดทำทำการทดลองวัดความชื้นกับผักคอสจำนวน 20 ต้น ในกระถางตันไม้ ขนาดกว้าง 35 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร ทดลองในระยะเวลา 1 เดือน ปลูกไว้ในสถานที่แสงแดดรำไร โดยใช้ดินหมักชีวภาพมูลไส้เดือนในการปลูกผัก ดินชนิดนี้มีความกักความชื้นในแต่ละวันได้ดี ไม่ทำให้ดินแห้งไว ในขั้นตอนการรดน้ำจะใช้ปริมาณน้ำ 600 – 750 มิลลิเมตร ต่อการทดลอง รดน้ำให้ดินชุ่ม และทำการทดลองเซนเซอร์วัดความชื้นในดินในทันที

4. ขั้นตอนการทดลองและทดสอบประสิทธิภาพ

นำผลลัพธ์ของขั้นตอนการดำเนินงานมาบันทึกผลและวิเคราะห์ความแม่นยำของเซนเซอร์

ตอนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพอุปกรณ์เซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โนติฟาย

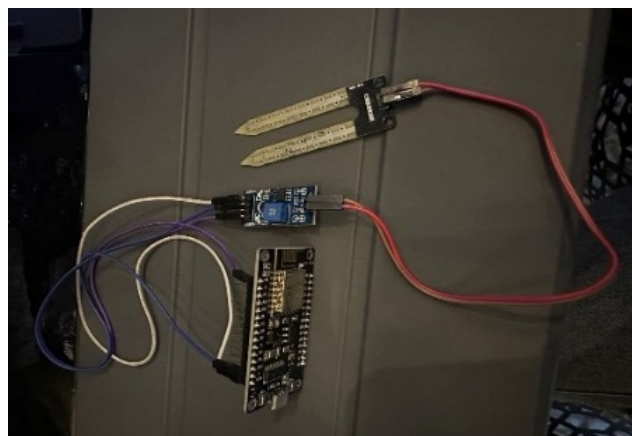
1. จากการทดลองวัดความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์ผ่านไลน์โนติฟาย โดยทดลองจากตัวอย่าง 20 ครั้ง ด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง
2. โดยการนำเซนเซอร์วัดความชื้นภายในดินมาทำการทดลองกับผักคอสที่ระดับความชื้นและเวลาต่างกัน
3. หลักการแจ้งเตือนการทำงานผ่านแอปพลิเคชันไลน์โนติฟาย เมื่อมีอ่านค่าความชื้นมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (ถ้าค่าที่อ่านได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าเซนเซอร์อยู่ในดินที่แห้ง)จะแสดงข้อความ “ความชื้นในดินต่ำ...รดน้ำหน่อย”



รูปที่ 1 ผังงานการแจ้งเตือนผ่านไลน์โนติฟาย

4. ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 โดยการนำเซนเซอร์วัดความชื้นต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP2866 และทำการเขียนโค้ดในโปรแกรม Arduino โดยตั้งค่าการแจ้งเตือนเมื่อมีค่าความชื้นต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (ถ้าค่าที่อ่านได้ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าเซนเซอร์อยู่ในดินที่ชื้น) จะแจ้งเตือนผ่านไลน์โนติฟายว่า “ความชื้นต่ำ...ขอน้ำหน่อย” เมื่อทำการรดน้ำเข้าไป ค่าความชื้นต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เซนเซอร์จะหยุดทำงาน



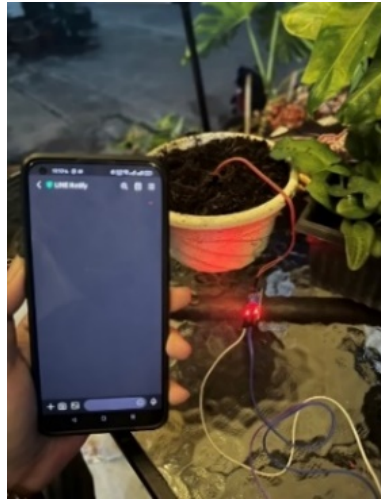
รูปที่ 2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ต่อกับตัวเซนเซอร์โดย AO คู่กับ AO G คู่กับ GND และ VIN คู่



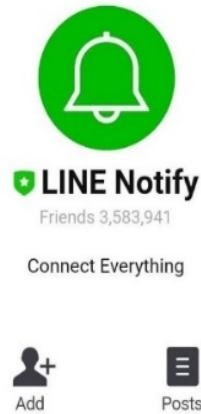
รูปที่ 3 การติดตั้งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 และ ไลบรารีในโปรแกรม Arduino



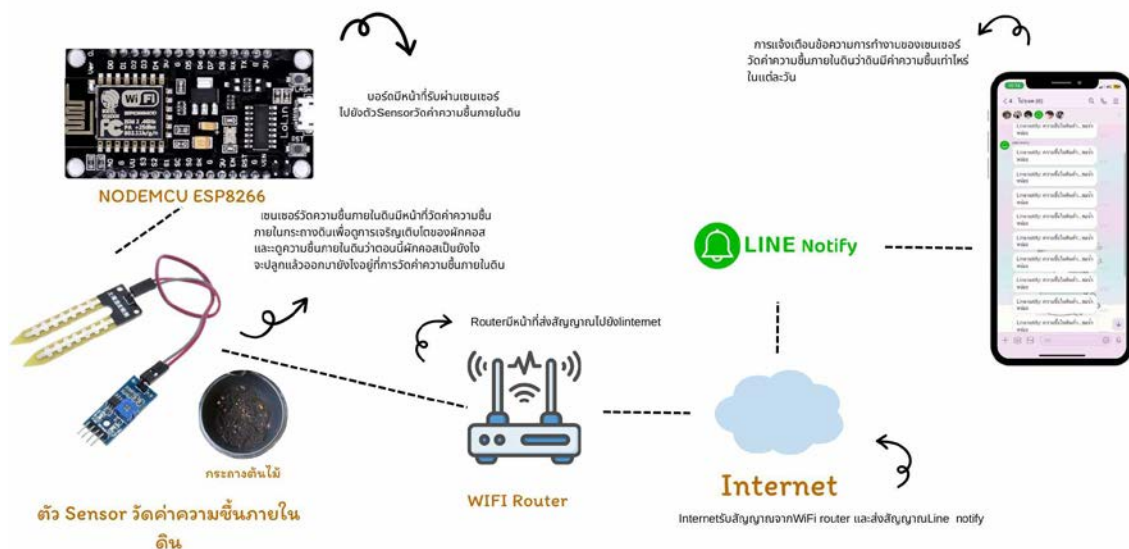
รูปที่ 4 การใส่โค้ดและอัปโหลดลงในโปรแกรม



รูปที่ 5 การปักเซนเซอร์ลงในดินในกระถางต้นไม้



รูปที่ 6 การแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์โนติฟาย



รูปที่ 7 แบบจำลองการทดลองระบบการแจ้งเตือนวัดความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์ผ่านไลน์โนติฟาย

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าความชื้นในดินด้วยระบบการแจ้งเตือนความชื้นผ่านไลน์โนติฟาย

กระถางที่	แจ้งเตือน	ไม่แจ้งเตือน	ค่าความชื้นภายในดิน
1	√		60
2		√	30
3	√		60
4	√		50
5	√		70
6		√	40
7	√		60
8		√	40
9		√	30
10		√	40
11		√	20
12	√		30
13		√	60
14	√		40
15		√	60
16		√	20
17	√		40
18		√	60
19		√	40
20			30

จากตารางที่ 1 การแจ้งเตือนความชื้นในดินผ่านไลน์โนติฟาย จากการตรวจสอบวัดค่าความชื้นในดิน เมื่อเซนเซอร์อ่านค่าความชื้นในดินมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ระบบแจ้งเตือนได้ถูกต้องทุกครั้ง (20 ครั้ง)

ตารางที่ 2 ผลการประเมินด้านความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อระบบการแจ้งเตือนวัดความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โมติฟาย

รายการ	คะแนนประสิทธิภาพ		เกณฑ์การประเมิน
	ค่าเฉลี่ย	S.D	
ระบบเซนเซอร์วัดความชื้นทำให้สะดวกในการรดน้ำมากขึ้น	4.55	0.69	มากที่สุด
ระบบเซนเซอร์ใช้งานง่ายและประหยัดเวลา	4.60	0.50	มากที่สุด
ระบบเซนเซอร์มีความเหมาะสมกับการใช้งาน	4.60	0.82	มากที่สุด
ระบบเซนเซอร์มีความหลากหลายต่อการใช้งาน	4.55	0.69	มากที่สุด
ระบบเซนเซอร์มีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด	4.50	0.69	มาก
ระบบเซนเซอร์มีประโยชน์มากน้อยเพียงใด	4.65	0.81	มากที่สุด
ระบบเซนเซอร์สามารถตั้งเวลาได้มากน้อยเพียงใด	4.30	0.92	มาก
ระบบเซนเซอร์สามารถประยุกต์ใช้ในอนาคตได้มากน้อยเพียงใด	4.70	0.57	มากที่สุด
ระบบเซนเซอร์มีความเสถียรมากน้อยเพียงใด	4.60	0.50	มากที่สุด
ระบบเซนเซอร์มีการแจ้งเตือนความชื้นในดินตรงเวลามากน้อยเพียงใด	4.70	0.66	มากที่สุด
รวม	4.58	0.69	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบการแจ้งเตือนวัดความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โมติฟายอยู่ในระดับที่มากที่สุดโดยค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ ($\bar{x} = 4.58$, S.D. = 0.69)

5. อภิปรายผล

การทำโครงการครั้งนี้เป็นการศึกษาค้นคว้าข้อมูลทั้งหมดถึงความเป็นไปได้ของอุปกรณ์ที่ต้องใช้อุปกรณ์และรูปแบบวงจรอย่างไรบ้าง เพื่อรองรับการทำงานให้เป็นไปตามรูปแบบและขอบเขตที่ได้วางแผนไว้ นอกจากนี้อุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นที่นำมาทดลองเพื่อทดสอบระบบตามแนวคิดที่ออกแบบไว้นั้น ผลที่ได้จากการทดลองนั้นเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

โดยผลการศึกษาระบบการแจ้งเตือนเซนเซอร์วัดความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โมติฟาย ทดลองในกระถาง ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 ในการควบคุมเซนเซอร์วัดความชื้น ระบบสามารถช่วยอำนวยความสะดวกที่เหมาะสม มีการแจ้งเตือนค่าที่เกินหรือต่ำกว่ามาตรฐานจากการทดสอบความถูกต้องของระบบ พบว่าตรวจสอบได้แม่นยำและในส่วนของการควบคุมผ่านแอปพลิเคชันไลน์โมติฟาย ได้ทุกสถานที่ที่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต สัญญาณมีความเสถียรดี การใช้เซนเซอร์วัดความชื้นในดินมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แอปจะทำการแจ้งเตือนให้รดน้ำ ซึ่งในการทดสอบจะเห็นว่าความชื้นและการแจ้งเตือนตรงตามเงื่อนไขทั้งหมด การเจริญเติบโตของพืชผักหลังจากได้ใช้ระบบการแจ้งเตือนวัดความชื้นภายในดิน ผลลัพธ์ออกมาได้ดีกว่าการรดน้ำทั่วไป

สอดคล้องกับทฤษฎีของ พิชรัตน์ คณะสม , เกียรติศักดิ์ จุ้ย , พงษ์พัฒน์ เพชรรัตน์ และคณะ. ระบบควบคุมการรดน้ำและตรวจสอบความชื้นในดินพร้อมแจ้งเตือน กรณีศึกษา : แปลงปลูกผักเศรษฐกิจ ต.ปากหมาก อ.ไชยา จ.สุราษฎร์ธานี โดยออกแบบระบบควบคุมการรดน้ำและตรวจสอบความชื้นในดินพร้อมแจ้งเตือน สำหรับแปลงปลูกผักที่ต้องใช้การรดน้ำแทนวิธีรดน้ำมารดด้วยบัวรดน้ำเดิม ผ่านการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นและการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน และแสดงข้อมูลบนสมาร์ตโฟนได้ผ่านอินเทอร์เน็ต มาช่วยในการควบคุมให้สามารถรับรู้ความชื้นของสภาพแวดล้อมต่างๆ ภายในระบบควบคุมโรงเรือนเพาะปลูกเป็นไปอย่างอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพ [5]

จากการทดลองการวัดค่าความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้น มีผลต่อการปลูกพืชผัก สะดวก ประหยัดเวลาในการดูแล และสามารถนำไปต่อยอดกับธุรกิจเกษตรกรได้เป็นอย่างดี ทำให้ทราบค่าความชื้นในดินได้อย่างแม่นยำ จะเห็นได้ว่าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 มีความสามารถในการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ทำให้ชีวิตง่าย

ขึ้น สะดวกสบายมากขึ้น และมีประสิทธิภาพ มีราคาที่ไม่สูง และยังสามารถนำไปทำประโยชน์ได้อีกหลายอย่าง เช่น การตรวจจับฝุ่น PM2.5 การวัดระยะทาง และอุปกรณ์เซนเซอร์ต่างๆที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต เป็นต้น

6. สรุป

จากการทดลองระบบการแจ้งเตือนเซนเซอร์วัดความชื้นในดินผ่านไลน์โนติฟาย ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์วัดความชื้น และการแจ้งเตือนผ่านไลน์โนติฟาย

การทดลองทดสอบประสิทธิภาพของระบบการแจ้งเตือนความชื้นภายในดิน จากกลุ่มตัวอย่าง 20 คน ได้ทดลองใช้เซนเซอร์วัดความชื้นภายในดิน โดยเครื่องมือจะแจ้งเตือนความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับพืชและสามารถรับรู้ค่าความชื้นในดินได้แบบ Real Time และแม่นยำ การแจ้งเตือนมีความเสถียร และหลักการทำงานของเครื่องมือเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ พบว่าผลผลิตของพืชผักเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตได้ดี ป้องกันน้ำขังหรือความเครียดจากดินแล้งในพืชผัก และจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

สอดคล้องกับทฤษฎีของ พิชรัตน์ คະเนสม, เกียรติศักดิ์ จุ้ย, พงษ์พัฒน์ เพชรรัตน์ และคณะ. ระบบควบคุมการรดน้ำและตรวจสอบความชื้นในดินพร้อมแจ้งเตือน กรณีศึกษา : แปลงปลูกผักเศรษฐกิจ ต.ปากหมาก อ.ไชยา จ.สุราษฎร์ธานี โดยออกแบบระบบควบคุมการรดน้ำและตรวจสอบความชื้นในดินพร้อมแจ้งเตือน สำหรับแปลงปลูกผักที่ต้องใช้การรดน้ำแทนวิธีตักน้ำมารดด้วยบัวรดน้ำเดิม ผ่านการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นและการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน และแสดงข้อมูลบนสมาร์ตโฟนได้ผ่านอินเทอร์เน็ต มาช่วยในการควบคุมให้สามารถรับรู้ความชื้นของสภาพแวดล้อมต่างๆ ภายในระบบควบคุมโรงเรือนเพาะปลูกเป็นไปอย่างอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพ [5]

ในการสร้างระบบการแจ้งเตือนเซนเซอร์วัดความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โนติฟาย เป็นระบบที่พัฒนาจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมผ่านเซนเซอร์ และแสดงผลผ่านไลน์โนติฟาย พบว่า สามารถเก็บผลข้อมูลได้ปกติและสามารถตอบสนองการใช้งานของผู้ใช้งานได้ทันทั่วทั้ง เป็นสิ่งที่ดีและสะดวกต่อผู้ใช้งาน ทั้งนี้สำหรับงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ใช้การควบคุมระบบความชื้นในดินเท่านั้นและข้อจำกัดในอุปกรณ์ที่ทดลองในกระถางขนาดเล็กถึงขนาดกลางอาจจะไม่เหมาะกับการปลูกพืชผักในพื้นที่ขนาดใหญ่และพืชแบบไม้ใช้ดิน จึงอาจมีการพัฒนาและปรับปรุงให้มีการตรวจสอบอุณหภูมิ และความชื้นในอากาศ ที่มีช่วงสภาพอากาศแตกต่างกันไป เพื่อหาวิธีการที่ดีที่สุดในการควบคุมการปลูกพืชผักก่อนนำไปใช้งานจริง

7. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิจัยระบบการแจ้งเตือนความชื้นภายในดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นผ่านไลน์โนติฟายในครั้งนี้ จะประสบความสำเร็จต้องขอขอบคุณคณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ที่ช่วยสนับสนุนการทำโครงการวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chiraphan Thongwichit. (2024, June 15) Internet of Things (IOT) when everything depends on the Internet. [Online]. Available: Internet of Things (IoT): เมื่อทุกสิ่งอิงกับอินเทอร์เน็ต – สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) (ipst.ac.th)
- [2] Surapha Seesa-ard, Paphasara Sarawon, Supaporn Phatthanakaew. (2024, June 17) Plant watering schedule using capacitive soil moisture sensor with Internet of Things. [Online]. Available: 256204.pdf (ku.ac.th)
- [3] Suthay Phaophang. (2024, July 6) Understanding soil moisture: importance and management. [Online]. Available: เข้าใจความชื้นในดิน: ความสำคัญและการจัดการ (neonics.co.th)

- [4] Cheliow Chaengphrai. (2024, July 13) Soil climate. [Online]. Available: D_SSK088.pdf
- [5] Rattan Kanesam, Kiatsak Juchey, Phongsapat Petchrat and others. (2024, July 19) Watering and soil moisture monitoring system with notification Case study: Economic vegetable plot, Pak Mak Subdistrict Watering and soil moisture monitoring system with notification Case study: Economic vegetable plot, Pak Mak Subdistrict, Chaiya District, Surat Thani Province. Chaiya District, Surat Thani Province. [Online]. Available: 12.P-81.pdf (chandra.ac.th)
- [6] National Institute of Health Science Research. (2024, July 20) Statistics and research. [Online]. Available: http://nih.dmsc.moph.go.th/data/data/64/activity/10_8_64/WW_v1.pdf

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความลึกในการแกะสลักด้วยเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับวัสดุอะคริลิก (กรณีศึกษา)

Factors Affecting the Depth in CO₂ Laser Engraving for Acrylic Material (Case Study)

เจษฎา แก้ววิชิต¹, มลรัตน์ แซ่อ่อง² และ สัญญา คำจริง^{3*}

^{1,2}สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (ศูนย์สุพรรณบุรี)

450 ม. 6 ถนนสุพรรณบุรี-ชัยนาท ตำบลย่านยาว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

³สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (ศูนย์นนทบุรี)

217 ถนนนนทบุรี ตำบลสวนใหญ่ อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000

Jesada Kaewwichit¹, Malirat Saeong² and Sanya Kumjing^{3*}

^{1,2}Department of Industrial Engineering, Faculty of Technical Education,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi (Suphanburi),

450 M.6, Suphanburi-Chainat Rd., Yanyao Sub-district, Samchuk District, Suphanburi Province, 72130

³Department of Tool and Die Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi (Nonthaburi),

217, Nonthaburi Rd., Suanyai Sub-district, Nonthaburi District, Nonthaburi Province, 11000

*Corresponding author Email: sanya.k@rmutsb.ac.th

(Received: December 03, 2024 / Revised: December 22, 2024 / Accepted: December 24, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในกระบวนการแกะสลักผิววัสดุอะคริลิก พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษากระบวนการแกะสลักด้วยเครื่องตัดแกะสลักเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ ประกอบไปด้วย ความเร็วตัด (Cutting Speed) 3,600-6,000 มิลลิเมตร/นาที พลังงานเลเซอร์ (Power Laser) 60-120 วัตต์ ระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงาน (Gap) 4.2-5.0 มิลลิเมตร ทำการวัดขนาดร่องการแกะสลัก ผลการทดลองประเมินจากค่าเฉลี่ยความลึกของร่องแกะสลักต่ำสุดและสูงสุดตลอดจนวิเคราะห์คุณภาพความหยาบผิวบริเวณร่องการแกะสลักกับส่วนของผิวชิ้นงาน ผลการทดลองพบว่าชิ้นงานทดสอบวัสดุอะคริลิกมีค่าเฉลี่ยค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) บริเวณร่องการแกะสลักเท่ากับ 1.965 ไมโครเมตร และบริเวณผิวชิ้นงานทดสอบเท่ากับ 1.403 ไมโครเมตร จากการปรับค่าความเร็วตัด 6,000 มิลลิเมตร/นาที ค่าพลังงานเลเซอร์ 120 วัตต์ ระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงาน 4.8 มิลลิเมตร

คำสำคัญ : อะคริลิก, กระบวนการแกะสลักด้วยเลเซอร์, ความหยาบผิว

Abstract

The aim of this study is to investigate the capability of surface engraving technology for acrylic materials. The study uses CO₂ laser engraving and cutting machine engraving technology. The study encompasses a cutting speed of 3,600- 6,000 mm/min and a laser power of 60- 120 W. The distance (gap)

between the laser cutting head and the surface of the workpiece is 4.2-5.0 mm. We measure the size of the engraving groove. The results are based on the average of the minimum engraving groove depth. We also analyze the surface roughness quality of both the carving groove and the workpiece surface in detail. The results indicate that the acrylic material has an average surface roughness. By adjusting the cutting speed, the carving groove area is $1.965 \mu\text{m}$, and the surface area of the sample is $1.403 \mu\text{m}$ using the cutting speed of 6,000 mm/min, laser power of 120 W, and distance between the laser cutting head and the workpiece surface of 4.8 mm.

Keywords: Acrylic, Laser Engraving Process, Surface Roughness

1. บทนำ

กระบวนการตัดแกะสลักด้วยเลเซอร์ คือ การใช้พลังงานเลเซอร์กำลังสูงเพื่อทำให้เนื้อวัสดุละลายออกซิไดซ์พื้นผิว หรือทำการเปลี่ยนสี ซึ่งรวดเร็ว และแม่นยำ ดังนั้นการเลเซอร์จะมีความประณีต และมีคุณภาพสูง สามารถทำเครื่องหมายตัวอักษร หรือกราฟิกที่มีขนาดเล็ก นำมาใช้ได้กับหลายอุตสาหกรรม เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ งานโฆษณา และงานศิลปะ ซึ่งชนิดของเลเซอร์เมื่อแบ่งตามประเภทของแหล่งกำเนิดแสงจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ ชนิด CO₂ Laser ชนิด Diode Laser ชนิด Fiber Laser โดยแต่ละชนิดมีการใช้งานตามความเหมาะสมกับวัสดุที่นำมาตัด หรือแกะสลัก โดยในภาคอุตสาหกรรมจะนิยมใช้เลเซอร์ชนิด CO₂ โดยแหล่งกำเนิดแสงของ Laser ชนิดนี้มาจากหลอด CO₂ โดยทั่วไปจะมีกำลัง 30-180 วัตต์ (W) โดยมีความยาวคลื่น 10.6 ไมโครเมตร (10,600 นาโนเมตร) เป็นความยาวคลื่นที่ตาเรามองไม่เห็น ไม่จำเป็นต้องใส่แว่นป้องกัน ทำงานได้หลากหลาย แต่เน้นไปที่วัสดุโลหะ ดังนั้น จึงเหมาะกับวัสดุโลหะ เช่น อะคริลิก ไม้ หนัง ยาง ฯลฯ สามารถนำไปใช้กับบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ ผ้า หัตถกรรม เฟอร์นิเจอร์ ฯลฯ เป็นต้น [1,2]

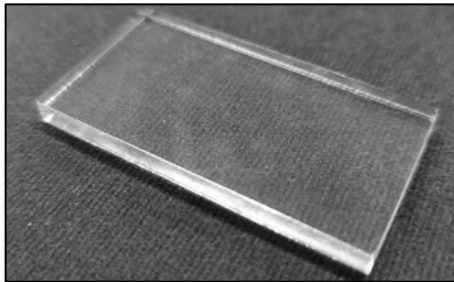
ในปัจจุบันได้มีการคิดค้น และพัฒนาขีดความสามารถของเครื่องจักร เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาด ทำให้เกิดเทคโนโลยี และเครื่องจักรสมัยใหม่ขึ้นมากมาย ซึ่งหนึ่งในนั้น คือ CNC Laser Engraving Cutting CO₂ ซึ่งเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมากจึงทำให้เลเซอร์มีบทบาทในการใช้ตัดชิ้นงานและผลิตชิ้นงานตามความต้องการได้อย่างมากมาย ปัจจุบันเลเซอร์กลายเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้มหาศาลหลาย ผลผลิตจากงานวิจัยเลเซอร์ และกลายเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายด้าน เช่น ด้านอุตสาหกรรมใช้ในการตัดโลหะ และอโลหะ ด้านทางการแพทย์ใช้ในการผ่าตัด และด้านสื่อสารโทรคมนาคม เป็นต้น [3,4,5] อีกทั้งเครื่องตัดเลเซอร์ดังกล่าวก็มี 2 แบบด้วยกัน คือ แบบตัดด้วยมือ และแบบติดตั้งกับระบบ CNC ที่ควบคุมการตัดด้วยคอมพิวเตอร์ ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแกะสลักวัสดุโลหะเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอของรอยแกะสลัก และความชัดของรอยแกะสลักจำเป็นต้องเก็บข้อมูลในปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ พลังงานเลเซอร์ (Power Laser) ความเร็วตัด (Cutting Speed) ระยะห่างของหัวตัดกับผิวชิ้นงาน (Gap) โดยผ่านกระบวนการแกะสลักด้วยเครื่องตัดแกะสลักเลเซอร์ชนิด CO₂ และผ่านกระบวนการวัดขนาดเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ซึ่งจะเก็บข้อมูลผ่านชิ้นงานแผ่นอะคริลิก [2,6]

ดังนั้น กระบวนการแกะสลักวัสดุโลหะด้วยเครื่องเลเซอร์ชนิด CO₂ Laser จำเป็นต้องศึกษา และวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับวัสดุ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการแกะสลักประกอบด้วย ความเร็วตัด (Cutting Speed) พลังงานเลเซอร์ (Power Laser) ระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงาน (Gap) งานวิจัยนี้จะศึกษาเครื่องตัดเลเซอร์ (Laser Cutting) ทำการทดลองแกะสลักผิววัสดุ และวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแกะสลักวัสดุโลหะ อะคริลิก ผ่านการวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

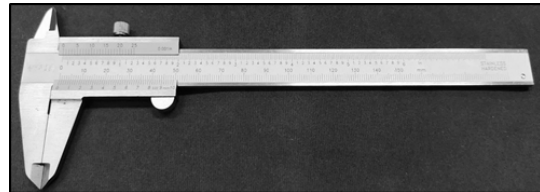
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) วัสดุที่ใช้สำหรับทดสอบ คือ อะคริลิก ขนาดความกว้าง 20 มิลลิเมตร (mm) ความยาว 20 มิลลิเมตร ความหนา 4 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 1 และถูกวัดขนาดด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ดังภาพที่ 2 หลังทำการแกะสลักด้วยเครื่องตัดแกะสลักเลเซอร์



ภาพที่ 1 ชิ้นงานทดสอบวัสดุอะคริลิก
ความหนา 4 และ 10 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2 เครื่องมือวัดเนียร์คาลิเปอร์

2) เครื่องตัดแกะสลักเลเซอร์ เป็นเครื่องตัดแกะสลักเลเซอร์ CO₂ ดังภาพที่ 3 ทำการทดลองแกะสลักชิ้นงานทดสอบค่าความลึกให้ได้ขนาดที่กำหนด โดยออกแบบตัวอักษร และทิศทางการเดินของหัวตัดเลเซอร์ผ่านโปรแกรม Auto Laser Version 2.6.5 เป็นโปรแกรมมาตรฐานของเครื่อง



ภาพที่ 3 เครื่องตัดแกะสลักเลเซอร์ชนิด CO₂

2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

กำหนดค่าความเร็วตัด พลังงานเลเซอร์ และระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และทำการทดลองเบื้องต้นแล้วพบว่า กระบวนการวัดค่าความลึกชิ้นงานด้วยเลเซอร์ชนิด CO₂ เป็นกระบวนการที่เกิดจากการควบคุมความให้เกิดปฏิกิริยาความร้อน ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์จำนวนมาก แต่พารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของค่าความลึกชิ้นงาน ได้แก่ ความเร็วตัด พลังงานเลเซอร์ และระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงาน เนื่องจากพารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นตัวแปรพื้นฐานที่ส่งผลกระทบต่อความลึกชิ้นงาน หากมีการเปลี่ยนแปลงค่าใดค่าหนึ่งจะส่งผลต่อลักษณะของค่าความลึกชิ้นงาน โดยกำหนดเงื่อนไขการทดสอบ ดังนี้

- 1) เครื่องตัดเลเซอร์แกะสลักชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ รุ่น B-1310-S
- 2) โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบลายเส้นและทิศทางการเดินของเลเซอร์ คือ Auto Laser Version 2.6.5

- 3) พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในกระบวนการแกะสลักความลึกวัสดุอะคริลิกประกอบไปด้วย
 - ก. ความเร็วตัด (Cutting Speed) ทดสอบในช่วงระหว่าง 3,600 – 6,000 มิลลิเมตรต่อนาที
 - ข. พลังงานเลเซอร์ (Power Laser) ทดสอบในช่วงระหว่าง 60 - 120 วัตต์
 - ค. ระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงาน (Gap) ทดสอบในช่วงระหว่าง 4.2 - 5.0 มิลลิเมตร
- 4) ทำการตรวจสอบคุณภาพร่องแกะสลักความลึกด้วยเครื่องมือวัดเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
- 5) ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการแกะสลักบนวัสดุอะคริลิก โดยใช้เงื่อนไขในการพิจารณา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยความลึกของร่องแกะสลัก ต่ำสุด และสูงสุด

3. ผลการทดลอง

การทดลองปรับปรุงประสิทธิภาพจากค่าความเร็วตัด (Cutting Speed) เป็นการทดสอบความเร็วในการเดินของหัวตัดเลเซอร์ที่ทำการแกะสลักชิ้นงานทดสอบวัสดุอะคริลิก 3,600 – 6,000 มิลลิเมตร/นาที เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการแกะสลัก โดยควบคุมพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 1-5 ตามลำดับ และนำชิ้นงานที่ทดสอบมาวัดขนาดความลึกแกะสลักด้วยเครื่องมือวัดเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ โดยวัดขนาดร่องการแกะสลักทุกๆ 1 มิลลิเมตร ตลอดแนวรอยแกะสลักบนชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 1 ผลการทดลองปรับค่าความเร็วตัดในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิกขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 1 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเร็วตัดที่เหมาะสมเท่ากับ 5,400 มิลลิเมตรต่อนาที เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.023874 และนำค่าความเร็วตัดที่ได้ไปทำการทดสอบหาค่าพลังงานเลเซอร์ และระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม

ตารางที่ 1 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับค่าความเร็วตัดชิ้นงานที่ระดับความลึก 1 มิลลิเมตร

ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 1 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
3,600	1.00	1.07	1.04	0.027018
4,200	0.98	1.04	1.01	0.027748
4,800	0.96	1.02	0.99	0.025495
5,400	0.94	1.00	0.97	0.023874
6,000	0.91	0.99	0.95	0.030495

ตารางที่ 2 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับค่าความเร็วตัดชิ้นงานที่ระดับความลึก 2 มิลลิเมตร

ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 2 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
3,600	2.01	2.16	2.07	0.070569
4,200	1.92	2.08	1.99	0.069857
4,800	1.83	2.00	1.91	0.068044
5,400	1.62	1.81	1.71	0.077781
6,000	1.56	1.74	1.64	0.073006

ตารางที่ 2 ผลการทดลองปรับค่าความเร็วตัดในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 2 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเร็วตัดที่เหมาะสมเท่ากับ 4,800 มิลลิเมตรต่อนาที เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.068044 และจะนำค่าความเร็วตัดที่ได้ไปทำการทดสอบหาค่าพลังงานเลเซอร์ และระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม

ตารางที่ 3 ผลการทดลองปรับค่าความเร็วตัดในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 3 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเร็วตัดที่เหมาะสมเท่ากับ 4,200 มิลลิเมตรต่อนาที เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.108074 และจะนำค่าความเร็วตัดที่ได้ไปทำการทดสอบหาค่าพลังงานเลเซอร์ และระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม

ตารางที่ 3 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับค่าความเร็วตัดชิ้นงานที่ระดับความลึก 3 มิลลิเมตร

ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 3 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
3,600	2.89	3.14	3.04	0.109453
4,200	2.87	3.11	2.99	0.108074
4,800	2.81	3.05	2.93	0.109772
5,400	2.72	3.00	2.86	0.107842
6,000	2.63	2.92	2.76	0.114367

ตารางที่ 4 ผลการทดลองปรับค่าความเร็วตัดในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเร็วตัดที่เหมาะสมเท่ากับ 4,200 มิลลิเมตรต่อนาที เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.031622 และจะนำค่าความเร็วตัดที่ได้ไปทำการทดสอบหาค่าพลังงานเลเซอร์ และระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม

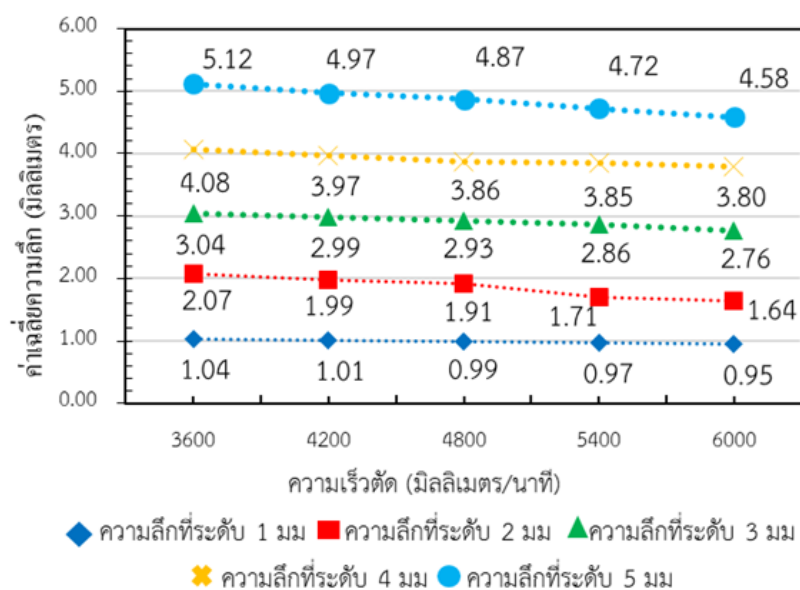
ตารางที่ 4 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับค่าความเร็วตัดชิ้นงานที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร

ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
3,600	4.02	4.13	4.08	0.044384
4,200	3.93	4.01	3.97	0.031622
4,800	3.82	3.91	3.86	0.034928
5,400	3.79	3.90	3.85	0.041472
6,000	3.74	3.85	3.80	0.043011

ตารางที่ 5 ผลการทดลองปรับค่าความเร็วตัดในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเร็วตัดที่เหมาะสมเท่ากับ 4,200 มิลลิเมตรต่อนาที เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.036469 และจะนำค่าความเร็วตัดที่ได้ไปทำการทดสอบหาค่าพลังงานเลเซอร์ และระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม

ตารางที่ 5 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับค่าความเร็วตัดชิ้นงานที่ระดับความลึก 5 มิลลิเมตร

ความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาที)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 5 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
3,600	5.05	5.16	5.12	0.043589
4,200	4.93	5.02	4.97	0.036469
4,800	4.82	4.91	4.87	0.038729
5,400	4.66	4.78	4.72	0.046151
6,000	4.52	4.64	4.58	0.049193



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบผลต่างความเร็วตัดค่าเฉลี่ยที่ระดับความลึก 1 ถึง 5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4 เปรียบเทียบผลต่างความเร็วตัดค่าเฉลี่ย ความลึกที่ระดับ 1 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 4,200 - 4,800 มิลลิเมตร/นาที ความลึกระดับ 2 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 3,600-4,200 มิลลิเมตร/นาที ความลึกระดับ 3 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 3,600-4,200 มิลลิเมตร/นาที ความลึกระดับ 4 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 4,200 มิลลิเมตร/นาที 5 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 4,200 มิลลิเมตร/นาที

ผลการทดลองปรับค่าพลังงานเลเซอร์ (Power Laser) เพื่อศึกษาปัจจัยประสิทธิภาพจากค่าพลังงานแสงเลเซอร์ชนิด CO₂ ที่ใช้ในการแกะสลักชิ้นงานทดสอบ โดยควบคุมพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ค่าความเร็วตัดที่เหมาะสมในการแกะสลักชิ้นงานทดสอบ คือ 6,000 มิลลิเมตร/นาที่, 5,400 มิลลิเมตร/นาที่, 4,800 มิลลิเมตร/นาที่, 4,200 มิลลิเมตร/นาที่ และ 3,600 มิลลิเมตร/นาที่ ตามลำดับ หลังจากทำวัดขนาดความลึกของส่วนที่หลอมละลายที่เกิดขึ้นในร่องการแกะสลักด้วยเครื่องวัดเครื่องวัดเวอร์เนียคาลิเปอร์ โดยวัดขนาดร่องการแกะสลักโดยวัดทุกๆ 1 มิลลิเมตร ตลอดแนวรอยแกะสลักแสดงผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดลองปรับค่าพลังงานเลเซอร์ในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 1 มิลลิเมตร พบว่าค่าพลังงานเลเซอร์ที่เหมาะสมเท่ากับ 60 วัตต์ เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.054129 และจะนำค่าพลังงานเลเซอร์ที่ได้ไปทำการทดสอบหาระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม

ตารางที่ 6 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับค่าพลังงานเลเซอร์ชิ้นงานที่ระดับความลึก 1 มิลลิเมตร

ความเร็วตัด 5,400 มิลลิเมตร/นาที่

พลังงานเลเซอร์ (วัตต์)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 1 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
60	0.91	1.05	0.97	0.054129
75	0.94	1.07	1.00	0.050695
90	0.96	1.09	1.03	0.052249
105	0.99	1.14	1.06	0.060663
120	1.02	1.15	1.08	0.047434

ตารางที่ 7 ผลการทดลองปรับค่าพลังงานเลเซอร์ในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 2 มิลลิเมตร พบว่าค่าพลังงานเลเซอร์ที่เหมาะสมเท่ากับ 90 วัตต์ เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.050695 และจะนำค่าพลังงานเลเซอร์ที่ได้ไปทำการทดสอบหาระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม

ตารางที่ 7 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับค่าพลังงานเลเซอร์ชิ้นงานที่ระดับความลึก 2 มิลลิเมตร

ความเร็วตัด 4,800 มิลลิเมตร/นาที่

พลังงานเลเซอร์ (วัตต์)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 2 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
60	1.58	1.72	1.65	0.055498
75	1.62	1.80	1.69	0.069065
90	1.87	2.00	1.93	0.050695
105	1.92	2.04	1.98	0.049193
120	2.01	2.12	2.07	0.044385

ตารางที่ 8 ผลการทดลองปรับค่าพลังงานเลเซอร์ในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 3 มิลลิเมตร พบว่าค่าพลังงานเลเซอร์ที่เหมาะสมเท่ากับ 75 วัตต์ เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.102811 และจะนำค่าพลังงานเลเซอร์ที่ได้ไปทำการทดสอบหาระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม

ตารางที่ 8 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับค่าพลังงานเลเซอร์ชิ้นงานที่ระดับความลึก 3 มิลลิเมตร ความเร็วตัด 5,400 มิลลิเมตร/นาที

พลังงานเลเซอร์ (วัตต์)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 3 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
60	2.66	2.80	2.73	0.055498
75	2.75	3.00	2.82	0.102811
90	2.80	3.01	2.88	0.079561
105	2.85	3.00	2.92	0.058907
120	2.87	3.12	2.95	0.096592

ตารางที่ 9 ผลการทดลองปรับค่าพลังงานเลเซอร์ในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร พบว่าค่าพลังงานเลเซอร์ที่เหมาะสมเท่ากับ 105 วัตต์ เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.056303 และจะนำค่าพลังงานเลเซอร์ที่ได้ไปทำการทดสอบหาระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม

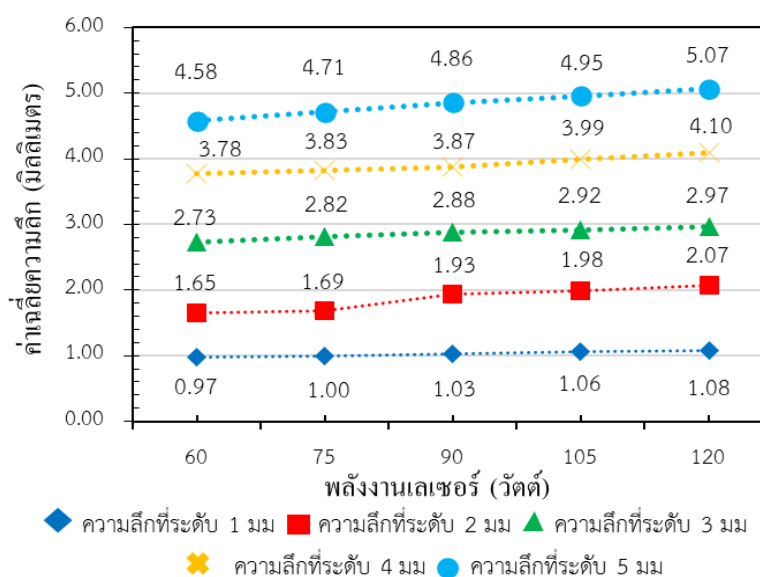
ตารางที่ 9 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับค่าพลังงานเลเซอร์ชิ้นงานที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร ความเร็วตัด 5,400 มิลลิเมตร/นาที

พลังงานเลเซอร์ (วัตต์)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
60	3.72	3.85	3.78	0.050695
75	3.77	3.89	3.83	0.047434
90	3.80	3.94	3.87	0.055408
105	3.92	4.05	3.99	0.056303
120	4.04	4.15	4.10	0.044385

ตารางที่ 10 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับค่าพลังงานเลเซอร์ชิ้นงานที่ระดับความลึก 5 มิลลิเมตร ความเร็วตัด 4,200 มิลลิเมตร/นาที

พลังงานเลเซอร์ (วัตต์)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 5 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
60	4.51	4.65	4.58	0.057271
75	4.65	4.77	4.71	0.047434
90	4.80	4.91	4.86	0.044385
105	4.91	5.00	4.95	0.036469
120	5.03	5.11	5.07	0.031623

ตารางที่ 10 ผลการทดลองปรับค่าพลังงานเลเซอร์ในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร พบว่าค่าพลังงานเลเซอร์ที่เหมาะสมเท่ากับ 105 วัตต์ เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.036469 และจะนำค่าพลังงานเลเซอร์ที่ได้ไปทำการทดสอบหาระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบผลต่างพลังงานเลเซอร์ค่าเฉลี่ยที่ระดับความลึก 1 ถึง 5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 5 เปรียบเทียบผลต่างพลังงานเลเซอร์ค่าเฉลี่ยความลึกที่ระดับ 1 มิลลิเมตร พบว่ามีค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 75 - 90 วัตต์, ที่ความลึกระดับ 2 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 105 - 120 วัตต์, ความลึกระดับ 3 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 120 วัตต์, ความลึกระดับ 4 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 105 วัตต์ และที่ความลึกระดับ 5 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 120 วัตต์

ตารางที่ 11 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่ระดับความลึก 1 มิลลิเมตร

ความเร็วตัด 5,400 มิลลิเมตร/นาที พลังงานเลเซอร์ 60 วัตต์

ระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 1 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
4.2	0.91	1.12	0.97	0.083487
4.4	0.96	1.00	0.98	0.015811
4.6	1.03	1.11	1.07	0.031623
4.8	1.07	1.14	1.10	0.028636
5.0	1.09	1.18	1.13	0.034928

ตารางที่ 11 ผลการทดลองปรับค่าระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 1 มิลลิเมตร พบว่าค่าระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่เหมาะสมเท่ากับ 4.8 วัตต์ เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.015811 และจะนำค่าพลังงานเลเซอร์ที่ได้ไปทำการทดสอบหาระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม

ตารางที่ 12 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่ระดับความลึก 2 มิลลิเมตร
ความเร็วตัด 4,800 มิลลิเมตร/นาที พลังงานเลเซอร์ 90 วัตต์

ระยะห่างระหว่างหัว ตัดเลเซอร์กับ ผิวชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 2 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
4.2	1.84	1.93	1.88	0.034928
4.4	1.91	2.00	1.94	0.035355
4.6	1.99	2.11	2.04	0.045056
4.8	2.03	2.18	2.08	0.058138
5.0	2.06	2.15	2.09	0.036469

ตารางที่ 12 ผลการทดลองปรับค่าระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 2 มิลลิเมตร พบว่าค่าระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่เหมาะสมเท่ากับ 4.8 วัตต์ เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.035355 และจะนำค่าพลังงานเลเซอร์ที่ได้ไปทำการทดสอบหาระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม

ตารางที่ 13 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่ระดับความลึก 3 มิลลิเมตร
ความเร็วตัด 5,400 มิลลิเมตร/นาที พลังงานเลเซอร์ 75 วัตต์

ระยะห่างระหว่างหัวตัด เลเซอร์กับผิวชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 3 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
4.2	2.82	2.93	2.88	0.042778
4.4	2.90	3.00	2.95	0.039623
4.6	2.98	3.08	3.03	0.039749
4.8	3.03	3.12	3.07	0.034928
5.0	3.07	3.17	3.11	0.038471

ตารางที่ 13 ผลการทดลองปรับค่าระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 4 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 3 มิลลิเมตร พบว่าค่าระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่เหมาะสมเท่ากับ 4.8 วัตต์ เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.039623 และจะนำค่าพลังงานเลเซอร์ที่ได้ไปทำการทดสอบหาระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม

ตารางที่ 14 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร
ความเร็วตัด 4,200 มิลลิเมตร/นาที พลังงานเลเซอร์ 105 วัตต์

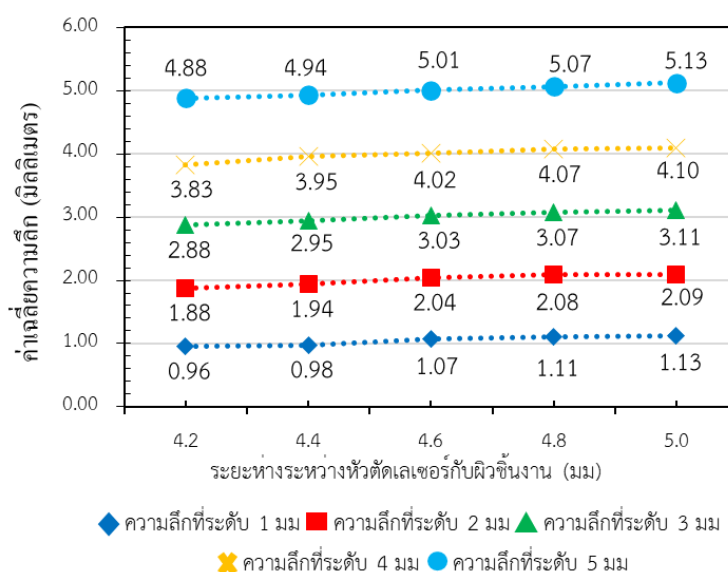
ระยะห่างระหว่างหัวตัด เลเซอร์กับผิวชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
4.2	3.79	3.89	3.83	0.038471
4.4	3.91	4.00	3.95	0.036469
4.6	3.98	4.07	4.02	0.035637
4.8	4.02	4.13	4.07	0.042778
5.0	4.07	4.15	4.10	0.022361

ตารางที่ 14 ผลการทดลองปรับค่าระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 4 มิลลิเมตร พบว่าค่าระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่เหมาะสมเท่ากับ 4.8 วัตต์ เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.036469 และจะนำค่าพลังงานเลเซอร์ที่ได้ไปทำการทดสอบหาระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม

ตารางที่ 15 ค่าความลึกแกะสลักที่ปรับระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่ระดับความลึก 5 มิลลิเมตร
ความเร็วตัด 4,200 มิลลิเมตร/นาที พลังงานเลเซอร์ 105 วัตต์

ระยะห่างระหว่างหัวตัด เลเซอร์กับผิวชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกแกะสลักที่ระดับความลึก 5 มิลลิเมตร			
	ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)	ความลึกสูงสุด (มิลลิเมตร)	ค่าความลึกเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
4.2	4.84	4.93	4.88	0.034928
4.4	4.89	5.00	4.94	0.043243
4.6	4.97	5.06	5.01	0.034928
4.8	5.03	5.10	5.07	0.028636
5.0	5.08	5.17	5.13	0.036469

ตารางที่ 15 ผลการทดลองปรับค่าระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานในการแกะสลักชิ้นงานอะคริลิก ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร ที่ระดับความลึก 5 มิลลิเมตร พบว่าค่าระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่เหมาะสมเท่ากับ 4.8 วัตต์ เนื่องจากมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.043243 และจะนำค่าพลังงานเลเซอร์ที่ได้ไปทำการทดสอบหาระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับชิ้นงานที่เหมาะสม



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบผลต่างระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานค่าเฉลี่ยที่ระดับความลึก 1 ถึง 5 มิลลิเมตร

ภาพที่ 6 เปรียบเทียบผลต่างระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานค่าเฉลี่ยความลึกที่ระดับ 1 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 4.6 - 4.8 มิลลิเมตร, ความลึกระดับ 2 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 4.6 มิลลิเมตร, ความลึกระดับ 3 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 4.6 มิลลิเมตร, ความลึกระดับ 4 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 4.6 มิลลิเมตร และความลึกระดับ 5 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยร่องแกะสลักอยู่ระหว่าง 4.6 มิลลิเมตร

4. อภิปรายผล

ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแกะสลักชิ้นงานทดสอบอคริลิก ซึ่งประสิทธิภาพของร่องแกะสลักโดยประเมินจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยร่องแกะสลัก ต่ำสุด สูงสุด ดังตารางที่ 1-15 โดยในการปรับค่าพารามิเตอร์ประกอบไปด้วย ค่าความเร็วตัด (มิลลิเมตร/นาท) ค่าพลังงานเลเซอร์ (วัตต์) และระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงาน (มิลลิเมตร) ซึ่งค่าแต่ละค่านี้มีผลต่อพลังงานความร้อนที่เกิดบนผิวชิ้นงานทำให้ร่องแกะสลักมีลักษณะที่แตกต่างกัน จึงได้ทำการแบ่งช่วงการทดลองออกเป็น 3 ช่วง โดยแต่ละช่วงจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์เพียงค่าเดียว และทำการวิเคราะห์ผลการทดลองดังแสดงในกราฟเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวกับชิ้นงานอะคริลิก

5. สรุป

- 1) ความลึกขนาด 1 มิลลิเมตร ความหนา 4 มิลลิเมตร ใช้พารามิเตอร์ 70/70 มิลลิเมตร/วินาที ค่าความเร็วตัดที่เหมาะสมเท่ากับ 4,200 มิลลิเมตร/นาท ค่าพลังงานแสงเลเซอร์เหมาะสมเท่ากับ 60 วัตต์ ระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่เหมาะสมเท่ากับ 4.8 มิลลิเมตร
- 2) ความลึกขนาด 2 มิลลิเมตร ความหนา 4 มิลลิเมตร ใช้พารามิเตอร์ 50-60 มิลลิเมตร/วินาที ค่าความเร็วตัดที่เหมาะสมเท่ากับ 4,800 มิลลิเมตร/นาท ค่าพลังงานเลเซอร์เหมาะสมเท่ากับ 90 วัตต์ ระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่เหมาะสมเท่ากับ 4.8 มิลลิเมตร
- 3) ความลึกขนาด 3 มิลลิเมตร ความหนา 4 มิลลิเมตร ใช้พารามิเตอร์ 85/85 มิลลิเมตร/วินาที ค่าความเร็วตัดที่เหมาะสมเท่ากับ 4,200 มิลลิเมตร/นาท ค่าพลังงานเลเซอร์เหมาะสมเท่ากับ 75 วัตต์ ระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่เหมาะสมเท่ากับ 4.8 มิลลิเมตร

- 4) ความลึกขนาด 4 มิลลิเมตร ความหนา 10 มิลลิเมตร ใช้พารามิเตอร์ 75/75 มิลลิเมตร/วินาที ค่าความเร็วตัดที่เหมาะสมเท่ากับ 5,400 มิลลิเมตร/นาที กำลังงานเลเซอร์เหมาะสมเท่ากับ 105 วัตต์ ระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่เหมาะสมเท่ากับ 4.8 มิลลิเมตร
- 5) ความลึกขนาด 5 มิลลิเมตร ความหนา 10 มิลลิเมตร ใช้พารามิเตอร์ 54/54 มิลลิเมตร/วินาที ค่าความเร็วตัดที่เหมาะสมเท่ากับ 5,400 มิลลิเมตร/นาที ค่ากำลังงานเลเซอร์เหมาะสมเท่ากับ 105 วัตต์ ระยะห่างระหว่างหัวตัดเลเซอร์กับผิวชิ้นงานที่เหมาะสมเท่ากับ 4.8 มิลลิเมตร

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายกิตติโชติ ชูกร และ นางสาวปริญธร สังข์รอด ผู้ช่วยวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้ความอนุเคราะห์และให้การสนับสนุนเครื่องเครื่องตัดแกะสลักเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ เครื่องมีวัด และวัสดุ อุปกรณ์สำหรับทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชนิดของเลเซอร์. [ออนไลน์]
เข้าถึงได้จาก https://mintrabpp.blogspot.com/p/blog-page_10.html (9 พฤศจิกายน 2566).
- [2] เครื่องตัดแกะสลักเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์. [ออนไลน์]
เข้าถึงได้จาก <https://www.print3dd.com/laser-CO2-fiber-diode/> (12 พฤศจิกายน 2566).
- [3] ฤทธิชัย สังฆทิพย์, เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร และประยูร สุรินทร์ 2555. “การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตัดสแตนเลสเกรด 304 ด้วยเครื่องเลเซอร์ CO2”. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน.
- [4] นรา บุรีพันธ์ 2554. “อิทธิพลของสภาวะการตัดเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SU304 ด้วยเลเซอร์ที่มีผลต่อความหยาบผิว” สาขาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [5] จริญญา บัวชุม, กรรณชัย กลัยาศิริ 2562. “การหาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรในการตัดแผ่นอะลูมิเนียมเกรด EN AW-6061 T6 ด้วย Nd-YAG เลเซอร์”. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] กระบวนการของการแกะสลักเลเซอร์. [ออนไลน์]
เข้าถึงได้จาก https://www.trumpf.com/en_IN/solutions/applications/laser-cutting/ (16 พ.ย. 2566).

การเปรียบเทียบผิวรอยกัดของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20

ด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติแบบ 3 และ 5 แกน

Comparison of Machining Surface of Mold Steel AISI-P20

in 3 and 5-Axis CNC Milling Machines

ฐานทัพ นนท์ตุลา, ปิยะพงษ์ คำคุณ*, สุธธิลักษณ์ พิลลา, สมพร ปิยะพันธ์ และ โอริส มณีสาย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนลิ้นจี่ ทุ่งมหาเมฆ สาทร กรุงเทพฯ 10120

Thantup Nontula, Piyapong Kumkoon*, Suttalak Pila, Somporn Peyapan and Oris Maneesai

Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Krungthep,

2 Nanglinchi Rd., Thungmahamek, Sathorn, Bangkok, 10120

*Corresponding author Email: piyapong.k@mail.rmutk.ac.th

(Received: December 08, 2024 / Revised: December 24, 2024 / Accepted: December 25, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพผิวรอยกัดส่วนโค้งของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20 ด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติแบบ 3 และ 5 แกน โดยทำการออกแบบชิ้นงานตัวอย่างต้นแบบเป็นลักษณะรูปคลื่นผิวนูนโค้งที่มีรูปแบบผิวโค้งนูน และเว้าที่มีรัศมีที่แตกต่างกัน และใช้ชุดคำสั่งด้วยโปรแกรม Siemens NX12 (CAD-CAM software) สำหรับวัสดุตัดเฉือนหรือแปรรูปด้วยกระบวนการกัด คือ ดอกกัดมุมฉาก (Flex End Mills) ทั้งสแตนคาร์ไบด์แบบ 4 ฟัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และดอกกัดรัศมีโค้ง (Ball End Mills) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบ ความเร็วเคลื่อนที่และเงื่อนไขอื่นๆ ตามที่กำหนด ประเมินผลค่าความหยาบผิวของชิ้นงานทดสอบ และเปรียบเทียบเวลาที่ใช้สำหรับดำเนินการด้วยกระบวนการกัดอัตโนมัติแบบ 3 และ 5 แกน ผลการทดลองพบว่าวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ P20 กัดอัตโนมัติแบบ 3 แกน มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยน้อยที่สุดที่ตำแหน่งรัศมีโค้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 2.039 ไมโครเมตร และกัดอัตโนมัติแบบ 5 แกน มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยน้อยที่สุดที่ตำแหน่งรัศมีโค้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 1.861 ไมโครเมตร จากการแสดงของโปรแกรม Siemens NX12 และเวลาปฏิบัติงานจริง พบว่าการกัดแปรรูปแบบ 3 และ 5 แกน ใช้เวลาจำลองจากชุดคำสั่งของโปรแกรมใกล้เคียงกัน แต่เมื่อดำเนินการปฏิบัติงานจริง การกัดแปรรูปแบบ 3 แกน ใช้เวลาน้อยกว่าการกัดแปรรูปแบบ 5 แกน เท่ากับ 12.98 นาที

คำสำคัญ : เหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20, ดอกกัดมุมฉาก, ดอกกัดรัศมีโค้ง, การกัดแบบ 3 แกน, การกัดแบบ 5 แกน

Abstract

The objective of this research is to study the surface quality of curve milling marks of mold steel AISI-P20 using automatic 3 and 5-axis milling machines. The prototype example is a curved convex waveform, featuring a convex curved surface pattern and varying concave radii. Use a command set with the Siemens NX12 program (CAD-CAM software) for machining materials and processing them with a milling process. These are right-angle end mills (Flex End Mills), 4-tooth tungsten carbide, diameter 5 mm, and curved-radius end mills of 2 mm diameter with rotational speed, movement speed, and other conditions

as specified. We evaluated the surface roughness values of the test specimens for both materials and compared the operating times for 3 and 5-axis automated milling processes. According to the results, the plastic mold steel material P20, 3-axis automatic milling has the lowest average surface roughness value at the 2nd arc radius position. At the 2nd arc radius position, there is 2.039 micrometer, and 5-axis automatic milling has the lowest average surface roughness value, approximately 1.861 micrometer. The Siemens NX12 program and the actual operating times, the result shows that 3- and 5-axis milling operations are comparable. The simulation time for the program's instruction set is comparable. When the work is actually performed, 3-axis milling takes 12.98 minutes less than 5-axis milling.

Keywords: Mold Steel AISI-P20, Flex End Mill, Ball End Mill, 3-Axis Milling, 5-Axis Milling

1. บทนำ

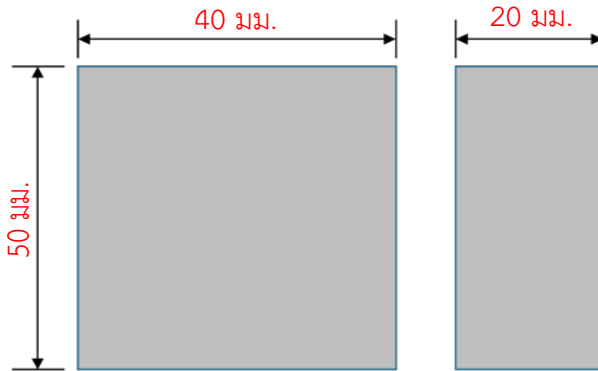
ปัจจุบันนี้ในงานอุตสาหกรรมมีการพัฒนาความเจริญก้าวหน้าในการนำ เอาซอฟต์แวร์ หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามา มีบทบาทหน้าที่ในการทำงานทางอุตสาหกรรมมากขึ้น ทำให้เกิดการตั้งสมมติฐานต่างๆ ที่นำเอามาศึกษาเพื่อที่จะหาการ เปรียบเทียบของข้อมูล หรือข้อสรุป นำมาซึ่งการปฏิบัติงานที่มีข้อผิดพลาด และให้ประสิทธิภาพได้อย่างสูงสุด ทางผู้วิจัยจึงมี สมมติฐานว่าระหว่างเครื่องกัดชิ้นงานแบบ 3 แกน และเครื่องกัดชิ้นงานแบบ 5 แกน โดยที่บริเวณผิวชิ้นงานที่ทำการกัดนั้น มี ลักษณะนูนโค้ง ซึ่งจะนำ เอาโปรแกรม Siemens NX12 หรือซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์มาใช้คำสั่งปฏิบัติงานการกัดชิ้นรูปโค้ง (Contour Milling) เพื่อการเปรียบเทียบของข้อมูลและสรุปผล [1,2,3]

ความสำคัญของการกัดผิวโค้ง การทำให้เกิดผิวโค้งบนงานด้วยดอกกัดทรงมีโค้ง (Ball End Mill) ถูกป้อนกลับไปกลับมา ทำงานตามแนวโค้ง เพื่อสร้างรูปทรงพื้นผิวสามมิติที่ต้องการบนพื้นผิวชิ้นงานมักใช้เพื่อสร้างรูปทรงของแม่พิมพ์ (Molds and Dies) ความสำคัญของความหยาบผิว ความหยาบบนพื้นผิวชิ้นงานทำให้ความแม่นยำลดลง อาจก่อให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพ ของชิ้นงานตามมา [4] ดังนั้นในด้านอุตสาหกรรมจึงมีการควบคุมความคลาดเคลื่อนของพื้นผิว เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ ค่าความหยาบ (Roughness Value) จึงเป็นพารามิเตอร์ (ค่าคงที่) สำคัญที่ใช้ในการกำหนดความเหมาะสมของพื้นผิวชิ้นงาน ผลิต การกัดชิ้นรูปโค้ง เป็นการกัดชิ้นงานให้เป็นรูปโค้ง นูน เว้า หรือรูปทรงอื่นๆ ด้วยหัวกัดที่มีรูปทรงพิเศษซึ่งเป็นตัวกำหนด รูปร่างของร่องที่ตัด ซึ่งสามารถใช้เครื่องจักรอัตโนมัติในการกัดได้ทั้งแบบ 3 และ 5 แกน แต่ยังไม่ทราบ ถึงความหยาบผิว และ ระยะเวลาในการกัดโดยเฉลี่ย ทางผู้วิจัยจึงได้สร้างชิ้นงานที่มีลักษณะผิวโค้งขึ้นมาจากวัสดุต่างชนิดกัน เพื่อศึกษาค่าความ หยาบผิวเฉลี่ย ระยะเวลาในการกัด ของแต่ละแกน แตกต่างกันอย่างไ [5] ความสำคัญของเครื่องกัด CNC ในกระบวนการ ผลิตเครื่องกัด CNC ทำงานด้วยระบบดิจิทัล ซึ่งช่วยในการผลิตชิ้นงานที่มีความยากหรือต้องการความละเอียดสูง ด้วยการ แก้ไขปัญหาและวางแผนด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ทำให้ชิ้นงานที่ผลิตด้วยเครื่องกัด CNC มีความละเอียด และช่วยให้ กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น [6]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพผิวของการกัดชิ้นรูปลักษณะรูปคลื่นผิวบนโค้งของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20 ด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ แบบ 3 และ 5 แกน และเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ระหว่างคำสั่งด้วยโปรแกรม Siemens NX12 และเวลาปฏิบัติงานจริงของทั้งรูปแบบการกัดชิ้นงานทดสอบ

2. วัสดุ และอุปกรณ์

1) วัสดุที่ใช้สำหรับทดสอบ คือ เหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20 ขนาดความกว้าง 20 มม. ความยาว 40 มม. และความหนา 50 มม. แสดงดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ตามลำดับ

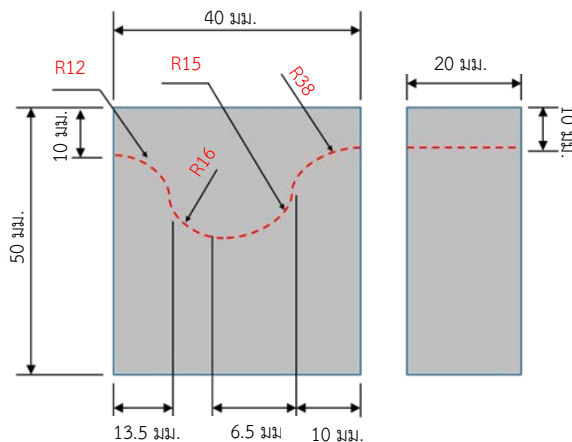


ภาพที่ 1 การออกแบบขนาดชิ้นงานทดลอง 20 x 40 x 50 มม.



ภาพที่ 2 ลักษณะวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20 สำหรับทดลอง

2) การออกแบบแนวทางเดินการกัด และชุดคำสั่งด้วยโปรแกรม Siemens NX12 โดยกำหนดให้ตำแหน่งรัศมีโค้งทั้งหมด 4 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งรัศมีโค้งที่ 1 มีรัศมี 12 มม. ตำแหน่งรัศมีโค้งที่ 2 มีรัศมี 16 มม. ตำแหน่งรัศมีโค้งที่ 3 มีรัศมี 15 มม. และตำแหน่งรัศมีโค้งที่ 4 มีรัศมี 38 มม. แสดงดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 ออกแบบแนวทางเดินการกัดเป็นรูปคลื่นที่มีลักษณะรูปคลื่นผิวนูนโค้ง

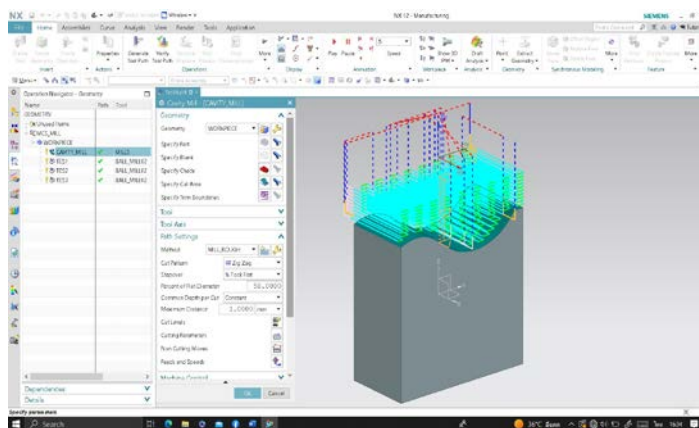


ภาพที่ 4 ลักษณะชิ้นงานขึ้นรูปคลื่นผิวนูนโค้ง

3) เครื่องมือ และอุปกรณ์

- ดอกกัดมุมฉาก (Flex End Mills) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. อัตราการป้อน 510 มม./รอบ และความเร็วรอบ 5350 รอบ/นาที
- ดอกกัดรัศมีโค้ง (Ball End Mills) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. อัตราการป้อน 210 มม./รอบ และความเร็วรอบ 15000 รอบ/นาที
- ชุดคำสั่งกัดจากโปรแกรม Siemens NX12 แบบ 3 และ 5 แกน ลักษณะรูปคลื่นผิวนูนโค้ง แสดงตามภาพที่ 5
- เครื่องจักรอัตโนมัติ (Computer Numerical Control: CNC) รุ่น UMC 750 แสดงตามภาพที่ 6

- กล้องจุลทรรศน์ (Laser Confocal Microscope ยี่ห้อ Olympus) รุ่น OLS 00.500 5000 กำลังขยายไมโครเมตร



ภาพที่ 5 การออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม Siemens NX12



ภาพที่ 6 เครื่องจักรอัตโนมัติ รุ่น UMC 750 (Computer Numerical Control; CNC)

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

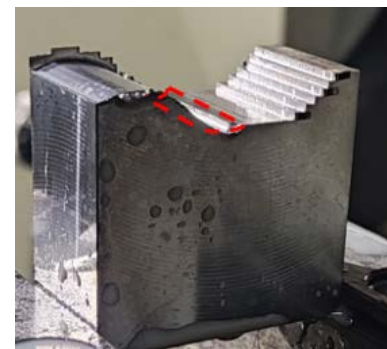
3.1 ดำเนินการตามขั้นตอนในการกัณฑ์ภายในครั้งที่ 1 - 4 ในลักษณะการกัณฑ์ขนาดผิวหยาบของชิ้นงานแบบ 3 แกน แสดงตัวอย่างขั้นตอนการกัณฑ์ตามภาพที่ 7 (ก) - (จ) ตามลำดับ



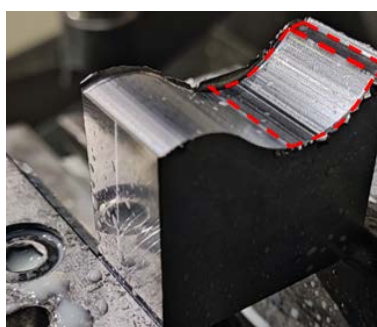
(ก) กัณฑ์ขนาดผิวหยาบของชิ้นงาน



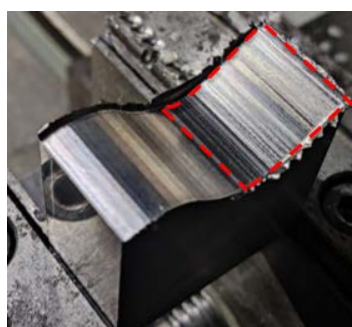
(ข) กัณฑ์ผิวชิ้นงานในพื้นที่ผิวโค้งที่ 1



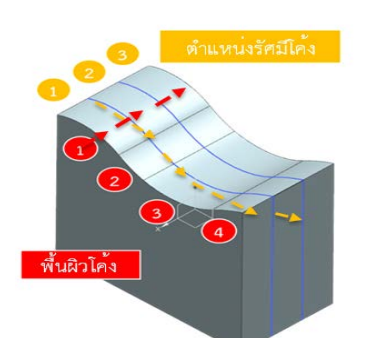
(ค) กัณฑ์ผิวชิ้นงานในพื้นที่ผิวโค้งที่ 2



(ง) กัณฑ์ผิวชิ้นงานในพื้นที่ผิวโค้ง 3



(จ) กัณฑ์ผิวชิ้นงานในพื้นที่ผิวโค้ง 4



(ฉ) ตำแหน่งรัศมีโค้งของชิ้นงาน และพื้นที่ผิวโค้งในแต่ละพื้นผิว

ภาพที่ 7 ตัวอย่างลักษณะการกัณฑ์ผิวชิ้นงานในพื้นที่ผิวโค้งที่ 1 - 4 ประเภทแนวทางการกัณฑ์แบบ 3 แกน

3.2 วัดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานทดลอง ตรวจสอบค่าความหยาบผิวของชิ้นงานทดสอบหลังจากผ่านกระบวนการกัดแบบหยาบ และเก็บความละเอียดของผิวชิ้นงานประเภทแนวทางเดินการกัดแบบ 3 แกน และ 5 แกน นำมาเปรียบเทียบระยะเวลาในการปฏิบัติงานและค่าความหยาบผิว แสดงตำแหน่งการตรวจสอบตามภาพที่ 7 (ฉ) ด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์ Laser Confocal Microscope กำลังขยาย x5

3.3 เปรียบเทียบระยะเวลาในการปฏิบัติงาน และค่าความหยาบผิวของวัสดุ

3.4 ประเมินผลเปรียบเทียบที่ได้วิเคราะห์ และประเมินผลการทดลองทำการเปรียบเทียบระยะเวลาในการปฏิบัติงาน และค่าความหยาบผิวของวัสดุ

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพผิวรอยกัดขึ้นรูปคลื่นผิวนูนโค้งแบบ 3 และ 5 แกน

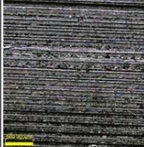
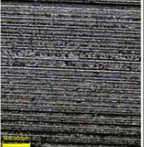
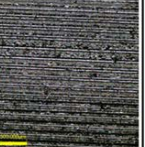
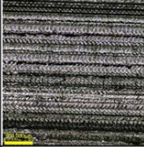
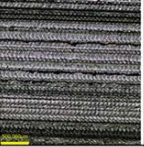
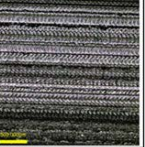
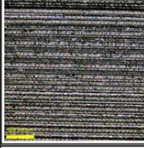
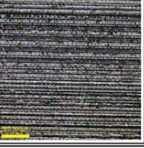
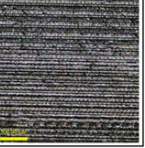
จากการทดลองแปรรูปวัสดุทดสอบผ่านกระบวนการกัด CNC แบบ 3 แกน และตรวจสอบลักษณะผิวงานด้วยกล้องจุลทรรศน์ Laser Confocal Microscope ยี่ห้อ Olympus รุ่น OLS5000 กำลังขยาย 500.00 ไมโครเมตร แสดงตามภาพที่ 8 ผลลัพธ์ที่ได้ปรากฏว่าในแนวทางเดินการกัดบริเวณ :

พื้นผิวโค้งที่ 1 ทั้ง 3 ตำแหน่งรัศมีโค้ง พบแนวทางเดินการกัดมีความสม่ำเสมอ ทำให้เห็นถึงรอยกัดได้อย่างชัดเจน พื้นผิวชิ้นงานแบ่งตัวเป็นชั้นอย่างชัดเจน

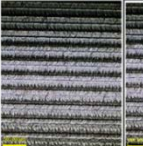
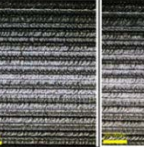
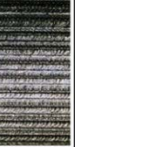
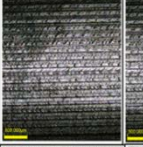
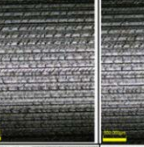
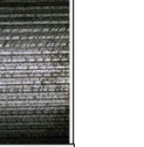
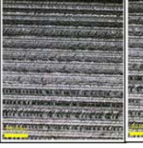
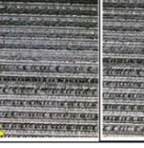
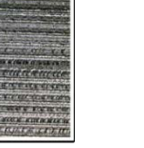
พื้นผิวโค้งที่ 2 ทั้ง 3 ตำแหน่งรัศมีโค้ง มีแนวทางเดินการกัดมีจำนวนความถี่ของการกัดมาก ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไม่สามารถเห็นรอยกัดได้อย่างชัดเจน ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานโค้งลงแบ่งเป็นชั้นบันได

พื้นผิวโค้งที่ 3 ทั้ง 3 ตำแหน่งรัศมี มีโค้งมีแนวทางเดินการกัดไม่สม่ำเสมอ ลักษณะแนวการกัดมีทิศทางตรงกันข้าม ลักษณะของชิ้นงานเป็นโค้งเว้าลงพื้นผิวแบ่งชั้นได้อย่างชัดเจน

พื้นผิวโค้งที่ 4 แนวทางเดินการกัดมีจำนวนความถี่ของรอยกัดมาก ร่องรอยการกัดสม่ำเสมอพื้นผิวของชิ้นงานมีลักษณะคล้ายกับพื้นผิวโค้งที่ 3

พื้นที่ผิวโค้ง (มม.)	ลักษณะผิวรอยกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก P20 แบบ 3 แกน		
	พื้นที่ผิวโค้งที่ 1	พื้นที่ผิวโค้งที่ 2	พื้นที่ผิวโค้งที่ 3
1 (12)			
2 (16)			
3 (15)			
4 (38)			

ภาพที่ 8 ลักษณะรอยกัดผิว แบบ 3 แกน

พื้นที่ผิวโค้ง (มม.)	ลักษณะผิวรอยกัดเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก P20 แบบ 5 แกน		
	พื้นที่ผิวโค้งที่ 1	พื้นที่ผิวโค้งที่ 2	พื้นที่ผิวโค้งที่ 3
1 (12)			
2 (16)			
3 (15)			
4 (38)			

ภาพที่ 9 ลักษณะรอยกัดผิว แบบ 5 แกน

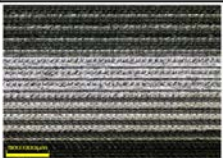
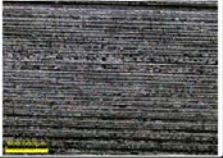
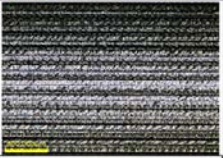
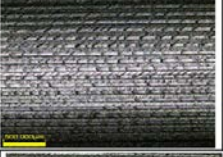
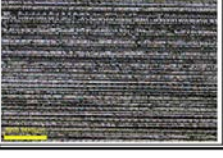
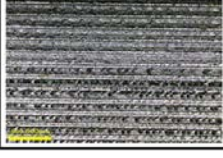
จากภาพที่ 9 วัสดุที่ใช้ทดสอบเป็นวัสดุแข็งประเภทเหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20 หลังจากผ่านกระบวนการกัด CNC ขึ้นงานแบบ 5 แกน ดำเนินการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ Laser Confocal Microscope ยี่ห้อ Olympus รุ่น OLS5000 กำลังขยาย 500.00 ไมโครเมตร ผลลัพธ์ที่ได้ปรากฏว่าในแนวทางการกัดจากการตรวจสอบด้วยสายตาพบว่า :

พื้นผิวโค้งที่ 1 ทั้ง 3 ตำแหน่งรัศมีโค้ง มีลักษณะรอยกัดเป็นชั้นบันไดพื้นผิวของชิ้นงานมีความสม่ำเสมอ

พื้นผิวโค้งที่ 2 ทั้ง 3 ตำแหน่งรัศมีโค้ง มีแนวทางการกัดชัดเจน ลักษณะรอยกัดแบ่งเป็นชั้น และพื้นผิวมีความสม่ำเสมอ ลักษณะคล้ายกันกับพื้นผิวโค้งที่ 1 แต่มีความละเอียดมากกว่า

พื้นผิวโค้งที่ 3 ทั้ง 3 ตำแหน่งรัศมีโค้ง มีระยะแนวทางการกัดที่สม่ำเสมอ โดยผิวชิ้นงานมีความละเอียดคล้ายกันผิวชิ้นงานพื้นผิวโค้งที่ 2 ซึ่งมีทิศทางของแนวทางการกัดที่ตรงข้ามกับพื้นผิวโค้งที่ 1 และพื้นผิวโค้งที่ 2

พื้นผิวโค้งที่ 4 ทั้ง 3 ตำแหน่งรัศมีโค้ง มีระยะแนวทางการกัดที่สม่ำเสมอ แต่มีความระเอียดน้อยกว่าพื้นผิวโค้งที่ 3 เล็กน้อย

พื้นผิวโค้ง (มม.)	ลักษณะผิวรอยกัดวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ P20 (ตำแหน่งรัศมีโค้งที่ 2)	
	แบบ 3 แกน	แบบ 5 แกน
1 (12)		
2 (16)		
3 (15)		
4 (38)		

ภาพที่ 10 เปรียบเทียบลักษณะผิวรอยกัดแบบ 3 และ 5 แกน

ภาพที่ 10 เปรียบเทียบลักษณะผิวรอยกัดแบบ 3 และ 5 แกน ของวัสดุทดสอบจากภาพถ่ายด้วยสายตาพบว่า :

พื้นผิวโค้งที่ 1 การกัดด้วยชุดคำสั่งแบบ 3 แกน มีลักษณะเป็นรอยกัดเป็นชั้นบันไดเหมือนกับการกัดด้วยชุดคำสั่งแบบ 5 แกน แต่การกัดด้วยชุดคำสั่งแบบ 5 แกนมีผิวที่สม่ำเสมอมากกว่า การกัดชุดคำสั่งแบบ 3 แกน

พื้นผิวโค้งที่ 2 การกัดด้วยชุดคำสั่งแบบ 3 แกน มีลักษณะเป็นรอยกัดเป็นชั้นบันไดเหมือนกับการกัดด้วยชุดคำสั่งแบบ 5 แกน แม้จะดูมีความละเอียดมากกว่า พื้นผิวของ ชุดคำสั่งแบบ 3 แกนนั้น ไม่มีความสม่ำเสมออย่างเห็นได้ชัด

พื้นผิวโค้งที่ 3 การกัดด้วยชุดคำสั่งแบบ 3 แกน มีลักษณะเป็นรอยกัดเป็นชั้นบันไดเหมือนกับการกัดด้วยชุดคำสั่งแบบ 5 แกน แต่ชุดคำสั่งแบบ 3 แกน มีรอยกัดเป็นลักษณะขั้นที่ดูห่างกัน และเป็นแอ่งกระทะอย่างชัดเจน ต่างจากชุดคำสั่งแบบ 5 แกน ที่รอยกัดผิวเป็น ลักษณะแอ่งกระทะเหมือนกันแต่มีความละเอียดที่มากกว่า และไม่แบ่งเป็นชั้นห่างจนเกินไป

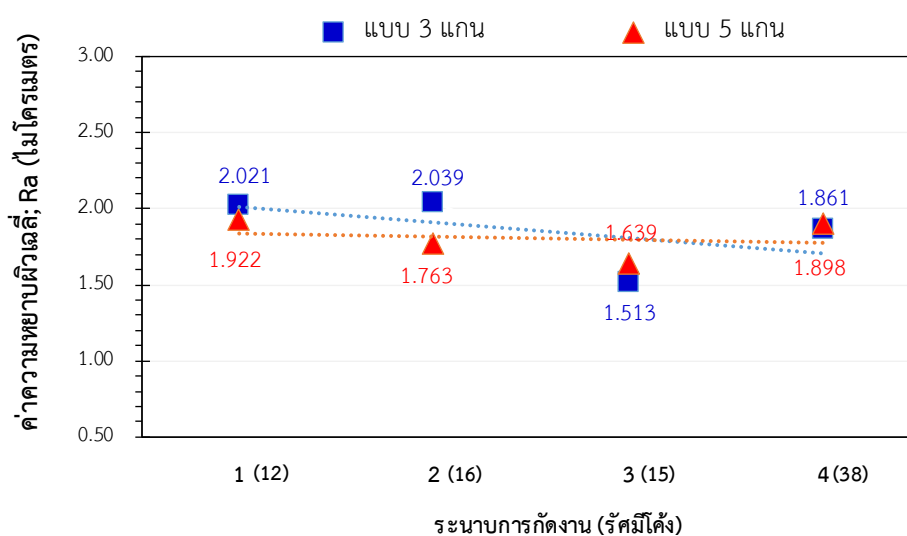
พื้นผิวโค้งที่ 4 การกัดด้วยชุดคำสั่งแบบ 3 แกน มีลักษณะแตกต่างจากชุดคำสั่งแบบ 5 แกน ตรงที่มีรอยกัดที่ละเอียดกว่า และเป็นพื้นผิวโค้งเดียวกันแต่พื้นผิวเป็นขั้น และมีลักษณะเป็นคลื่น ส่วนชุดคำสั่งแบบ 5 แกน นั้นมีลักษณะของรอยกัดที่ตรงกันตรงข้ามกันจากซ้ายไปขวาแต่พื้นผิวมีความสม่ำเสมอ

4.2 ผลค่าความหยาบผิว (Ra)

จากตารางที่ 1 เป็นการแสดงค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20 เปรียบเทียบความหยาบผิวในการกัดชิ้นงานแบบ 3 และ 5 แกน ทั้ง 3 ตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ Laser Confocal Microscope ยี่ห้อ Olympus รุ่น OLS5000 พบว่าค่าเฉลี่ยความหยาบผิวของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20 ของรอยกัดชิ้นงานแบบ 3 แกนมีค่าหยาบผิวเฉลี่ยสูงสุด 2.039 ไมโครเมตร บริเวณพื้นผิวโค้งที่ 2 และแบบ 5 แกน มีค่าหยาบผิวเฉลี่ยสูงสุด 1.922 ไมโครเมตร บริเวณพื้นผิวโค้งที่ 1 และ แบบ 3 แกนมีค่าหยาบผิวเฉลี่ยน้อยสุด 1.513 ไมโครเมตร บริเวณพื้นผิวโค้งที่ 3 และแบบ 5 แกนมีค่าหยาบผิวเฉลี่ยน้อยสุด 1.639 ไมโครเมตร บริเวณพื้นผิวโค้งที่ 3 แสดงผลค่าความหยาบผิวเฉลี่ยในแต่ละพื้นผิวโค้งได้อย่างชัดเจนแสดงตามกราฟภาพที่ 11

ตารางที่ 1 ค่าความหยาบของรอยกัดแบบ 3 และ 5 แกน

พื้นผิวโค้ง (มม.)	แบบ 3 แกน				แบบ 5 แกน			
	ตำแหน่งการวัดความหยาบผิว; Ra (ไมโครเมตร)				ตำแหน่งการวัดความหยาบผิว; Ra (ไมโครเมตร)			
	1	2	3	Ra เฉลี่ย	1	2	3	Ra เฉลี่ย
1 (12)	2.027	2.019	2.018	2.021	1.848	2.004	1.916	1.922
2 (16)	2.199	2.099	1.820	2.039	1.511	1.695	2.083	1.763
3 (15)	1.474	1.553	1.512	1.513	1.693	1.506	1.720	1.639
4 (38)	1.536	1.847	2.201	1.861	1.874	1.777	2.045	1.898



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบค่าความหยาบผิวเฉลี่ยในแต่ละพื้นผิวโค้งของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20

จากภาพที่ 11 เมื่อเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวเฉลี่ย 1-4 พื้นผิวโค้งของวัสดุทดสอบพบว่า การกัดแบบ 3 แกน มีค่าความหยาบผิวจากเพิ่มขึ้น อยู่ที่ 2.021-1.861 ไมโครเมตร การกัดแบบ 5 แกน มีค่าความหยาบผิวจากลดลง อยู่ที่ 1.922-

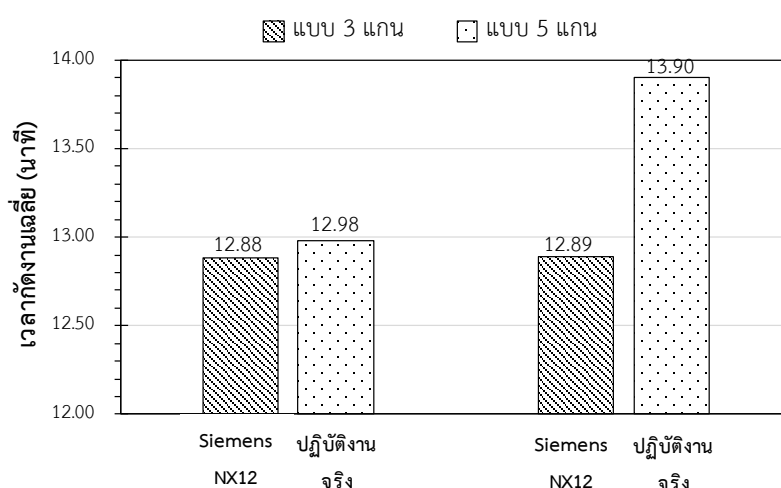
1.898 ไมโครเมตร สรุปได้ว่าการกับแบบ 3 แกนมีค่าความหยาบผิวน้อยกว่าใน 3 พื้นผิวโค้งแรก แต่จะมากกว่าตัดกัน
บริเวณพื้นผิวโค้งที่ 3 $1.639 - 1.513 = 0.126$ ไมโครเมตร และ 4 อยู่ที $1.898 - 1.861 = 0.037$ ไมโครเมตร

4.3 ผลของเวลาที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปกลึงผิววนโค้ง

เปรียบเทียบเวลาในการกัดชิ้นงานทดสอบวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20 จากการออกแบบชุดคำสั่งการกัดในโปรแกรม Siemens NX12 เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ปฏิบัติงานจริงทั้งการกัดแบบ 3 และ 5 แกน แสดงผลตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบเวลาในการกัดชิ้นงานทดสอบระหว่าง Siemens NX12 และ เวลาปฏิบัติงานจริง

รหัสกัดงาน (Code)	เวลาในการดำเนินงาน			
	Siemens NX12 (นาทื)		เวลาปฏิบัติงานจริง (นาทื)	
	แบบ 3 แกน	แบบ 5 แกน	แบบ 3 แกน	แบบ 5 แกน
1	9.30	9.44	10.05	10.16
2	14.35	14.35	14.35	14.35
3	6.45	6.40	6.47	6.47
4	24.15	24.13	24.03	24.40
5	15.56	15.51	15.49	16.47
6	7.51	7.51	7.51	11.57
เฉลี่ย	12.88	12.89	12.98	13.90



ภาพที่ 12 เปรียบเทียบเวลาในการกัดชิ้นงานทดสอบแบบ 3 และ 5 แกน

ตารางที่ 2 เป็นการแสดงระยะเวลาเปรียบเทียบระยะเวลาในการกัดชิ้นงานของวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20 จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่ใช้กัดชิ้นงานเริ่มต้นจากการเขียนแบบด้วยโปรแกรม Siemens NX12 ระยะเวลาที่คำนวณจากโปรแกรม Siemens NX12 จะเห็นได้ว่าการกัดประเภท 3 แกน ใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกันกับชุดคำสั่งจากโปรแกรม ในส่วนของการกัดประเภท 5 แกน เมื่อดำเนินการปฏิบัติงานจริงนั้นใช้ระยะเวลามากกว่าการกัดประเภท 3 แกน และชุดคำสั่งจากโปรแกรม Siemens NX12 เนื่องจากการการกัดแบบ 5 แกน มีการขยับของฐานจับชิ้นงาน จึงทำให้ต้องใช้เวลา ในการกัด

ชิ้นงานมากกว่าการกัด แบบ 3 แกน แสดงความแตกต่างของทั้ง 2 แบบการกัดดังภาพที่ 12 การกัดขึ้นรูปคลิ่นผิวนูนโค้ง แบบ 3 แกน จากเวลาปฏิบัติงานจริงใช้เวลา 12.98 นาที ซึ่งน้อยกว่าเวลาปฏิบัติงานจริงแบบ 5 แกน ซึ่งใช้เวลา 13.90 นาที

5. สรุป

- 1) คุณภาพผิวชิ้นงานลักษณะขึ้นรูปคลิ่นผิวนูนโค้งวัสดุเหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20 ทั้ง 3 ตำแหน่งรัศมีโค้งการกัดแบบ 5 แกน มีค่าเฉลี่ยความหยาบผิวน้อยกว่า แบบ 3 แกน
- 2) วัสดุเหล็กแม่พิมพ์ AISI-P20 กัดแบบ 3 แกน มีค่าความหยาบผิวลดลงจากพื้นผิวโค้งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 2.039 และพื้นที่ผิวโค้งที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1.861 และกัดแบบ 5 แกน มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 1.639 ไมโครเมตร ที่พื้นที่ผิวโค้งที่ 3
- 3) ชิ้นงานลักษณะขึ้นรูปคลิ่นผิวนูนโค้งด้วยกระบวนการรูปแบบ 3 แกน ที่ใช้เวลากัดขึ้นรูปน้อยกว่าแบบ 5 แกน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Calleja, et al. “Blisk blades manufacturing technologies analysis”. *Procedia Manufacturing* 41 (2019). pp. 714–722.
- [2] Siemens NX. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก <https://www.dtm-thailand.com/content/5296/nx>. (15 มีนาคม 2566).
- [3] Isabela da Costa Castanhera and Anselmo Eduardo Diniz. *Procedia Manufacturing*, Volume 5, 2016, P. 220–231.
- [4] Anshan Zhang, et al. “A tool wear prediction method for free-form surface machining of ball-end mill”, *Journal of Manufacturing Processes*, 130 (2024), P. 87–101.
- [5] K. Rajain, O. Sliusarenko, M. Bizzarrietal. “Curve-guided 5-axis CNC flank milling of free-form surfaces using custom-shaped tools”. *Computer Aided Geometric Design*, 94 (2022), 102082.
- [6] Yu Zhou, et al. “A review of 5-axis milling techniques for centrifugal impellers: Tool-path generation and deformation control”. *Journal of Manufacturing Processes*, 131 (2024). P. 160–186.

เครื่องต้นแบบการวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์

A prototype machine for measuring water levels in fish ponds using an ultrasonic sensor

ภูษิตา พึงและ¹, พันธิตรา อัญญโพธิ์¹, คณาธิป รื่นเริง¹, มุคลิก ชารีฟ¹,

อนุชมา ฐูปแก้ว^{2*} และ สงกรานต์ จรรจลานิมิตร²

¹หลักสูตรบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาธุรกิจดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

1761 แขวงพัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

²คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

1761 แขวงพัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

Phusita Phuenglae¹, Pantita Unyapoo¹, Kanathip Ruenroeng¹, Mukhlis Shariff¹,

Anuchama Toobkaew^{2*} and Songkran Chanchalanimitr²

¹Bachelor of Business Administration Digital Business, Faculty of Business Administration,

Kasembundit University

1761 Phatthanakan Subdistrict, Suan Luang District, Bangkok 10250

²Faculty of Business Administration, Kasembundit University

1761 Phatthanakan Subdistrict, Suan Luang District, Bangkok 10250

*Corresponding author Email: songkran.cha@kbu.ac.th

(Received: September 10, 2024 / Revised: December 25, 2024 / Accepted: December 26, 2025)

บทคัดย่อ

เครื่องต้นแบบการวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์เกิดจากความคิดที่จะนำความสามารถของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ ในการตรวจจับความเคลื่อนไหว มาพัฒนาเป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวก เพื่อป้องกันปัญหาน้ำล้นบ่อปลาในบ้าน และจะนำความสามารถของอาduino (Arduino) มาเป็นตัวกลางในการอัปโหลดคำสั่งการแจ้งเตือน โดยปัญหาที่พบขณะสำรวจ เช่น การที่คนในบ้านไม่ทราบล่วงหน้า การล้นน้ำหลังจากเปิดใช้งานในบ่อปลา หรือการไม่ทราบระดับน้ำที่เหมาะสมในบ่อปลา เป็นต้น โดยอัลตราโซนิกเซนเซอร์จะทำการตรวจจับความเคลื่อนไหวของระดับน้ำ และแจ้งเตือนผ่าน Line Notify ให้ทราบเมื่อระดับน้ำใกล้ถึงระดับที่กำหนด การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อ 1) สร้างเครื่องวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ 2) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบแจ้งเตือนเพื่อป้องกันปัญหาน้ำล้นบ่อปลาในบ้าน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ ประชาชนทั่วไปที่ใช้ระบบแจ้งเตือนเพื่อป้องกันปัญหาน้ำล้นบ่อปลาภายในบ้าน จำนวน 20 คน แบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ คือ เครื่องต้นแบบการวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ แบบประเมินประสิทธิภาพ และแบบประเมินความพึงพอใจเครื่องต้นแบบการวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น ประสิทธิภาพการแจ้งเตือนของระบบผ่านแอปพลิเคชัน Line ได้ถูกต้องทุกครั้ง (100%) และผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบอยู่ในระดับมาก โดย $\bar{x}$ = 4.47 และ S.D.=0.61

คำสำคัญ: วัดระดับน้ำ, อัลตราโซนิกเซนเซอร์, เซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว

Abstract

The prototype for measuring water levels in fish ponds using ultrasonic sensors was born from the idea of bringing the capabilities of ultrasonic sensors in detecting movement to be developed as a convenience tool to prevent the problem of water overflowing in the fish pond in the house and will use the ability of Arduino (Arduino) as a medium for uploading notification commands. The problems encountered during the survey, such as the fact that people in the house did not know in advance Forgetting to turn off the water after turning it on in the fish pond or not knowing the appropriate water level in a fish pond, etc. The ultrasonic sensor will detect the movement of the water level. And notify via Line Notify when the water level is close to the specified level. The objectives of this research are to 1) create a water level meter in a fish pond using an ultrasonic sensor. 2) Evaluate user satisfaction with the notification system to prevent water overflow problems in home fish ponds. The sample group used in the research was the general public who specifically used the notification system to prevent the problem of water overflowing in fish ponds within their homes the tool used is a prototype for measuring water levels in fish ponds using an ultrasonic sensor. Performance evaluation form and a satisfaction assessment form for the prototype of the water level measurement in fish ponds using the developed ultrasonic sensor. The system's notification efficiency through the Line application is accurate every time (100%) and users are satisfied with the system at a high level, with $\bar{x} = 4.47$ and S.D.=0.61.

Keywords: Measuring Water Level, Ultrasonic Sensor, Motion Sensor

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆ พัฒนาไปมาก ทำให้มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่เรียกว่า IoT (Internet of Things) ขึ้นมา เพื่อนำมาใช้งานเชื่อมต่อให้อุปกรณ์ต่างๆ ทำให้สามารถสั่งการ และควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น ควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟ

Internet Of Things (IoT) หมายถึง “สิ่ง” จำนวนมากมายที่เชื่อมต่อกับ อินเทอร์เน็ต หรือหมายถึงการเชื่อมโยงของอุปกรณ์อัจฉริยะทั้งหลายผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อให้สามารถแบ่งปันข้อมูลกับสิ่งต่าง ๆ และนำเทคโนโลยีนี้เข้ามาใช้เพื่ออำนวยความสะดวกมากยิ่งขึ้น [1] การแจ้งเตือนอุณหภูมิหรือเครื่องรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ เป็นต้น เทคโนโลยี IoT มีความจำเป็นต้องทำงานร่วมกับอุปกรณ์ประเภท RFID และ Sensors เช่น เซนเซอร์ตรวจค่า pH (PH Sensor) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) เซนเซอร์วัดความขุ่น (Turbidity Sensor) เป็นต้น [2]

แอปพลิเคชันไลน์ (LINE) เป็นโปรแกรมเมสเซนเจอร์ที่สามารถใช้งานได้กับโทรศัพท์มือถือทั้งที่เป็นระบบปฏิบัติการ ไอโอเอส แอนดรอยด์ วินโดวส์โฟน บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และแมคโอเอส ด้วยความที่มีลูกเล่นมากมาย สามารถแชท ส่งรูป ส่งไอคอน ส่งสติ๊กเกอร์ LINE ได้กลายเป็นแอปพลิเคชันหลักในการดำเนินชีวิตประจำวันของคนไทย ซึ่งมีการใช้งานกว่า 49 ล้านราย โดยเปลี่ยนพฤติกรรมจากที่เวลาจะติดต่อกันต้องใช้โทรศัพท์ ก็กลายมาเป็นแชทที่สามารถทำได้ตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้การสื่อสารเป็นเรื่องที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย นอกจากนี้ LINE ยังมีบริการที่สามารถส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านเว็บเบราว์เซอร์ต่าง ๆ ทาง LINE ได้ ด้วยการใช้ LINE Notify ที่มีการแจ้งเตือนแบบข้อความไปยังกลุ่มหรือบัญชีส่วนตัวได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ซึ่งบริการหลักๆ ที่สามารถเชื่อมต่อได้แก่ GitHub, IFTTT หรือ Mackerel เป็นต้น [3]

ปัญหาของน้ำจากบ่อปลาในบ้านที่อาจมีปริมาณน้ำมากเกินไป คือ เมื่อเติมน้ำเข้าบ่อปลาอาจต้องใช้เวลามากเกินไป จึงทำให้อาจใช้เวลานานเกินไปทำกิจกรรมอื่น จนบางครั้งน้ำที่เต็มไว้ล้นออกมานอกบ่อปลา ทำให้เกิดความเสียหายกับสิ่งของ หรืออื่นๆได้ เพื่อเป็นการอำนวยความสะดวกในการบริหารจัดการน้ำในบ่อปลา

ดังนั้น ทางผู้จัดทำวิจัยจึงมีความคิดที่จะนำความสามารถของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ และอาduino (Arduino) มาพัฒนาเป็นระบบแจ้งเตือนเพื่อป้องกันปัญหาน้ำล้นบ่อปลาในบ้านผ่านแอปพลิเคชัน Line ด้วย LINE Notify [4] โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (Ultrasonic Sensor) วัดระดับน้ำในบ่อเมื่อระดับน้ำใกล้ถึงระดับที่กำหนด โดยการที่คนในบ้านไม่ทราบล่วงหน้า การล้นน้ำหลังจากเปิดใช้งาน หรือการไม่ทราบระดับน้ำที่เหมาะสมในบ่อปลา โดยใช้ตรวจจับความเคลื่อนไหว (Ultrasonic Sensor) ในการวัดระดับน้ำไม่ให้ล้นบ่อปลา และแจ้งเตือนน้ำในบ่อเมื่อระดับน้ำใกล้ถึงระดับที่กำหนด ผ่านLine Notify [5] และจะมีสัญญาณเตือนออกมาจากลำโพงที่ทำการติดตั้งไว้ เพื่อให้คนที่อยู่ใกล้กับสถานที่ได้ยินเสียงเตือนนี้

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างเครื่องวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์
2. ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบแจ้งเตือนเพื่อป้องกันปัญหาน้ำล้นบ่อปลาในบ้าน

3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ และอุปกรณ์

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266
2. อัลตราโซนิกเซนเซอร์ (HC-SR04)
3. สายไฟจัมเปอร์
4. ลำโพงบลูทูธ SFM-20B
5. โมดูลรีเลย์ 5V
6. บอร์ดขยายขา ESP8266
7. USB

3.2 วิธีการทดลอง

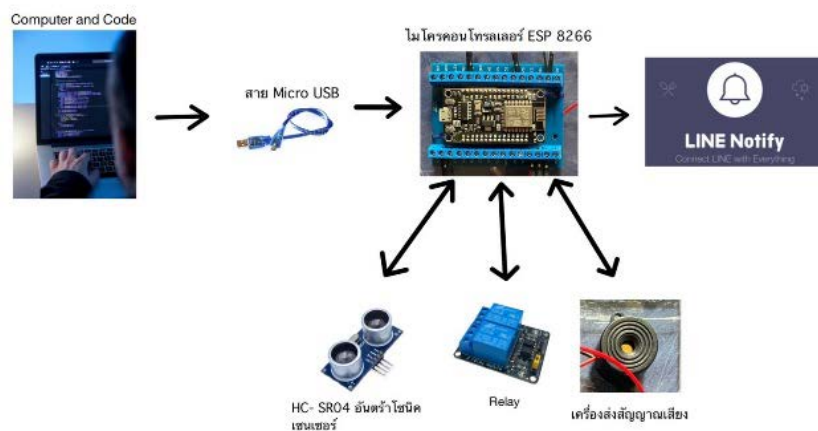
ตอนที่ 1 การออกแบบ และสร้างเครื่องวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์

1. การศึกษาข้อมูล โดยรวบรวมแนวคิดการศึกษาข้อมูลจากหลักทฤษฎี และวรรณกรรม เพื่อเขียนโครงสร้างลักษณะการทำงานของระบบเซนเซอร์ และโปรแกรมที่เกี่ยวข้อง ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย และข้อดีต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์
2. การออกแบบการควบคุมอัลตราโซนิกเซนเซอร์ และระบบการทำงานของโปรแกรม Arduino ผู้วิจัยต้องมีความรู้ความเข้าใจด้านซอฟต์แวร์ช่วยออกแบบ เพื่อช่วยลดขั้นตอนในการออกแบบ และง่ายต่อการประกอบวงจรด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 รวมถึงการควบคุมอัลตราโซนิกเซนเซอร์
3. หลักการแจ้งเตือนการทำงานผ่านแอปพลิเคชัน LINE Notify แอปพลิเคชันจะทำการแจ้งเตือนเมื่อระดับน้ำเข้าใกล้ระยะ 50 เซนติเมตร และแจ้งเตือนอีกครั้งเมื่อระดับน้ำสูงถึงระดับที่กำหนด
4. ขั้นตอนการจัดเตรียมอุปกรณ์ ในการจัดเตรียมการทดลอง ผู้จัดทำได้ทำการทดลองในบ่อปลาขนาด กว้าง 1.60 เมตร ยาว 2.30 เมตร ความลึก 50 เซนติเมตร และใส่น้ำ 80% ของบ่อปลา หรือประมาณ 30 เซนติเมตร

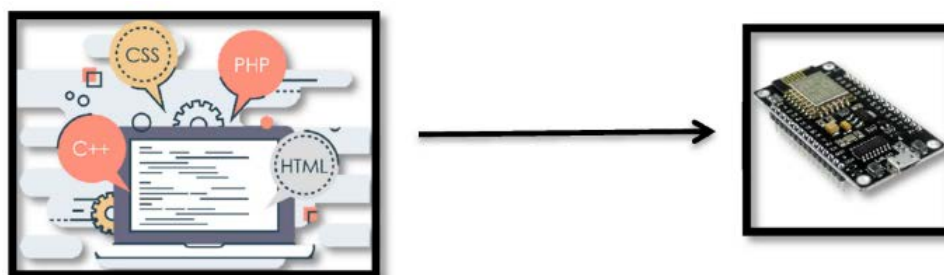


รูปที่ 1 บ่อปลาที่ใช้ในการทดลองเครื่องวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์

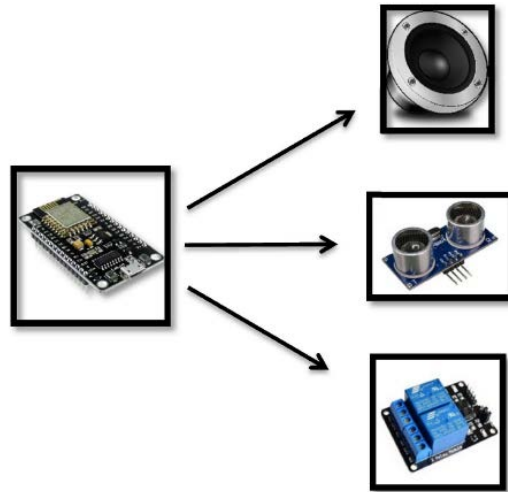
5. ขั้นตอนการประดิษฐ์เครื่องวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ ข้อดีของเซนเซอร์ คือ สามารถทำงานโดยไม่ต้องสัมผัสกับของเหลว สามารถวัดระดับของวัตถุได้ทั้งแบบจุดและแบบต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับลักษณะการออกแบบ และสามารถใช้วัดระดับของวัตถุในสถานะของเหลวและของแข็งได้ [7]



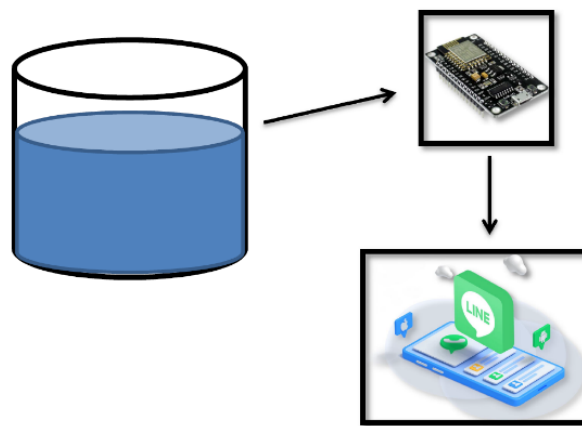
รูปที่ 2 อุปกรณ์ในการสร้างเครื่องวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์



รูปที่ 3 ใช้คอมพิวเตอร์ติดตั้งโปรแกรม Arduino ใส่โค้ดคำสั่งเพื่อ Export ไฟล์ลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้บอร์ดทำงานตามคำสั่งที่กำหนดไว้



รูปที่ 4 นำอัลตราโซนิกเซนเซอร์ โมดูลรีเลย์ และลำโพงมาต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อวัดระดับน้ำตามตำแหน่งที่เราติดตั้งไว้ และมีสัญญาณเตือนจากลำโพง



รูปที่ 5 แสดงผลเมื่อเซนเซอร์ตรวจพบว่าระดับน้ำเข้าใกล้ 50 เซนติเมตร หรือระดับน้ำถึงระดับที่กำหนด จะแจ้งเตือนไปยัง LINE Notify และมีสัญญาณจากลำโพงเตือนให้ทราบ

ตอนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยระบบอัลตราโซนิกเซนเซอร์

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย เป็นประชาชนทั่วไปที่ใช้เครื่องวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์จำนวน 20 คน ด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) สถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าสถิติ โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์ประเมิน ดังนี้ [6]

คะแนนเฉลี่ย 4.51 -5.00 หมายความว่า ระดับมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.51 -4.50 หมายความว่า ระดับมาก

คะแนนเฉลี่ย 2.51 -3.50 หมายความว่า ระดับปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.51 -2.50 หมายความว่า ระดับน้อย

คะแนนเฉลี่ย 1.00 -1.50 หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

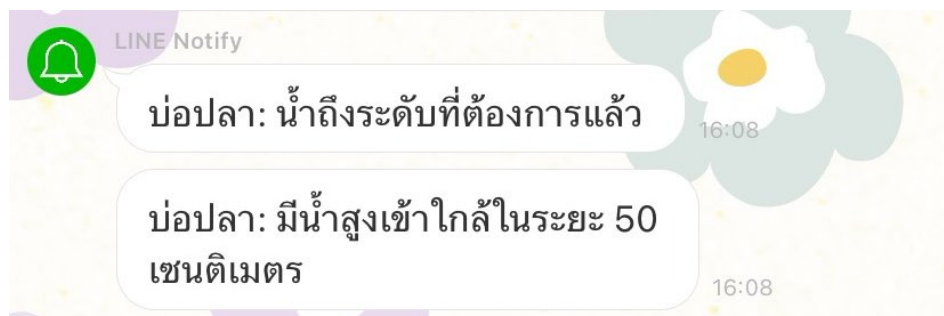
ซึ่งพบว่า แบบสอบถามในครั้งนี้มีคะแนนเฉลี่ย 4.47 ซึ่งมีคุณภาพอยู่ในระดับมาก

2. ทดสอบหาประสิทธิภาพความแม่นยำของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ เมื่อระดับน้ำถึงเกณฑ์ที่กำหนด



รูปที่ 6 ติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำรอบบ่อ ระยะห่างต่อจุดประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อทดสอบความแม่นยำของอัลตราโซนิกเซนเซอร์

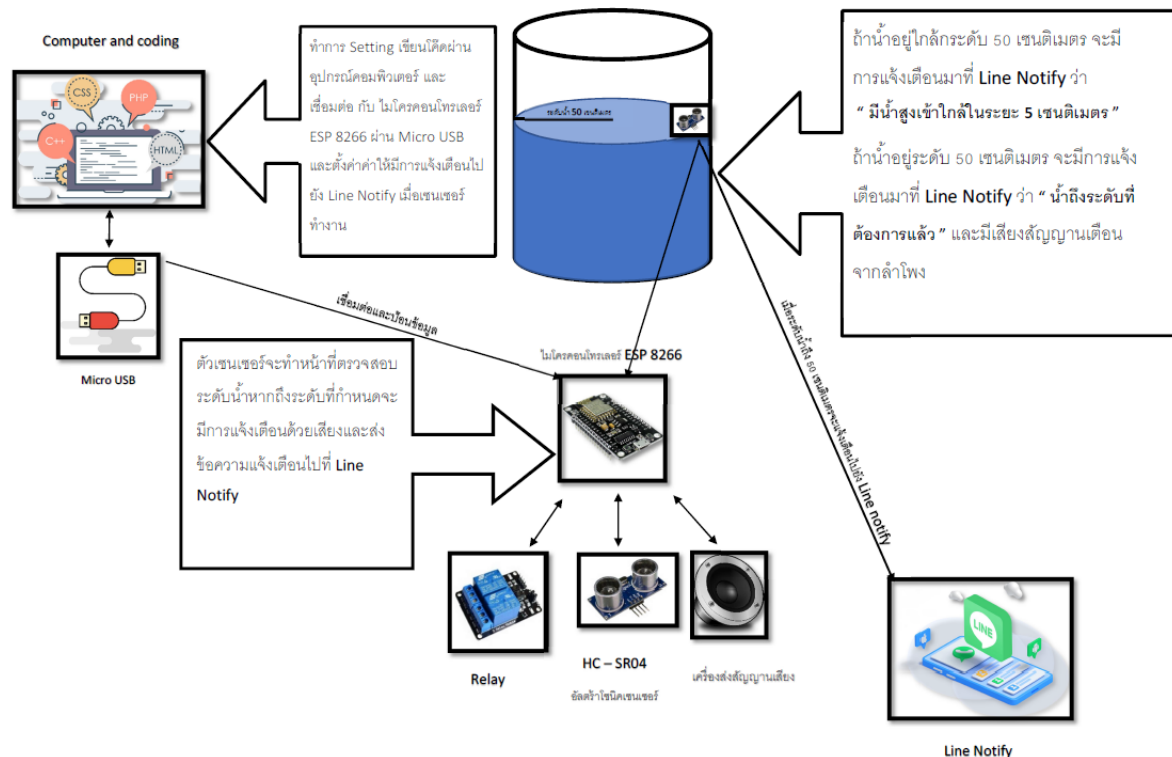
3. ทดสอบLINE Notify ขณะที่ใช้งาน เมื่อระดับน้ำสูงถึง 80% หรือประมาณ 30 เซนติเมตร ของบ่อปลาทดลอง



รูปที่ 7 การแจ้งเตือนของ LINE Notify ขณะที่ใช้งาน

4. ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 เป็นการนำเอาอัลตราโซนิกเซนเซอร์ ต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเป็นการวัดระดับน้ำตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ ทำการตั้งค่าและเขียนโค้ดจากโปรแกรม Arduino โดยตั้งคำว่า “หากมีการทำงานของเซนเซอร์ในระดับที่กำหนดจะมีการแจ้งเตือน 2 รูปแบบ” คือ ถ้าน้ำอยู่ใกล้ระดับ 50 เซนติเมตร จะมีการแจ้งเตือนมาทาง Line Notify ว่า “มีน้ำสูงเข้าใกล้ในระยะ 50 เซนติเมตร” ถ้าน้ำสูงถึงระดับที่กำหนดจะมีการแจ้งเตือนมาที่ Line Notify ว่า “น้ำถึงระดับที่ต้องการแล้ว” และมีเสียงสัญญาณเตือนจากลำโพง



รูปที่ 8 แบบจำลองระบบแจ้งเตือนเพื่อป้องกันปัญหาน้ำภายในบ้านผ่านแอปพลิเคชัน Line Notify

ตอนที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการตรวจจับระดับน้ำ และการแจ้งเตือนระดับน้ำผ่านแอปพลิเคชัน LINE

ครั้ง	ระดับน้ำ	การแจ้งเตือนระดับน้ำ							
		แจ้งเตือน				ไม่แจ้งเตือน			
		ครั้งที่ 1-5	ครั้งที่ 6-10	ครั้งที่ 11-15	ครั้งที่ 16-20	ครั้งที่ 1-5	ครั้งที่ 6-10	ครั้งที่ 11-15	ครั้งที่ 16-20
1	น้ำสูงเข้าใกล้ในระยะ 50 เซนติเมตร	✓	✓	✓	✓				
2	น้ำถึงระดับที่ต้องการแล้ว	✓	✓	✓	✓				
3	น้ำสูงเข้าใกล้ในระยะ 50 เซนติเมตร	✓	✓	✓	✓				
4	น้ำถึงระดับที่ต้องการแล้ว	✓	✓	✓	✓				
5	น้ำสูงเข้าใกล้ในระยะ 50 เซนติเมตร	✓	✓	✓	✓				
6	น้ำถึงระดับที่ต้องการแล้ว	✓	✓	✓	✓				
7	น้ำสูงเข้าใกล้ในระยะ 50 เซนติเมตร	✓	✓	✓	✓				
8	น้ำถึงระดับที่ต้องการแล้ว	✓	✓	✓	✓				
9	น้ำสูงเข้าใกล้ในระยะ 50 เซนติเมตร	✓	✓	✓	✓				
10	น้ำถึงระดับที่ต้องการแล้ว	✓	✓	✓	✓				
11	น้ำสูงเข้าใกล้ในระยะ 50 เซนติเมตร	✓	✓	✓	✓				
12	น้ำถึงระดับที่ต้องการแล้ว	✓	✓	✓	✓				
13	น้ำสูงเข้าใกล้ในระยะ 50 เซนติเมตร	✓	✓	✓	✓				
14	น้ำถึงระดับที่ต้องการแล้ว	✓	✓	✓	✓				
15	น้ำสูงเข้าใกล้ในระยะ 50 เซนติเมตร	✓	✓	✓	✓				
16	น้ำถึงระดับที่ต้องการแล้ว	✓	✓	✓	✓				
17	น้ำสูงเข้าใกล้ในระยะ 50 เซนติเมตร	✓	✓	✓	✓				
18	น้ำถึงระดับที่ต้องการแล้ว	✓	✓	✓	✓				
19	น้ำสูงเข้าใกล้ในระยะ 50 เซนติเมตร	✓	✓	✓	✓				
20	น้ำถึงระดับที่ต้องการแล้ว	✓	✓	✓	✓				

ตารางที่ 1 การแจ้งเตือนระดับน้ำผ่านแอปพลิเคชัน Line จากการตรวจจับระดับน้ำเข้าใกล้ในระยะ 50 เซนติเมตร และการตรวจจับระดับน้ำถึงระดับที่ต้องการ ระบบสามารถตรวจจับระดับน้ำและแจ้งเตือนได้ถูกต้องทุกครั้ง (20 ครั้ง)

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพด้านความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยระบบอัลตราโซนิกเซนเซอร์

รายการประเมิน		$\bar{x}$	S.D.	ความหมาย
ด้านคุณสมบัติของอุปกรณ์				
1	อุปกรณ์ถูกประดิษฐ์หรือพัฒนาขึ้นมาใหม่	4.15	0.73	มาก
2	อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์	4.55	0.74	มากที่สุด
3	อุปกรณ์สามารถพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์หรืออุตสาหกรรมได้	4.45	0.59	มาก
4	วัสดุอุปกรณ์มีความเหมาะสมกับการใช้งาน	4.55	0.50	มากที่สุด
5	คุณภาพของวัสดุที่นำมาทำอุปกรณ์	4.45	0.67	มาก
ด้านขั้นตอนการใช้งานอุปกรณ์				
6	อุปกรณ์มีความเข้าใจง่ายในการใช้งาน	4.65	0.48	มากที่สุด
7	อุปกรณ์การใช้งานมีความเหมาะสมกับปัญหาที่เกิดขึ้น	4.45	0.67	มาก
8	เซนเซอร์มีความแม่นยำในการใช้งาน	4.50	0.59	มาก
9	เซนเซอร์มีความเหมาะสมกับการใช้งาน	4.40	0.58	มาก
10	การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำได้อย่างถูกต้อง	4.50	0.59	มาก
11	ความทนทานความชื้นภายนอก	4.35	0.65	มาก
12	ความเสถียรในการรักษาค่าการวัดคงที่และไม่แปรผัน	4.50	0.59	มาก
13	การบำรุงรักษาง่าย	4.65	0.48	มากที่สุด
14	วัสดุที่ใช้งานสามารถทนทานต่อสิ่งแวดล้อม	4.40	0.58	มาก
15	ประหยัดพลังงาน	4.60	0.58	มากที่สุด
16	การป้องกันการกระแทก	4.30	0.71	มาก
17	การเชื่อมต่อจากระยะไกลมีความเสถียร	4.55	0.59	มากที่สุด
รวมค่าเฉลี่ย		4.47	0.61	มาก

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงความพึงพอใจของผู้ใช้เครื่องต้นแบบการวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ 20 คน เฉลี่ยรวมอยู่ในระดับมาก โดย $\bar{x} = 4.47$ และ S.D.=0.61 โดยทดสอบจากบ่อปลาของผู้ประเมินทั้ง 20 คน

5. อภิปรายผล

เมื่อพิจารณาจากกลุ่มตัวอย่าง 20 คน ได้ทดลองใช้เครื่องวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ในการแก้ไขปัญหาในบ่อปลา และตอบแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจ โดยอยู่ในระดับพึงพอใจมาก และผลการทดสอบระบบสามารถตรวจจกระดับน้ำและแจ้งเตือนได้ถูกต้องทุกครั้ง 20 ครั้ง และเมื่อเกิดเหตุไฟดับขึ้น เซนเซอร์จะไม่ทำการรีเซ็ตตัวเองใหม่ และไม่จำเป็นต้องกรีตเซนเซอร์จะสามารถใช้งานได้ปกติ และจากการทดลองเครื่องวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ ที่เชื่อมต่อกับ LINE Notify สามารถแจ้งเตือน และส่งสัญญาณเตือนผ่านลำโพงได้ตรงตามที่กำหนด และแจ้งเตือนได้อย่างแม่นยำ

สอดคล้องกับทฤษฎีของ เอกรินทร์ วิจิตรพันธ์, ภาณุมาศ โจพิงค์, ณัฐวัตร พ่อคำ และคณะ. ระบบแจ้งเตือนเพื่อป้องกันปัญหาน้ำภายในบ้านผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยใช้เซนเซอร์วัดระดับน้ำและของเหลว แบบไร้สัมผัส (Non-Contact Liquid Level Water Level Sensor) ในการวัดระดับน้ำ และแจ้งเตือนน้ำในถัง ไกล่หมดเมื่อระดับน้ำลดลงถึงตำแหน่งที่กำหนด และแจ้งเตือนระดับน้ำในถังที่เพิ่มขึ้นถึงตำแหน่งที่กำหนด ผ่านแอปพลิเคชัน Line และใช้เซนเซอร์ฮอลล์วัดอัตราการไหลของน้ำ (Water Flow Sensor Flowmeter Hall) แจ้งเตือนการไหลของน้ำภายในบ้านทำให้ทราบว่ามีน้ำรั่ว หรือล้นปิดน้ำ และยังสามารถกำหนดการปิดปั้มน้ำอัตโนมัติ เมื่อมีน้ำรั่วผ่านแอปพลิเคชัน Line ขณะไม่มีคนอยู่บ้าน [2]

เมื่อเปรียบเทียบกับจากบ่อน้ำที่ใช้อยู่ปัจจุบัน กับบ่อน้ำที่ติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ พบว่า การใช้เครื่องวัดระดับน้ำด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ตอบสนองความต้องการ และแก้ไขปัญหาให้กับผู้ทดลองได้มากกว่า และสามารถดูการแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify เนื่องจากขณะนี้ยังไม่มีระบบที่สามารถส่งปิด หรือเปิดน้ำผ่านแอปพลิเคชันในระบบเดียวกันได้ จึงสามารถพัฒนาระบบเครื่องวัดระดับน้ำอัลตราโซนิกเซนเซอร์ในการวิจัยครั้งต่อไป เพื่อแก้ไขปัญหาของผู้ใช้งานได้อย่างครอบคลุม

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสร้างเครื่องวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ ที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งในการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify

เครื่องวัดระดับน้ำสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากกลุ่มตัวอย่าง 20 คน ได้ทดลองใช้เครื่องวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ และตอบแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจ โดยอยู่ในระดับพึงพอใจมาก และผลการทดสอบระบบสามารถตรวจระดับน้ำและแจ้งเตือนได้ถูกต้องทุกครั้ง 20 ครั้ง

สอดคล้องกับทฤษฎีของ เอกรินทร์ วิจิตต์พันธ์, ภาณุมาศ โจพิงค์, ณัฐวัตร พ่อคำ และคณะ. ระบบแจ้งเตือนเพื่อป้องกันปัญหาน้ำภายในบ้านผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยใช้เซนเซอร์วัดระดับน้ำและของเหลว แบบไร้สัมผัส (Non-Contact Liquid Level Water Level Sensor) ในการวัดระดับน้ำ และแจ้งเตือนน้ำในถัง ไกล่หมดเมื่อระดับน้ำลดลงถึงตำแหน่งที่กำหนด และแจ้งเตือนระดับน้ำในถังที่เพิ่มขึ้นถึงตำแหน่งที่กำหนด ผ่านแอปพลิเคชัน Line และใช้เซ็นเซอร์ฮอลล์วัดอัตราการไหลของน้ำ (Water Flow Sensor Flowmeter Hall) แจ้งเตือนการไหลของน้ำภายในบ้านทำให้ทราบว่ามีน้ำรั่ว หรือล้นปิดน้ำ และยังสามารถกำหนดการปิดปั้มน้ำอัตโนมัติ เมื่อมีน้ำรั่วผ่านแอปพลิเคชัน Line ขณะไม่มีคนอยู่บ้าน [2]

7. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิจัยการสร้างเครื่องวัดระดับน้ำในบ่อปลาด้วยระบบอัลตราโซนิกเซนเซอร์ ประสบความสำเร็จไปด้วยดี เป็นเพราะได้รับการชี้แนะในเรื่องต่าง ๆ อันเป็นความรู้และแนวทางในการทำงาน รวมทั้งเครื่องมืออุปกรณ์ตลอดจนความเอาใจใส่ และการให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี จึงขอขอบพระคุณอาจารย์สงกรานต์ จรรจลานิมิตร ที่ได้ให้คำปรึกษา และสนับสนุน รวมทั้งผู้ให้ความร่วมมือในการทดลองอุปกรณ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย และขอขอบคุณคณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ที่ทำให้วิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Science Center for Education. (2024, June 10). What is IoT? Who knows?. [Online]. Available : <https://sciplanet.org>
- [2] Ekarin Wichitphan, Panumas Choping, Natthawat Merchant and others. (2024, June 2). Alert system to prevent water problems within the home Through the LINE application. [Online]. Available : <https://ph02.tci-thaijo.org>
- [3] Rapatra Hiranrangsit. (2024, July 10). A case study of the use of LINE Application in the work of the Social Science subject group. And humanities of Chiang Mai University. [Online]. Available : <https://archive.lib.cmu.ac.th>
- [4] Phakwan Phadyenjai and Chanudom Ektechawut. (2024, July 10). Developing applications for mobile phones using the Android operating system To control home electrical appliances remotely. [Online]. Available : <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/project>

- [5] Thawatchai Chansungnoen, Phisitphong Panthong, Tassaphon Chatkoh and others. (2024, July 1). Development of a short message notification water level meter for small reservoirs using ultrasonic sensors. [Online]. Available : <https://ph.01tcithaijo.org>
- [6] Bunchom Srisa-at. Basic research. (9th ed.) Bangkok. Suviriyasan Publishing House. (2013).
- [7] Omega Measuring Instrument. (2024, July 2). Ultrasonic Sensor. [Online]. Available : Ultrasonic Sensor เซ็นเซอร์วัดระดับแบบอัลตราโซนิก คืออะไร. . . (omi.co.th)

การตรวจสอบขนาดของรองเท้าเพื่อสุขภาพโดยการประยุกต์ใช้วิศวกรรมย้อนรอย (กรณีศึกษา)

To Check Size of Healthy Shoe by Applying Reverse Engineering (Case Study)

ธงชัย เพ็งจันทร์¹, บุญส่ง จงกลณี² และ เอกพล ทับพร^{3*}

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

248 เพชรเกษม 110 เขตหนองแขม แขวงหนองค้างพลู กรุงเทพฯ 10160

Thongchai Pangjundee¹, Boonsong Chongkolnee² and Ekkapol Tubpond^{3*}

^{1,2}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Thunyaburi

39 Moo 1, Klong 6, Khlong Luang, Pathum Thani, 12120

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thonburi University

248 Soi Petchkasem 110, Nong Khang Phlu, Nong Khaem, Bangkok 10160

*Corresponding author Email: pew_ek@hotmail.com

(Received: December 03, 2024 / Revised: December 24, 2024 / Accepted: December 25, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างขั้นตอนการดำเนินงานด้านวิศวกรรมย้อนรอยโดยใช้เทคโนโลยีเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ สำหรับรองเท้าเพื่อสุขภาพ และประเมินผลจากการวัดค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้ไม้บรรทัด โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Image J และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Geomagic Design X โดยวัดขนาดความยาว กลางฝ่าเท้า และปลายเท้า ในจุดเดิมซ้ำๆ ทั้งหมดสามครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละค่าจากผลการวัดขนาดปรากฏว่าการวัดขนาดโดยไม้บรรทัดให้ค่าเฉลี่ยของพื้นรองเท้าขนาดความยาว 27.46 เซนติเมตร กลางฝ่าเท้า 8.45 เซนติเมตร ปลายเท้า 6 เซนติเมตร ขนาดค่าเฉลี่ยของอินโซลขนาดความยาว 28.66 เซนติเมตร กลางฝ่าเท้า 9.9 เซนติเมตร ปลายเท้า 6.66 เซนติเมตร การวัดขนาดโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Image J ให้ค่าเฉลี่ยของพื้นรองเท้าขนาดความยาว 29.48 เซนติเมตร กลางฝ่าเท้า 9.41 เซนติเมตร ปลายเท้า 6.4 เซนติเมตร ขนาดค่าเฉลี่ยของอินโซลขนาดความยาว 29.47 เซนติเมตร กลางฝ่าเท้า 9.79 เซนติเมตร ปลายเท้า 6.83 เซนติเมตร และการวัดขนาดโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Geomagic Design X ให้ค่าเฉลี่ยของพื้นรองเท้าขนาดความยาว 27.56 เซนติเมตร กลางฝ่าเท้า 8.19 เซนติเมตร ปลายเท้า 6.26 เซนติเมตร ขนาดค่าเฉลี่ยของอินโซลขนาดความยาว 28.49 เซนติเมตร กลางฝ่าเท้า 9.78 เซนติเมตร ปลายเท้า 6.73 เซนติเมตร จากผลการวัดวัดขนาดค่าเฉลี่ยจะเห็นได้ว่าขนาดของอินโซลจะมีขนาดใหญ่กว่าพื้นรองเท้าเสมอเพราะว่าอินโซลจะมีส่วนโค้งขึ้นไปอยู่ติดกับรองเท้า

คำสำคัญ: วิศวกรรมย้อนรอย, คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Geomagic Design X), เลเซอร์สแกน

Abstract

This research aims to create a reverse engineering process using 3D laser scanner technology. It is used in tandem with 3D scanners, which provide high accuracy even at complex scales. This proven and reliable technology aims to create reverse engineering procedures by using laser scanning technology for health shoes, and evaluates the results by measuring tolerances using a ruler. ImageJ computer program and Geomagic Design X computer program by measuring the length, middle of the foot, and toe. From the results of the measurement, it turned out that the measurement by the ruler gave the average of the sole length as 27.46 centimeters, the middle of the foot as 8.45 centimeters, and the toe as 6 centimeters; the average size of the insole measures 28.66 centimeters in length, 9.9 centimeters in the middle of the foot, and 6.66 centimeters in the toe. The measurement by the computer program Image J gives the average size of the sole of the shoe, measuring 29.48 centimeters in length, 9.41 centimeters in the middle of the foot, and 6.4 centimeters in the toe; the average size of the insole is 29.47 centimeters in length, 9.79 centimeters in the middle of the foot, and 6.83 centimeters in the toe.

Keywords: Reverse Engineering, Geomagic Design, Laser Scanning

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมโรงงานรองเท้ามีการแข่งขันสูงทั้งนี้สืบเนื่องมาจากการที่รัฐบาลลดภาษีการนำเข้ารองเท้าจากต่างประเทศ ทำให้รองเท้ามีขึ้นจากต่างประเทศเข้ามาขายในไทยมากขึ้นและราคาถูกลง ผู้ผลิตเพื่อขายสำหรับตลาดในประเทศจำเป็นต้องมีการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และประสิทธิภาพการผลิตรวมทั้งการนำกลยุทธ์ทางการตลาดมาใช้ เช่น การออกแบบให้เป็นที่ยอมรับมากขึ้น [1] ดังนั้นจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของวิศวกรรมย้อนรอยเพราะเป็นกระบวนการพัฒนาโดยใช้การวิเคราะห์การแก้ไขข้อบกพร่องของการประดิษฐ์เดิมให้ดียิ่งขึ้นโดยนำมาใช้ควบคู่กันกับการสแกนเนอร์ 3 มิติ ที่ให้ค่าความแม่นยำสูง แม้ขนาดงานที่มีความละเอียดซับซ้อน และเป็นเทคโนโลยีขั้นสูงที่ได้รับการพิสูจน์ และเชื่อถือได้ อวัยวะภายในร่างกายของเราทุกส่วนถูกสร้างมาเพื่อตอบสนองการใช้งานทั้งเบา และหนักโดยเฉพาะอย่างยิ่ง“เท้า” หนึ่งในอวัยวะที่เรียกได้ว่าทำงานหนักเป็นอย่างมากไม่ว่าจะเป็นภาระที่จะพาเราเดินไปไหนได้ไกล และนาน รวมถึงการแบกรับน้ำหนักของร่างกายโดยทั่วไป แล้วกลุ่มบุคคลที่มีปัญหาทางด้านสุขภาพเท้าในด้านต่างๆ จะส่งผลต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน และโดยเฉพาะกลุ่มที่มีปัญหาด้านสุขภาพเท้าเป็นปัญหาของเท้าที่พบบ่อยปัญหาหนึ่งซึ่งอาจเป็นภาวะปกติหรือผิดปกติและอาจแสดงหรือไม่แสดงอาการใดๆ การเลือกรองเท้าที่เหมาะสมก็เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาสุขภาพเท้ารองเท้าที่เหมาะสมนั้นมีหลักนิดเดียว คือ ใส่แล้วสบายเดินได้ทั้งวันแต่ถ้ารองเท้าที่สวมใส่ไม่เหมาะสม เช่น ใส่รองเท้าหน้าแคบหรือรองเท้าส้นสูงอาจทำให้เกิดอาการปวดเท้าหรือมีความผิดปกติกับรูปเท้า เนื่องจากเท้าถูกบีบรัดที่พบบ่อย คือ อาการหัวแม่เท้าเกหรือบิดเข้าสู่นิ้วชี้มากไปจนบางที่เกิดการข้อเท้า ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการรับน้ำหนักที่ไม่เหมาะสม และปวดเท้าตนเอง ถ้าคุณมีอาการปวดเท้าอยู่แล้ว แต่ยังเลือกสวมรองเท้าไม่เหมาะสมก็อาจส่งผลให้มีอาการปวดเท้าเรื้อรังต่อไปได้อีกเพราะรองเท้าเหล่านั้นสำคัญ [2] จึงควรเลือกรองเท้าให้เหมาะกับเท้า เพื่อไม่ให้ส่งผลเสียภายหลังข้อมูลในการทำวิจัยศึกษาความต้องการลดปัญหาสุขภาพเท้าครั้งนี้จะสามารถนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์รองเท้าเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการกลุ่มรองเท้าเพื่อสุขภาพยิ่งขึ้น [3,4]

M.C.H.W. Fuchs, M.M.N. Hermans, H.J.J. Kars, J.G.E. Hendriks, M.C. van der Steen [5]. ได้ศึกษาการกระจายแรงกดฝ่าเท้า และลักษณะการสวมใส่ของรองเท้าจากปลายเท้า 3 คู่ในผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพดีรองเท้าสำหรับขนถ่ายส่วนหน้าใช้เพื่อลดแรงกดบนบริเวณเฉพาะของเท้าจุดมุ่งหมายของการลดแรงกดทับคือการช่วยรักษาเนื้อเยื่ออ่อน และกระดูกป้องกันภาวะแทรกซ้อนโดยการรักษาความผิดปกติของเท้ามีรองเท้าสำหรับขนถ่ายหน้าเท้าหลายแบบให้เลือกในขั้นตอนแรก

ในการตรวจสอบการใช้รองเท้าเหล่านี้เหมาะสมในสถานที่เกี่ยวกับclyกรรมกระดูกเราได้ศึกษาการกระจายแรงกดฝ่าเท้า และลักษณะการสวมใส่ของรองเท้าสำหรับขนาถายที่ส่วนหน้า 3 แบบ ได้แก่ Mailand, Ortho Wedge และ Podalux ในประชากรที่มีสุขภาพดีผู้เข้ารับการทดลองจำนวน 20 คนเดินแบบสุ่มตามลำดับ โดยสวมรองเท้าสำหรับขนาถายด้วยเท้าหน้า 3 คู่ และรองเท้าอ้างอิง 1 คู่เป็นเวลาหกนาที่ใช้ระบบ Pedar วัดความดันใน 7 บริเวณอินทิกิริลความดันพิค และเวลาความดันถูกวิเคราะห์เพื่อใช้ในการวัดการกระจายแรงดัน [5,6] นอกจากนี้คุณลักษณะการสวมใส่ยังได้รับการแก้ไขโดยใช้ระดับคะแนนที่เป็นตัวเลข เมื่อเปรียบเทียบการกระจายแรงกด และการสวมใส่ของรองเท้าสำหรับขนาถายที่ส่วนหน้ากับรองเท้าอ้างอิง รองเท้าMailand และ Ortho Wedge ช่วยลดแรงกดสูงสุดได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ได้ Hallux และมากกว่า 45เปอร์เซ็นต์ ได้ MTH1 ($p < .001$) Podalux ไม่ได้แสดงการลดแรงกดสูงสุดได้เท้าส่วนหน้าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับรองเท้าอ้างอิง ได้นี้เท้าที่เล็กกว่า บริเวณ MTH 4-5 และบริเวณสันเท้ารองเท้า Podalux แสดงให้เห็นว่าแรงกดสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p = .001$) เมื่อคุณลักษณะการสวมใส่รองเท้า Podalux และรองเท้าอ้างอิงทำคะแนนได้ดีกว่า รองเท้าสำหรับขนาถายส่วนหน้าอีก 2 คู่อย่างมีนัยสำคัญ ($p < .01$) ในการศึกษา นี้มีการประเมินความแตกต่างระหว่างรองเท้าสำหรับขนาถายส่วนหน้าแบบต่างๆ รองเท้า Mailand และ Ortho Wedge ช่วยลดแรงกดที่ส่วนหน้าเท้าได้ดีที่สุดแต่ใช้งานไม่สะดวกรองเท้าโยก Podalux ให้ผลลัพธ์ที่ตรงกันข้ามขั้นตอนต่อไปคือการศึกษานี้ [5] [7]

ดังนั้น คณะผู้วิจัยศึกษาขั้นตอนการตรวจสอบส่วนประกอบรองเท้าเพื่อสุขภาพด้วยวิศวกรรมย้อนรอยประกอบด้วย รองเท้า อินโซล และพื้นรองเท้าและเปรียบเทียบขนาดของรองเท้าที่ได้จากการสแกนโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

2. วัสดุ และอุปกรณ์

การทดลองนี้เพื่อศึกษาเกี่ยวกับวิศวกรรมย้อนรอยรองเท้าโดยใช้รองเท้าผ้าใบสีขาวเพื่อสุขภาพขึ้นงานตัวอย่างเบอร์ 42 ทำการสแกนเก็บชิ้นงาน และการสร้างพื้นผิวโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Geomagic Design X และประเมินผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากการวัดตัวอย่างชิ้นงาน แสดงวัสดุและอุปกรณ์ ดังนี้

- ก. รองเท้าผ้าใบเพื่อสุขภาพ สีขาวเบอร์ 42 (รูปที่ 1 ก))
- ข. เครื่องสแกนสามมิติ รุ่น Handy SCAN 700 แบบพกพา (รูปที่ 1 ข))
- ค. จุดอ้างอิงตำแหน่ง (Reference Point) (รูปที่ 1 ค))
- ง. ที่วางชิ้นงานสแกน (รูปที่ 1 ง))
- จ. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Vxelement
- ฉ. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Geomagic Design X
- ช. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ImageJ



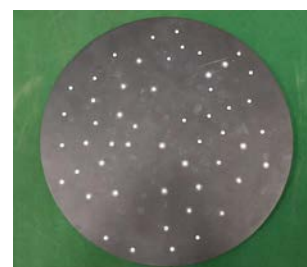
(ก)



(ข)



(ค)



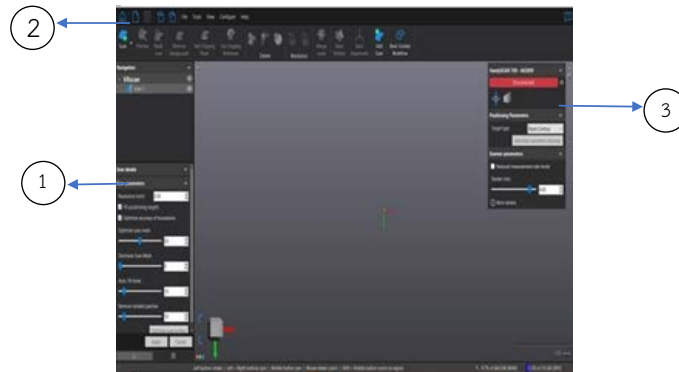
(ง)

รูปที่ 1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทดลอง

3. วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานจะประยุกต์ใช้วิศวกรรมย้อนรอยในการตรวจสอบลักษณะรองเท้าเพื่อสุขภาพมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

3.1 การตั้งค่าเริ่มต้นของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VXelements (VX)



รูปที่ 2 การตั้งค่าเริ่มต้นโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 2 ก. ตารางการตั้งค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VXelements (VX) (หมายเลข 1) ข. ตั้งค่า Shutter = 4.85 ms (หมายเลข 2) และ ค. กด Scan เพื่อเริ่มใช้งาน (หมายเลข 3)

ตารางที่ 1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรม VXelements (VX)

Resolution	0.02 mm
Optimize Scan Meah	50 mm
Decimate Scan Meah	0 mm
Autofill holes	10 mm
Remove isolated patches	10 mm

3.2 การใช้จุดอ้างอิงตำแหน่ง (Reference Point)

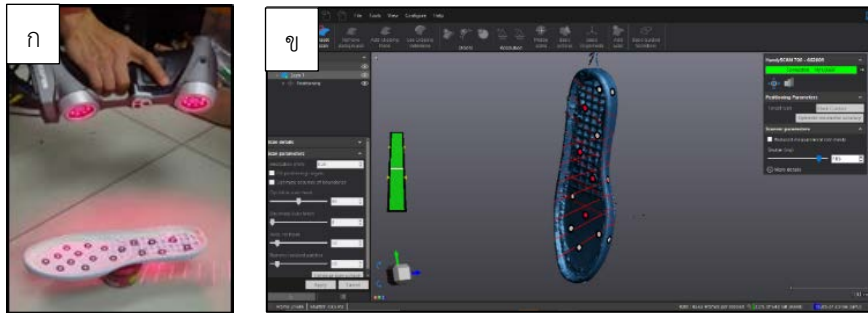
การติดจุดอ้างอิง (Reference Point) ให้อยู่ในลักษณะสามเหลี่ยมไม่ติดถึงกันเกินไปดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 (ก) พื้นรองเท้า (ข) รองเท้า (ค) อินโซล

3.3 สแกนชิ้นงานตัวอย่างโดยเครื่องสแกนเนอร์สามมิติ

การสแกนชิ้นงานให้ไฟล์สแกนขึ้นสีเขียวเพราะอยู่ในระยะห่างที่พอดี ทำการสแกนชิ้นงานให้ทั่วทั้งชิ้นงาน ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 (ก) การสแกนชิ้นงาน (ข) หน้าต่างโปรแกรม คอมพิวเตอร์ VXelements (VX)

ข. เมื่อสแกนชิ้นงานเสร็จสิ้น ใช้คำสั่ง Connect  (หมายเลข1)

ค. หลังจากนั้นกดที่คำสั่ง Delete Triangles  เพื่อลบสิ่งไม่ต้องการที่อาจจะติดมาจากการสแกน (หมายเลข 2)

ง. ทำการบันทึกไฟล์ชิ้นงาน โดยเข้าไปที่คำสั่ง File, Export และ Mesh

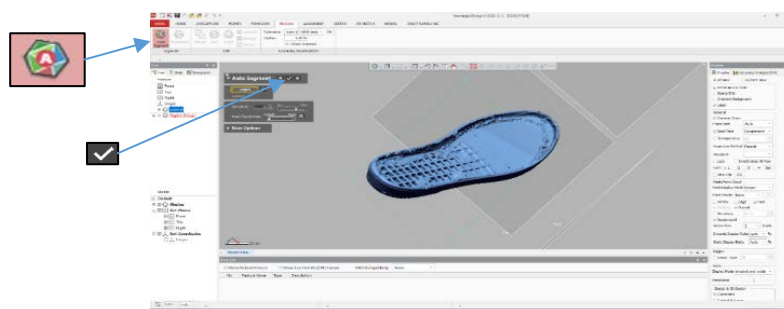
จ. เลือกบันทึกไฟล์งานใน Folder ที่ต้องการ ชื่อไฟล์ที่บันทึกต้องเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้นส่วนนามสกุลใช้ STL เท่านั้น ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 (ก) ขั้นตอนการบันทึกไฟล์ (ข) บันทึกไฟล์เป็นนามสกุล STL.

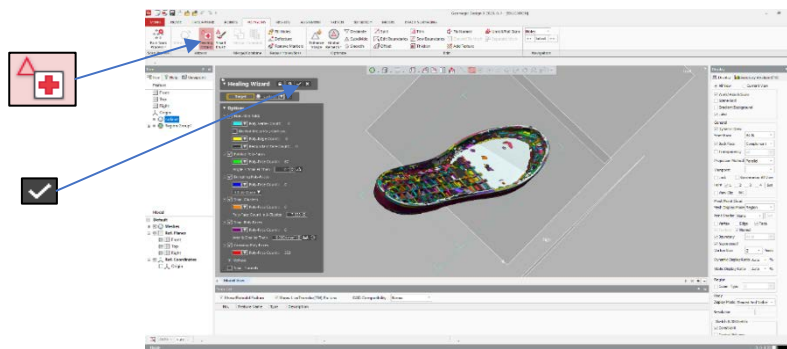
3.4 ขั้นตอนปรับพื้นผิวพื้นรองเท้าโดยใช้โปรแกรม Geomagic Design X

ก. เข้าไปที่ Region ใช้คำสั่ง Auto Segment  จำแนกตาข่ายตามขอบเขตเรขาคณิตที่ต่างกัน โดยอัตโนมัติ โดยพิจารณาจากความโค้ง และคุณลักษณะของข้อมูลการสแกนจากนั้นกดเครื่องหมาย  ดังรูปที่ 6



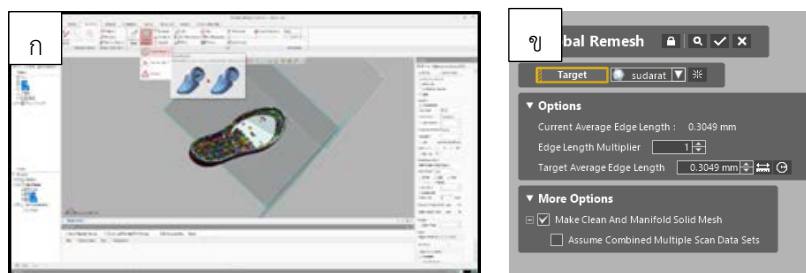
รูปที่ 6 เข้าไปที่ Region ใช้คำสั่ง Auto Segment

ข. เข้าไปที่ Polygons ใช้คำสั่ง Healing Wizard รักษาข้อบกพร่องต่าง ๆ ในตาข่ายโดยอัตโนมัติจากนั้นกดเครื่องหมาย ✓ ดังรูปที่ 7



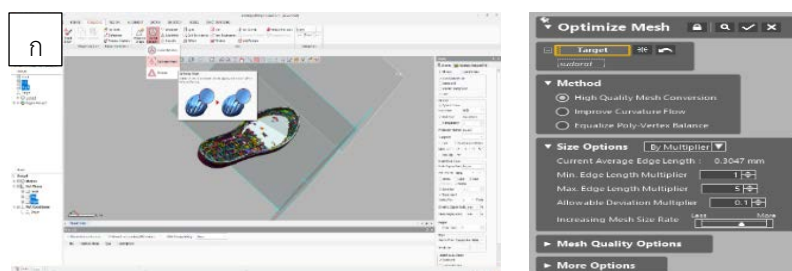
รูปที่ 7 เข้าไปที่ Polygons ใช้คำสั่ง Healing Wizard

ค. ใช้คำสั่ง Global Remesh คำนวณตาข่ายทั้งหมดใหม่ และพิสูจน์คุณภาพตาข่ายจากนั้นกดเครื่องหมาย ✓ ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 (ก) คำสั่ง Global Remesh (ข) หน้าต่างคำสั่ง Global Remesh

ง. ใช้คำสั่ง Optimize Mesh ปรับตาข่ายให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานดาวน์สตรีม เช่น CAE หรือพื้นผิวอัตโนมัติจากนั้นกดเครื่องหมาย ✓ ดังรูปที่ 9

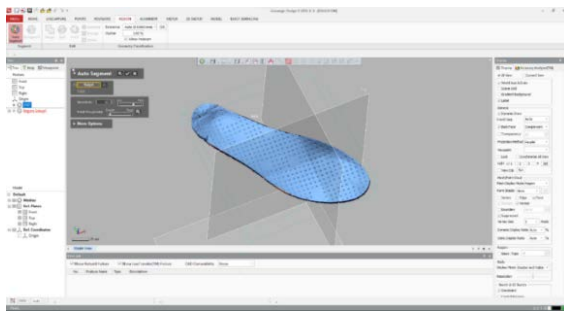


รูปที่ 9 (ก) คำสั่ง Optimize Mesh (ข) หน้าต่างคำสั่ง Optimize Mesh

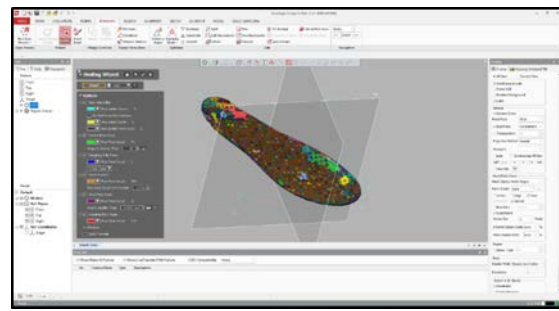
3.5 ขั้นตอนปรับพื้นผิว Insole โดยใช้โปรแกรม Geomagic Design X

ก. เข้าไปที่ Region ใช้คำสั่ง Auto Segment จำแนกตาข่ายตามขอบเขตเรขาคณิตที่ต่างกันโดยอัตโนมัติ โดยพิจารณาจากความโค้ง และคุณลักษณะของข้อมูลการสแกนจากนั้นกดเครื่องหมาย ✓ ดังรูปที่ 10

ข. เข้าไปที่ Polygons ใช้คำสั่ง Healing Wizard  รักษาข้อบกพร่องต่าง ๆ ในตาข่ายโดยอัตโนมัติจากนั้นกดเครื่องหมาย  ดังรูปที่ 11



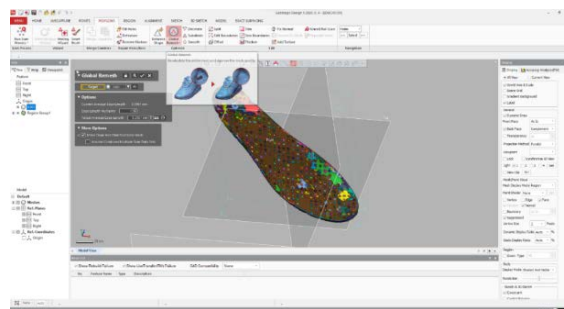
รูปที่ 10 เข้าไปที่ Region ใช้คำสั่ง Auto Segment



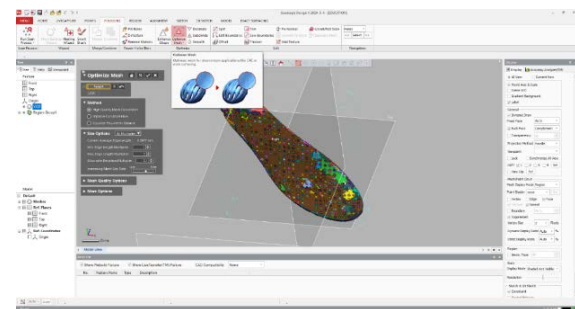
รูปที่ 11 เข้าไปที่ Polygons ใช้คำสั่ง Healing Wizard

ค. ใช้คำสั่ง Global Ramesh  คำนวณตาข่ายทั้งหมดใหม่ และพิสูจน์คุณภาพตาข่ายจากนั้นกดเครื่องหมาย  ดังรูปที่ 12

ง. ใช้คำสั่ง Optimize Mesh  ปรับตาข่ายให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานดาวน์สตรีม เช่น CAE หรือพื้นผิวอัตโนมัติจากนั้นกดเครื่องหมาย  ดังรูปที่ 13



รูปที่ 12 ใช้คำสั่ง Global Ramesh

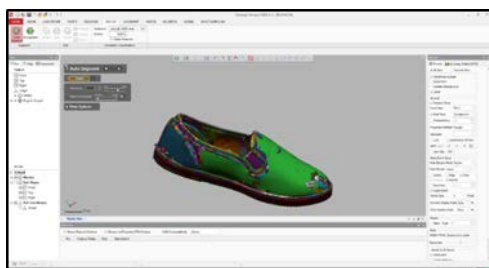


รูปที่ 13 ใช้คำสั่ง Optimize Mesh

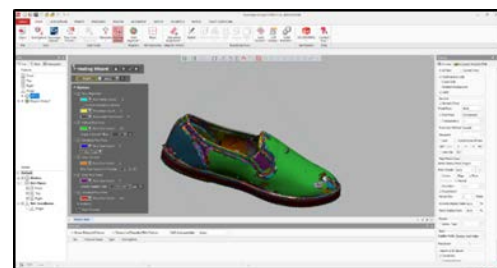
3.6 ขั้นตอนปรับพื้นผิวรองเท้าโดยใช้โปรแกรม Geomagic Design X

ก. เข้าไปที่ Region ใช้คำสั่ง Auto Segment  จำแนกตาข่ายตามขอบเขตเรขาคณิตสีต่างๆ โดยอัตโนมัติพิจารณาจากความโค้ง และคุณลักษณะของข้อมูลการสแกนจากนั้นกดเครื่องหมาย  ดังรูปที่ 14

ข. เข้าไปที่ Polygons ใช้คำสั่ง Healing Wizard  รักษาข้อบกพร่องต่าง ๆ ในตาข่ายโดยอัตโนมัติจากนั้นกดเครื่องหมาย  ดังรูปที่ 15



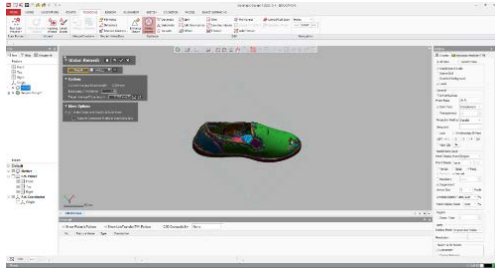
รูปที่ 14 เข้าไปที่ Region ใช้คำสั่ง Auto Segment



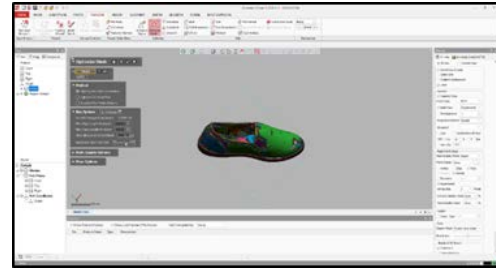
รูปที่ 15 เข้าไปที่ Polygons ใช้คำสั่ง Healing Wizard

ค. ใช้คำสั่ง Global Ramesh  คำนวณตาข่ายทั้งหมดใหม่ และพิสูจน์คุณภาพตาข่ายจากนั้นกดเครื่องหมาย 
ดังรูปที่ 16

ง. ใช้คำสั่ง Optimize Mesh  ปรับตาข่ายให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานดาวน์โหลดสไตรม เช่น CAE หรือพื้นผิว
อัตโนมัติจากนั้นกดเครื่องหมาย  ดังรูปที่ 17



รูปที่ 16 ใช้คำสั่ง Global Ramesh



รูปที่ 17 ใช้คำสั่ง Optimize Mesh

3.7 การวัดระยะพื้นรองเท้าโดยไม่บรรทัด

ทำการวัดความยาวพื้นรองเท้าโดยไม่บรรทัดที่มีขนาดความยาวทั้งหมดสามครั้งจากแต่ละจุดทำให้ได้ค่าขนาดการวัด
ทำการวัดพื้นรองเท้าความกว้างฝ่าเท้าโดยไม่บรรทัด ที่มีขนาดความกว้างทั้งหมดสามครั้งจากแต่ละจุดทำให้ได้ค่าขนาดการวัด
การวัดพื้นรองเท้าความกว้างปลายเท้าโดยไม่บรรทัด ที่มีขนาด ความกว้าง ทั้งหมดสามครั้งจากแต่ละจุดทำให้ได้ค่าขนาดการ
วัด ดังรูปที่ 18

3.8 การวัดขนาดพื้นรองเท้าโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Image J

รูปที่19 ทำการวัดพื้นรองเท้าความยาวโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Image J ที่มีขนาดความยาวทั้งหมดสามครั้งจากแต่
ละจุดทำให้ได้ค่าขนาดการวัดดังนี้ ทำการวัดพื้นรองเท้าความกว้างฝ่าเท้าโดยที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Image J และวัด
พื้นรองเท้าความกว้างปลายเท้าโดยที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Image j มีขนาดความกว้างทั้งหมดสามครั้งจากแต่ละจุด

3.9 การวัดขนาดพื้นรองเท้าโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Geomagic Design X

รูปที่ 20 ทำการวัดพื้นรองเท้าความยาวโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Geomagic Design ที่มีขนาดความยาวทั้งหมดสาม
ครั้งจากแต่ละจุด วัดพื้นรองเท้าความกว้างฝ่าเท้าขนาดความกว้างทั้งหมดสามครั้งจากแต่ละจุด และวัดพื้นรองเท้าความกว้าง
ปลายเท้าขนาดความกว้างทั้งหมดสามครั้งจากแต่ละจุด

3.10 การวัดอินโซลด้วยไม้บรรทัด

รูปที่ 21 ทำการอินโซลรองเท้าเพื่อสุขภาพทางยาวโดยไม้บรรทัดที่มีขนาดความยาวทั้งหมดสามครั้งจากแต่ละจุดความกว้าง
ฝ่าเท้าโดยไม้บรรทัดที่มีขนาดความกว้างทั้งหมดสามครั้ง

3.11 การวัดขนาดอินโซลรองเท้าโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Image J

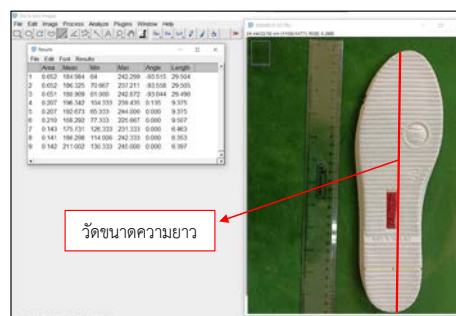
รูปที่ 22 ทำการอินโซลรองเท้าเพื่อสุขภาพความยาวโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Image J ที่มีขนาดความยาวทั้งหมดสาม
ครั้งจากแต่ละจุด

3.12 การวัดขนาดอินโซลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Geomagic Design X

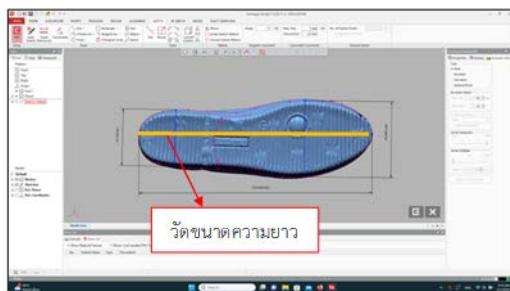
รูปที่ 23 ทำการวัดอินโซลความยาวโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Geomagic Design X มีขนาดความยาวทั้งหมดสามครั้งจาก
แต่ละจุด



รูปที่ 18 การวัดความยาวพื้นรองเท้าโดยไม่บรรทัด



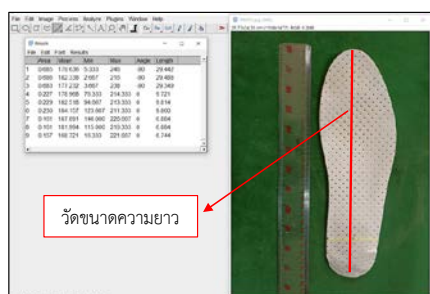
รูปที่ 19 วัดพื้นรองเท้าความยาวโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Image J



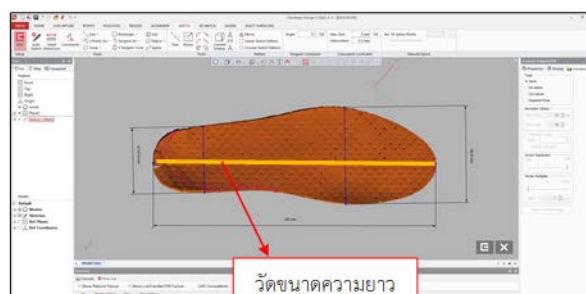
รูปที่ 20 ทำการวัดพื้นรองเท้าความยาว
โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Geomagic Design



รูปที่ 21 ทำการอินโซลรองเท้าเพื่อสุขภาพทางยาวโดยไม่บรรทัด



รูปที่ 22 วัดความยาวโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
Image



รูปที่ 23 วัดอินโซลความยาวโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
Geomagic Design X

4. ผลการทดลอง

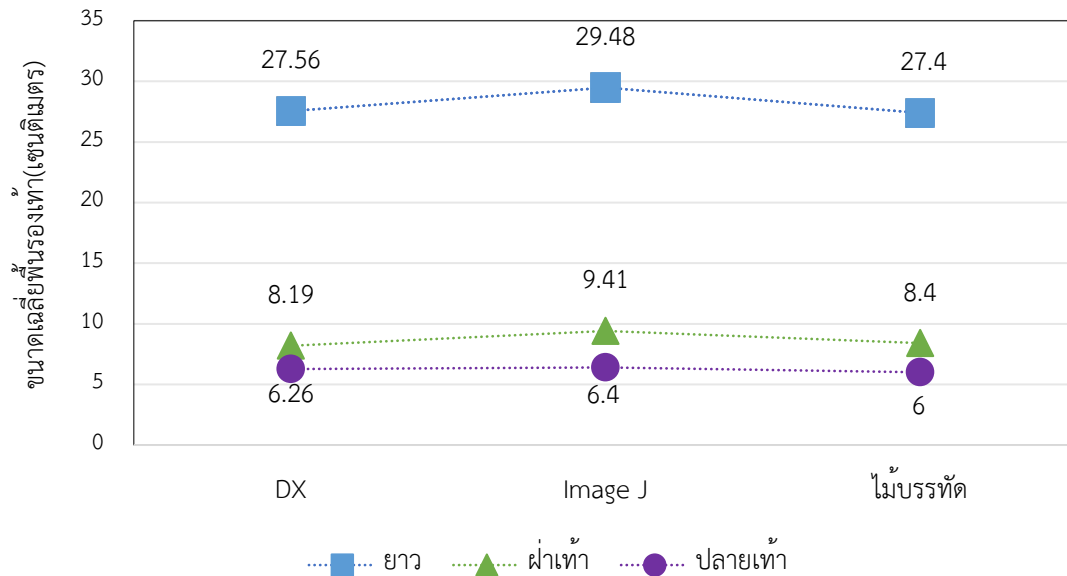
ผลการดำเนินตัวอย่างชิ้นงานสแกนสามมิติรองเท้าเพื่อสุขภาพรองเท้าผ้าใบเพื่อสุขภาพสีขาวเบอร์ 42 ด้วยเครื่องเครื่องสแกน 3 มิติ รุ่น Handy Scan 700 แบบพกพา แปรณต์ CREAFORM แสดงผลการวัดขนาดที่ได้จากการเปรียบเทียบทั้ง 3 วิธีแสดงตามตารางที่ 2 และ 3 จะเห็นได้ว่าขนาดของอินโซลมีขนาดที่ใหญ่กว่าพื้นรองเท้า เนื่องจากว่าอินโซลจะมีส่วนที่หุ้มไปกับรองเท้าขึ้นไปประมาณ 0.5-1 เซนติเมตร และการวัดขนาดต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดโดยไม่บรรทัด โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Image J และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Geomagic Design X มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่างกัน

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบเฉลี่ยพื้นรองเท้า

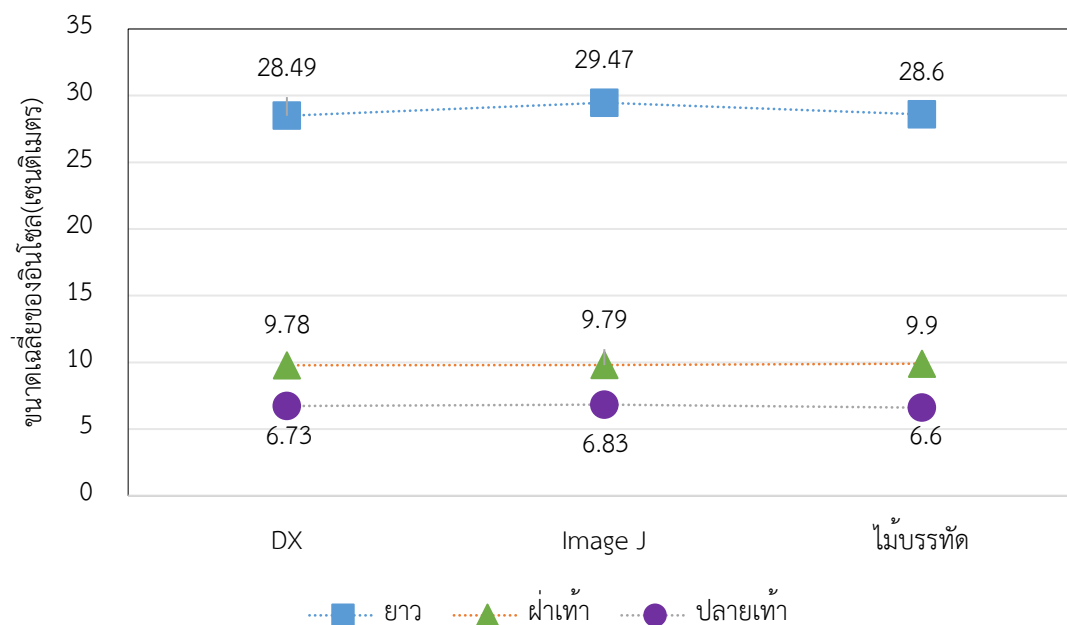
รายการ	DX (cm)	Image J (cm)	ไม้บรรทัด (cm)
ยาว	56.27	48.29	4.27
ฝ่าเท้า	19.8	41.9	4.8
ปลายเท้า	26.6	4.6	6

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบเฉลี่ยอินโซล

รายการ	DX (cm)	Image J (cm)	ไม้บรรทัด (cm)
ยาว	49.28	47.29	6.28
ผ่าเท้า	78.9	79.9	9.9
ปลายเท้า	73.6	83.6	6.6



รูปที่ 24 เปรียบเทียบขนาดเฉลี่ยพื้นรองเท้า



รูปที่ 25 เปรียบเทียบขนาดเฉลี่ยอินโซล

จากกราฟรูปที่ 24 และ 25 แสดงการเปรียบเทียบขนาดเฉลี่ยพื้นรองเท้าและอินโซลที่ถูกวัดในแต่ละวิธีพบว่า มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันจากการวัดด้วยวิธี DX และ Image J ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวัดจึงมีค่าความละเอียดของ

ค่าเฉลี่ยที่ได้มีการวัดไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งแตกต่างจากค่าที่วัดได้ด้วยวิธีใช้ไม้บรรทัดวัดจึงมีค่าความละเอียดจากการวัดที่ต่ำกว่าอาจเกิดจากปัจจัยต่างๆ ของผู้ทำการตรวจสอบจึงส่งผลต่อค่าที่ได้จากการวัดสำหรับการทดลองนี้

5. สรุปผล

1) จากผลการทำสแกนสามมิติรองเท้าเพื่อสุขภาพรองเท้าผ้าใบเพื่อสุขภาพ สีขาวเบอร์ 42 พบว่าลักษณะรองเท้าสุขภาพจาก 5 คุณสมบัติเด่นที่ควรคำนึงถึงในการเลือกใส่รองเท้าเพื่อสุขภาพปรากฏพบว่ารองเท้า เพื่อสุขภาพรองเท้าเพื่อสุขภาพ สีขาวเบอร์ 42 มีถึง 3 คุณสมบัติที่สมควรเลือกซื้อเพราะวัสดุของชิ้นส่วนตรงส่วนบนรองเท้า (Upper) ทำมาจากผ้าแคนวาสที่มีคุณสมบัติแข็งแรง ทนทาน รองรับน้ำหนัก และระบายความร้อนได้ดี การที่บุรองเท้าด้วยฟองน้ำนั้นทำให้ป้องกันการเจ็บบริเวณหน้าเท้า สวมใส่สบายช่วยให้เพิ่มความกระชับให้บริเวณหน้าเท้า และชิ้นส่วนตรงแผ่นรองเท้า (Insole) กับชิ้นส่วนตรงพื้นรองเท้า (Outsole) ทำมาจากวัสดุยางพาราเพราะมีคุณสมบัติยืดหยุ่น และเกาะติดถนนได้ดีทั้งการเดินการวิ่ง

2) จากผลการทำสแกนรองเท้าเพื่อสุขภาพรองเท้าผ้าใบ เพื่อสุขภาพสีขาวเบอร์ 42 ด้วย เครื่องสแกน 3 มิติ รุ่น Handy SCAN 700 แปรณด์ CREAFORM จากประเทศแคนาดาที่มีผลพบว่า Handy SCAN 700 ใช้กระบวนการที่เรียกว่า Triangulation กล้องอินฟราเรดสองตัวสามารถบันทึก การเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ผิวชิ้นส่วนได้ทำให้ซอฟต์แวร์สร้างการจับคู่ที่ 48,000 จุดต่อวินาที มีเส้นสแกน ถึง 7 เส้นทำให้เวลาสแกนน้อยลง และความแม่นยำสูงสุด 0.030 มิลลิเมตร (0.0012 นิ้ว) ความละเอียดสูงสุด 0.050 มิลลิเมตร (0.002 นิ้ว) และโปรแกรมที่ใช้ในการสแกน VxElement ได้รับการออกแบบมา เพื่อลดความซับซ้อนของกระบวนการสแกนทั้งหมดการปรับพื้นผิวให้เหมาะสมหลีกเลี่ยงการสร้างเลย์เออร์การสแกนหลายชั้นสามารถส่งออก Mesh ที่ปรับให้เหมาะสมแล้วในรูปแบบมาตรฐานทั้งหมดได้ทันที ไม่จำเป็นต้องมีการจัดแนวที่ซับซ้อน หรือการประมวลผลพอยต์คลาวด์ไม่มีข้อจำกัดในความละเอียดการสแกนเพียงแค่ต้องป้อนค่าความละเอียด โดยไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุที่สแกน ความละเอียดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ก่อน หรือหลังการสแกน

3) จากผลการทำสแกนรองเท้าเพื่อสุขภาพรองเท้าผ้าใบเพื่อสุขภาพ สีขาวเบอร์ 42 ด้วยเครื่องสแกน 3 มิติ รุ่น Handy SCAN 700 แปรณด์ CREAFORM จากประเทศแคนาดาที่ได้ไฟล์สแกนมาแล้วเข้าสู่โปรแกรม Geomagic Design X เป็นซอฟต์แวร์สร้างแบบจำลองย้อนรอยที่สามารถสร้างข้อมูล CAD ได้โดยการกำหนด และแก้ไขมิติจากข้อมูลพอลิกอน (Point Cloud) ที่ได้รับจากเครื่องสแกนสามมิติสามารถสร้างโมเดลที่เป็น Solid ตามคุณลักษณะที่เข้ากันได้กับซอฟต์แวร์ CAD ทั่วไป

4) จากผลการสแกนสามมิติรองเท้าเพื่อสุขภาพ ใขสีขาวเบอร์ 42 จากการประเมินผลหาค่าความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย และจากการทำการสแกนชิ้นงานตัวอย่างทำให้ทราบว่าชิ้นงานตัวอย่างเป็นรูปแบบงานรูปทรงอิสระมีความซับซ้อนจึงใช้ค่า Resolution 0.02 มิลลิเมตร เพื่อที่ต้องการสร้างพื้นผิวชิ้นงานอย่างสมบูรณ์ที่จะนำไปแก้ไขหรือต่อยอดจากชิ้นงานต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นางสาวสุภารัตน์ คาบแก้ว และ นายสิริวิทย์ เพ็ชรเมณี ผู้ช่วยวิจัย และอาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้ความอนุเคราะห์และให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับดำเนินงานวิจัยการตรวจสอบขนาดของรองเท้าเพื่อสุขภาพโดยการประยุกต์ใช้วิศวกรรมย้อนรอย (กรณีศึกษา) จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด

7. บรรณานุกรม

- [1] David Juárez-Varón, Ana Mengual-Recuerda, Alexandru Capatina, Marian Núñez Cansado 2023. “ Defining shoe consumers: Regulation of affective stimuli and components” Spain : Universitat Politècnica de València

- [2] Katsuhiro Saiga, AMM Sharif Ullah, Akihiko Kubo. 2021. “A Sustainable Reverse Engineering Process”. Japan : Mechanical and Electrical Engineering, Institute of Technology, Kitami
- [3] Ameersing Luximon, Yan Luximon. 2009. “Innovative Shoe Last design for a better shoe fit” Hong Kong : The Hong Kong Polytechnic University
- [4] O.E. Facey, I.D. Hannah, D. Rosen. 2008. “Shoe wear patterns and pressure distribution under the foot and shoe determined by image analysis”. United Kingdom : Birkbeck College
- [5] M.C.H.W. Fuchs, M.M.N. Hermans, H.J.J. Kars, J.G.E. Hendriks, M.C. van der Steen. 2020. “Plantar Pressure and Shoe Wear Characteristics Were Tracked From Three Pairs Of Toenails In Young Adults”. Netherland : Department of Orthopedic Surgery Catharina Hospital Eindhoven
- [6] Tony Lin-Wei Chen, Duo Wai-Chi Wong, Yonghua Peng, Yan Wang, Ivy Kwan-Kei Wong ,Tsz-Kit Lam, Wing-Kai Lam, Ming Zhang. 2022. “The effect of rocker angle and apex position in rocker shoe design on foot biomechanics and Achilles tendon loading”. Hong Kong : Department of Biomedical Engineering, Faculty of Engineering, The Hong Kong Polytechnic University
- [7] Yun Jae Cho, Choongho Lee, Jae Hee Lee, Min Gyu Kyung, Kyung Hwan Lee, Dong Yeon Lee. 2021. “Concentration Presses The Sole Of The Foot In The Shoe Between Each Level and Depth In The Man There”. South Korea : Department of Orthopedic Surgery, Seoul National University Hospital.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า รับผิดชอบต่อภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ต้องเป็นต้นฉบับ ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน มีจุดประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ และผลงานวิชาการด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรม และมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างเคร่งครัด

1. ข้อกำหนดทั่วไป

บทความต้องประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามลำดับต่อไปนี้ คือ

- ชื่อเรื่อง/บทความ (Title)
- ชื่อผู้เขียน/อีเมล (Author, E-mail)
- ที่อยู่ผู้เขียน (Affiliation)
- บทคัดย่อ (Abstract)
- คำสำคัญ (Keywords)
- บทนำ (Introduction)
- เนื้อหา (Text)
- สรุป (Conclusion)
- กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) (Acknowledgements)
- เอกสารอ้างอิง (References)

2. คำแนะนำในการเขียนและพิมพ์

บทความที่มีความประสงค์เผยแพร่ในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า ให้ผู้เขียนใช้ฟอนต์ TH Sarabun New ทั้งฉบับ เว้นแต่การใช้สัญลักษณ์เฉพาะ โดยมีการกำหนดขนาดของตัวอักษรและการกำหนดตัวพิมพ์หนา (Bold) และตัวพิมพ์ปกติ (Regular) ดังนี้

2.1. ชื่อเรื่อง/บทความ (Title) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 18 ด้วยการพิมพ์ตัวหนา ควรใช้ชื่อเรื่องให้มีความกระชับแต่ครอบคลุมสาระเนื้อหาของบทความเพื่อสื่อความหมายของบทความอย่างชัดเจน ไม่ใช้คำย่อ โดยจัดวางกึ่งกลางหน้ากระดาษ

2.2. ชื่อผู้เขียนหลัก (Corresponding Author) และผู้เขียนร่วม (Co-Author) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ด้วยการพิมพ์ตัวปกติ ไม่ต้องระบุตำแหน่งและตำแหน่งทางวิชาการ ให้ใส่หมายเลขลำดับ (ตัวยก) แสดงสังกัดที่แตกต่างกัน และใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้หลัง ชื่อ-สกุล และหมายเลขสังกัด ของผู้เขียนหลัก (ตัวยก)

2.2.1 สำหรับผู้เขียนหลัก ให้ระบุ E-mail เพื่อใช้ในการติดต่อ

2.3. สังกัดผู้เขียน (Affiliation) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ด้วยการพิมพ์ตัวปกติ ประกอบด้วย ชื่อสังกัด ที่อยู่ และรหัสไปรษณีย์ โดยให้ใส่ตัวเลขกำกับไว้ด้านหน้าโดยใช้ตัวยก

2.4. บทย่อดัด (Abstract) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 หัวข้อให้ใช้ตัวพิมพ์หนาและสำหรับเนื้อหาของบทคัดย่อให้ใช้ตัวพิมพ์ปกติ ซึ่งเป็นการสรุปประเด็นเนื้อหาที่เป็นแก่นสำคัญเน้นประเด็นสำคัญของงาน ที่ต้องการนำเสนอ โดยควรประกอบด้วยวัตถุประสงค์ วิธีการ เครื่องมือ และผลสรุป ควรเขียนให้สั้นที่ได้จากการวิจัย และกระชับ สำหรับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ผู้เขียนต้องใช้หลักไวยากรณ์ที่ถูกต้องและต้องมีความหมายเดียวกันกับบทคัดย่อภาษาไทย ถ้าบทความเป็นภาษาไทยจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยให้ภาษาไทยขึ้นก่อน มีความยาวไม่เกิน 1,000 คำ

2.5. คำสำคัญ (Keywords) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 โดยใช้ตัวพิมพ์หนาตัวพิมพ์ปกติ ดังตัวอย่างใน Template นี้ ควรเป็นคำที่อยู่ในชื่อบทความ โดยให้ระบุ 3-5 คำ สำหรับภาษาไทย ให้เว้นวรรคระหว่างคำสำคัญ โดยไม่ใส่จุลภาค หรือ ลูกน้ำ (,) ขึ้นระหว่างคำสำคัญ

2.6. บทนำ (Introduction) ใช้ตัวอักษรขนาด 14 หัวข้อให้ใช้ตัวพิมพ์หนาและสำหรับเนื้อหาให้ใช้ตัวพิมพ์ปกติ ในส่วนนี้เป็นเนื้อหาที่ผู้เขียนตั้งใจให้อ่านเกิดความสนใจในเรื่องนั้นๆ ซึ่งควรมีข้อมูลปฐมภูมิจากการทบทวนวรรณกรรม ข้อมูลทางวิชาการ โดยการสรุปและมีการอ้างอิง เพื่อไว้เป็นข้อมูลที่ผู้กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.7. เนื้อหา (Text) ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ด้วยตัวพิมพ์ปกติ โดยบทความที่เสนออาจพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ตามรูปแบบที่กำหนดเพื่อพร้อมที่จะนำไปพิมพ์ได้ทันที โดยกำหนดขนาดพิมพ์ขนาด A4 ใช้รูปแบบการพิมพ์ 1 คอลัมน์ตามรูปแบบบทความนี้ ไม่มีเว้นระยะห่างระหว่างบรรทัด นอกจากการขึ้นหัวข้อใหม่ให้เว้นบรรทัด 1 บรรทัด โดยจะต้องพิมพ์ให้เต็มคอลัมน์ก่อนที่จะขึ้นคอลัมน์ใหม่ หรือขึ้นหน้าใหม่ ห้ามเว้นที่เหลือไว้ว่างเปล่า

การลำดับหัวข้อในส่วนของเนื้อหานี้ ให้ใส่เลขกำกับโดยให้บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และใส่มหัพภาค หรือ เครื่องหมายจุดหลังตัวเลข เว้นระยะห่าง 1 ช่อง และตามด้วยลำดับหัวข้อ โดยกำหนดให้ทั้งหัวข้อเป็นตัวพิมพ์หนาหากมีการแบ่งหัวข้อย่อย ให้ใช้เลขระบบทศนิยมกับหัวข้อย่อย เช่น 1.1 โดยใช้อักษรรูปแบบปกติ ซึ่งในส่วนเนื้อหาของบทความควรมีหัวข้อเรื่องระเบียบวิธีการ วัสดุและอุปกรณ์ และหัวข้ออื่นที่จำเป็นต่อการได้มาซึ่งผลการวิจัย

2.7.1 รูปแบบการเขียนตารางให้ดูตัวอย่างดังตารางที่ 1 กำหนดให้มีเส้นในแนวนอน มีเฉพาะเส้นในแนวนอน หัวข้อหลักในแต่ละคอลัมน์ กำหนดให้เป็นตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้ายของแต่ละคอลัมน์ และในส่วนเนื้อหาของตารางควรมีการอธิบายตารางที่นำมาใช้สื่อสารกับผู้อ่านในบทความ โดยใช้ตัวอักษรขนาด 12 ในเนื้อหาของตาราง โดยหัวข้อในตารางให้ใช้ตัวพิมพ์หนา

ชื่อ ตารางที่ 1 ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ด้วยตัวพิมพ์หนาและตามด้วยชื่อตารางด้วยตัวพิมพ์ปกติจัดวางอยู่เหนือตาราง โดยไม่เว้นบรรทัดระหว่างชื่อตารางกับตาราง ตำแหน่งของชื่อตารางและตัวตารางให้จัดชิดซ้ายสุด

2.7.2 รูปภาพที่ใส่ในบทความควรมีความละเอียดเพียงพอต่อการแสดงรายละเอียดเพื่อสื่อสารกับผู้อ่าน ต้องมีอัตราส่วน (Ratio) ของรูปภาพที่ถูกต้อง หากมีตัวอักษรในภาพต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอและได้สัดส่วนกับรูปภาพดังกล่าว รูปภาพทุกรูปจะต้องมีหมายเลขกำกับเรียงลำดับก่อนและหลังพร้อมคำบรรยายได้รูปภาพ โดยจัดคำอธิบายและรูปไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ ไม่ควรใช้คำว่า “แสดง” เช่น ไม่ควรเขียนว่า “รูปที่ 1 แสดงเงื่อนไขการสร้างความเค้นดกค้ำขณะเชื่อม” ที่ถูกต้องควรเป็น “รูปที่ 1 เงื่อนไขการสร้างความเค้นดกค้ำขณะเชื่อม” ทั้งนี้ทุกรูปภาพต้องมีการอ้างอิงในเนื้อหา

2.7.3 การเขียนสมการจะต้องมีหมายเลขกำกับอยู่ภายในวงเล็บและเรียงลำดับที่ถูกต้อง ควรใช้ตัวพยัญชนะเอียงแสดงถึงพารามิเตอร์หรือตัวแปรในสมการหรืออาจใช้สัญลักษณ์เฉพาะ หรือใช้รูปแบบ Equation ในการเขียน โดยต้องมีรายละเอียดแสดงความหมายของพารามิเตอร์ที่ปรากฏอยู่ในสมการ เว้นหนึ่งบรรทัดก่อนเขียนสมการ และเว้นหนึ่งบรรทัดหลังเขียนสมการ จัดให้สมการอยู่ตรงกลางหน้ากระดาษ

ตัวอย่างเช่น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทาน (Friction Force; f) กับความดันกระทำตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ (Normal Pressure; N) ที่รู้จักกันในชื่อ Coulomb Friction ดังสมการ (1) โดยที่ μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Coefficient of Friction) [2] ซึ่งต้องมีการอ้างอิงหากนำมาจากแหล่งอื่น ตัวอย่างการเขียนสมการแสดงดังสมการที่ (1) (เว้น 1 บรรทัด ด้วยขนาดอักษร 14)

$$\mu = \frac{f}{N} \quad (1)$$

(เว้น 1 บรรทัด ด้วยขนาดอักษร 14)

3. สรุป

ในส่วนเนื้อหา ผลที่ได้จากการวิจัยต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลหรือเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้าเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ได้จากงานวิจัยนี้ ควรแสดงถึงสิ่งที่ได้จากงานวิจัยนี้เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาต่อยอดกับงานวิจัยอื่นหรือผู้อ่าน รวมถึงสามารถใช้อ้างอิงข้อมูลหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยอาจเขียนแบ่งเป็นข้อ ๆ

1) บทความวิจัยควรมีความยาวของหน้ากระดาษระหว่าง 6 ถึง 12 หน้า

2) บทความทุกบทความที่ส่งเข้าในระบบเพื่อกระบวนการเผยแพร่ในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า ต้องได้รับความยินยอมจากผู้เขียนร่วมทุกท่าน และจะถูกตรวจสอบความซ้ำซ้อนจากกองบรรณาธิการตามมาตรฐานที่กำหนด รวมถึงจะถูกกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณายอมรับ ให้แก้ไข หรือปฏิเสธการเผยแพร่ในวารสาร

3) การส่งบทความให้ดำเนินการผ่านระบบออนไลน์ ที่ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JTEP>

4. กิตติกรรมประกาศ

บรรณาธิการขอขอบคุณท่านที่สนใจเสนอผลงานเพื่อเผยแพร่ในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า (JTEP) และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับการสนับสนุนจากทุกท่านเพื่อเผยแพร่ผลงานในวารสารนี้ต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Phaoniam, S. Wonthaisong, K. Nurinram and J. Kaewwichit. “ Study of Cracking Behavior of a Drilled Hole Edge Crack on ECT Sensitivity for Machinery Component Maintenance,” in *Proceeding of 7th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2022 (RMTC2022)*, Rajamangala University of Technology Isan, Thailand, 2022, pp. 221–222. (in Thai)
- [2] K. Lange, *Handbook of Metal Forming*, New York, McGraw-Hill, 1985.

การอ้างอิงเอกสารใช้ระบบ (Vancouver Style) เรียงตามลำดับ ตามการใช้งาน โดยใส่ตัวเลขของ 1,2,3 เอกสารอ้างอิงไว้ในวงเล็บ เช่น [1] เป็นต้น แล้วรวบรวมไปเขียนอ้างอิง ตามรูปแบบวารสารกำหนด

ในการเขียนเอกสารอ้างอิงผู้เขียนต้องเขียนเป็นภาษาอังกฤษ ในกรณีแหล่งข้อมูลที่ใช้อ้างอิงมาจากแหล่งอ้างอิงภาษาไทย เช่น ตำราไทย วารสารไทย เป็นต้น ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษ แล้ววงเล็บด้านท้ายชื่อภาษาต้น เช่น (in Thai) สำหรับรูปแบบการพิมพ์รายการเอกสารอ้างอิง กำหนดให้ใช้รูปแบบ IEEE ดังตัวอย่างข้างล่าง ทั้งนี้ เพื่อความสะดวก สามารถใช้ IEEE style file ในโปรแกรม Endnote หรือใช้บริการจัดรูปแบบเอกสารอ้างอิงออนไลน์ฟรี โดยยกตัวอย่างเช่น เว็บไซต์ <http://www.citethisforme.com/citation-generator/ieee>

ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง

หนังสือ

- [3] K. Lange, *Handbook of Metal Forming*, New York, McGraw-Hill, 1985.
- [4] L. Stein, “Random patterns,” in *Computers and You*, J. S. Brake, Ed. New York: Wiley, 1994, pp. 55-70.
- [5] G. W. Stachowiak and A. W. Batchelor, *Engineering Tribology*, 3rd ed., Elsevier Butterworth-Heinemann, USA, 2005.

การประชุมวิชาการ

- [6] N. Angsuseranee and B. Watcharasresomroeng, “Performance of Diamond-like Carbon Film Sliding on Stainless Steel Graded SUS304 BA,” in *Proceeding of 5th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2020 (RMTC2020)*, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Thailand, 2020, pp. 217–222. (in Thai)

วารสาร

- [7] A. Gård, P.V. Krakhmalev, J. Bergström and N. Hallbäck, “Galling resistance and wear mechanisms – cold work tool materials sliding against carbon steel sheets,” *Tribology Letters*. Vol. 26(1), 2007, pp. 67–72.
- [8] N. Angsuseranee, B. Watcharasresomroeng, P. Bunyawanchkul and S. Chartniyom, “Tribological behavior of tool steel substrate and solid films against 304 BA austenitic stainless steel under dry sliding,” *Advances in Tribology*, vol. 2020, 2020, pp. 1–11.

มาตรฐาน

- [9] *IEEE Criteria for Class IE Electric Systems*, IEEE Standard 308, 1969.
- [10] *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, ASTM E8/E8M – 13a, 2013.

สิทธิบัตร

- [11] J.P. Wilkinson, “Nonlinear resonant circuit devices,” U.S. Patent 3 624 125, July 16, 1990.

เว็บไซต์

- [12] J. Jones. (1991, May 10). Networks (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>
- [13] JFE Steel Corporation. (2020, September 9). Stainless Steels [Online]. Available: <https://www.jfe-steel.co.jp/en/products/stainless/catalog/g1e-001.pdf>

วิทยานิพนธ์

- [14] J.O. Williams, “Narrow-band analyzer,” Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Harvard Univ., Cambridge, MA, 1993.
- [15] N.M. Amer, “The effects of homogeneous magnetic fields on developments of tribolium confusum,” Ph.D. dissertation, Radiation Lab., Univ. California, Berkeley, Tech. Rep. 16854, 1995.

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

รองศาสตราจารย์ ดร.วิชาญ ช่วยพันธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล กลิ่นบุญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศรชฎ พัฒนาเดช	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.อิสริหัต พึ่งอัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ประยูร สุรินทร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ มุตตามระ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ สุรสิทธิ์ ระว่างค์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์ สิทธิเจริญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ วรพงศ์ บุญช่วยแทน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.คมกริช ละวรรณวงษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติชัย ไศจิปันธุ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ ภูเกล้าวัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเริง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรวิทย์ โชคเหมาะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ใหม่ น้อยพิทักษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชรพล ตัณพิรุฬห์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชิดพงษ์ จอมเดช	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตติกรณ์ เสาร์แดน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุเดช แสงสีดา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา ศรีสัตยกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิทธิ์ เมืองน้อย	คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ มูเก็ม	คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กั้วหน้า จงวัฒนารักษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยณรงค์ ศรีวัชรบุตร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฐิติ หมอรักษา	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เฉลิมพล คล้ายนิล	คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิรวัฒน์ ณ พัทลุง	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.เอกชัย วารินศิริรักษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.ปริญญา กวีกิจบัณฑิต	คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.ปกรณ์ ชุมรัมย์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ดร.ธงชัย เพ็งจันทร์ดี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ดร.ประจักษ์ จิตกุล

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

ดร.สุริยพงศ์ นิลสังข์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ดร.ทงศักดิ์ คงสินธุ์

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ดร.ปิยะพงษ์ คำคุณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทวี หมดส๊ะ

คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

แบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ลงในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว)..... นามสกุล.....

ขอส่ง ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ

เรื่อง (ภาษาไทย)

เรื่อง (ภาษาอังกฤษ)

ชื่อผู้เขียนร่วม (ภาษาไทย)

1. ชื่อ..... นามสกุล.....

2. ชื่อ..... นามสกุล.....

3. ชื่อ..... นามสกุล.....

ชื่อผู้เขียนร่วม (ภาษาอังกฤษ)

1. Firstname..... Surname

2. Firstname..... Surname

3. Firstname..... Surname

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก..... หมู่ที่..... ซอย.....

ถนน..... ตำบล/แขวง..... อำเภอ/เขต..... จังหวัด.....

รหัสไปรษณีย์..... E-mail.....

โทรศัพท์..... โทรสาร..... โทรศัพท์ (มือถือ).....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ ☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าแต่เพียงผู้เดียว☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุในบทความจริง

โดยขอรับรองว่ารูปภาพและข้อความทั้งหมดในบทความนี้ ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ใด ๆ และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำบทความนี้ไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นอีกเป็นการซ้ำซ้อนการละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนบทความโดยตรง ทั้งนี้ผู้เขียนเข้าใจในนโยบายการรับบทความของวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้าแล้ว และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า ถือเป็นลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ลงชื่อ.....
(.....)



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

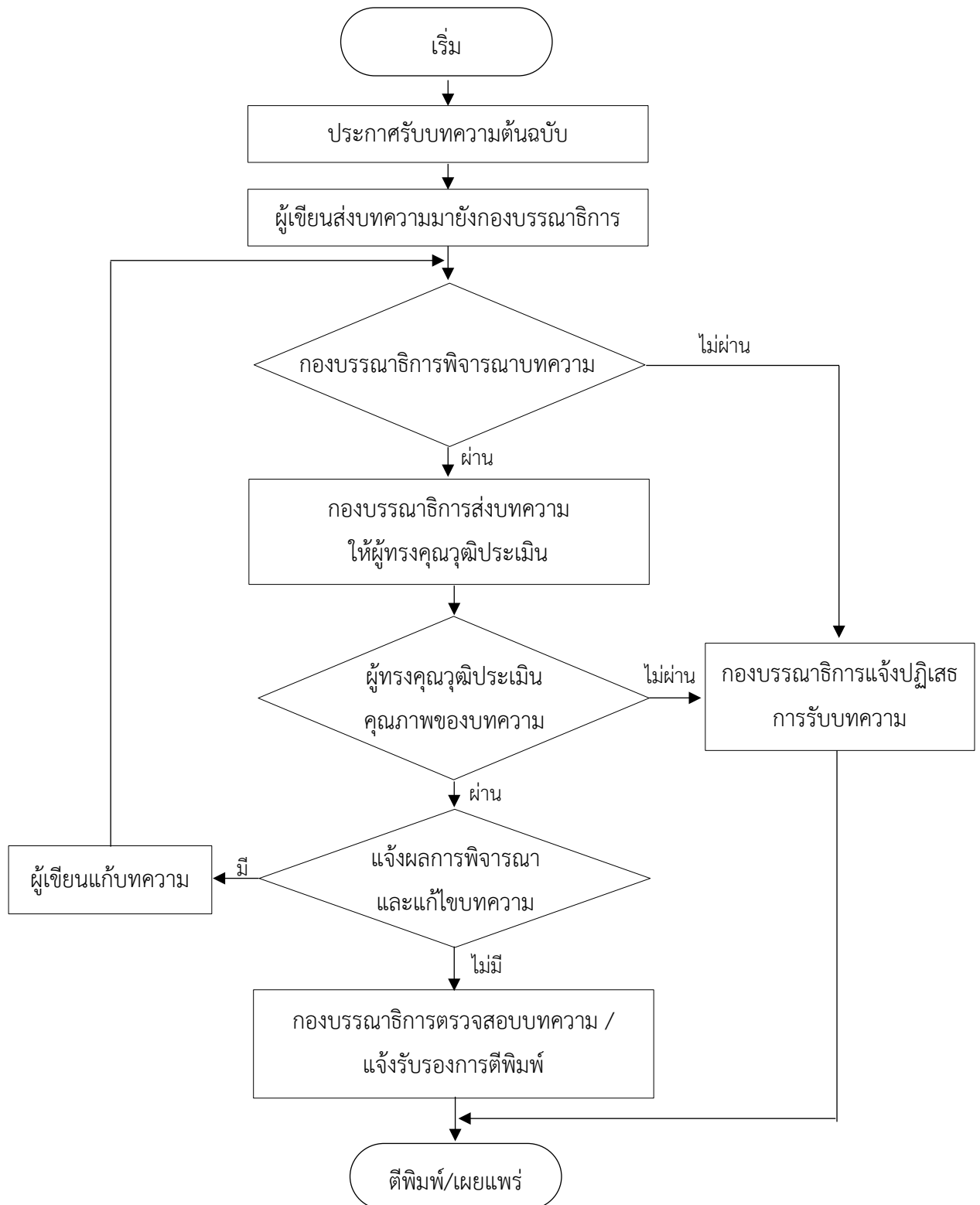
ขอรับรองว่าบทความ.....

โดย
.....
.....

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน
และตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า
ปีที่ ฉบับที่ (..... - พ.ศ.)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย เกาเนียม)
บรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ขั้นตอนการจัดทำวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า





วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า
Journal of Technology and Engineering Progress
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร
กรุงเทพมหานคร 10120

E-mail : jtep_journal@mail.rmutk.ac.th