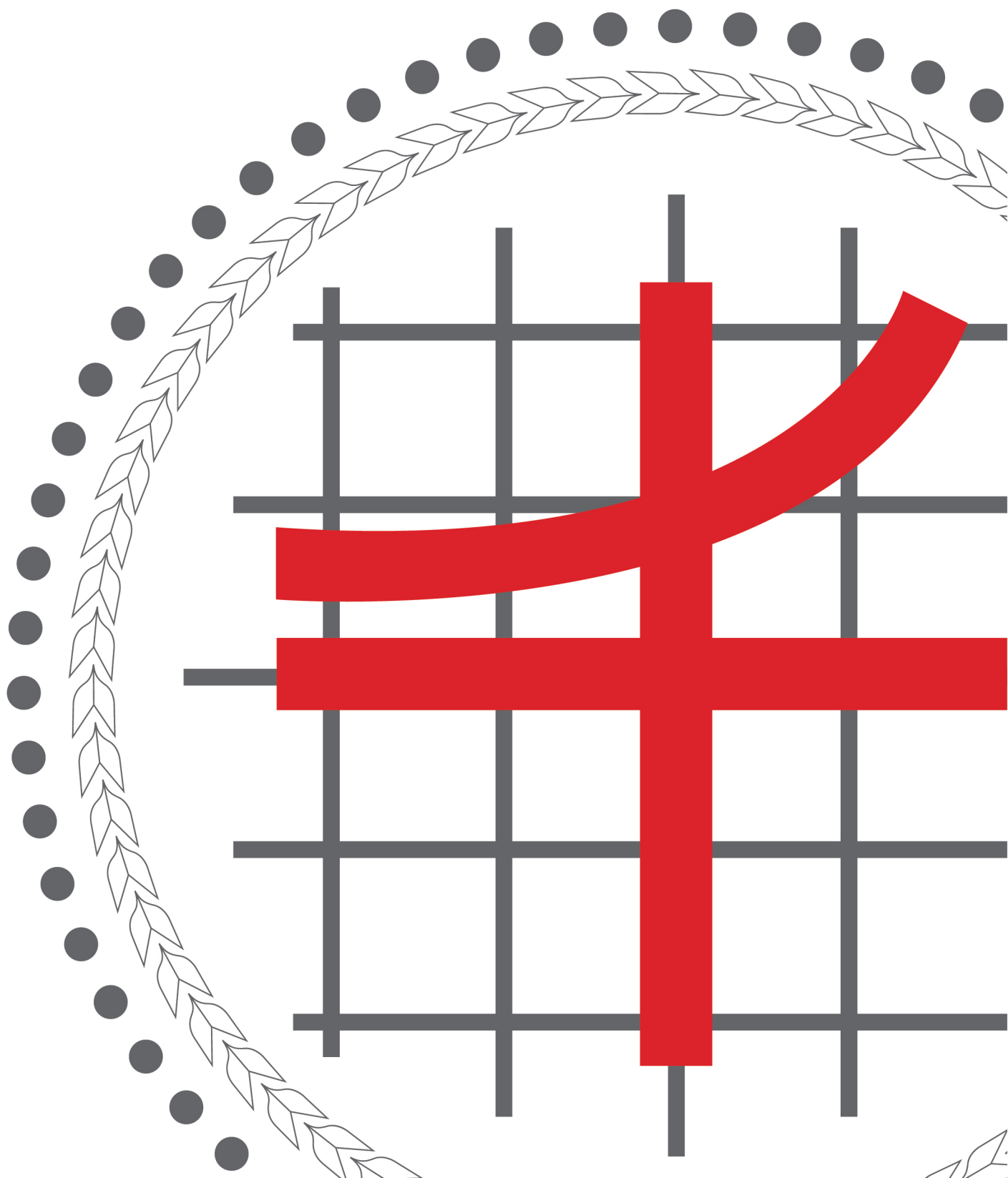


# Srinakharinwirot University Engineering Journal

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Vol. 20 No.1 (October - December 2024)

ISSN : 2774 - 0269 (Online)



## วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นวารสารในศูนย์ข้อมูลดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai – Journal Citation Index Centre: TCI) กลุ่มที่ 2 พ.ศ. 2563-2567 เลขมาตรฐานสากลประจำวารสาร 2774-0269 (Online) เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการ ด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีวิศวกรรมเคมี วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมชีวการแพทย์ และสาขาใกล้เคียงอื่นๆ ทั้งในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ เป็นภาษาอังกฤษหรือภาษาไทยที่มีบทความภาษาอังกฤษ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จึงกำหนดให้จัดทำโครงการจัดทำวารสารทางวิชาการขึ้น โดยจัดพิมพ์เป็นประจำทุกปี โดยปีที่ 1 - 16 วารสารตีพิมพ์ 3 ครั้งต่อปี (ทุก 4 เดือน) ในเดือน เมษายน สิงหาคม และ ธันวาคม (ฉบับที่ 1 ช่วงเดือนมกราคม – เมษายน ฉบับที่ 2 ช่วงเดือนพฤษภาคม – สิงหาคม ฉบับที่ 3 ช่วงเดือนกันยายน – ธันวาคม) ในปีที่ 17 – 19 วารสารตีพิมพ์ 2 ครั้งต่อปี (ทุก 6 เดือน) ในเดือน มีนาคม และ กันยายน (ฉบับที่ 1 ช่วงเดือนตุลาคม – มีนาคม ฉบับที่ 2 ช่วงเดือนเมษายน – กันยายน) เนื่องด้วยในปี 2025 ทางวารสารจะมีการปรับช่วงเวลาในการตีพิมพ์ใหม่ โดยตีพิมพ์ในเดือน มิถุนายน และ ธันวาคม ส่งผลให้วารสารปีที่ 20 ในปี 2024 จะตีพิมพ์ 1 ฉบับ คือ ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 (2024) ช่วงเดือน ตุลาคม – ธันวาคม 2024 และในปี 2025 วารสารจะตีพิมพ์ 2 ครั้งต่อปี (ทุก 6 เดือน) ในเดือน มิถุนายน และ ธันวาคม ซึ่งบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ทุกบทความจะผ่านการทบทวนโดยผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 2 คนต่อบทความ (Peer-review) และประเมินบทความในลักษณะเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความไม่ทราบชื่อผู้แต่งและผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ หรือ Double Blinded review และสงวนสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พุทธศักราช 2521 และเผยแพร่แบบออนไลน์ทั่วประเทศ

## วัตถุประสงค์

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (วศม) มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดสรรและเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีในสาขาวิศวกรรมเคมี วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมชีวการแพทย์ และสาขาใกล้เคียงอื่นๆ ทั้งในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ

## เจ้าของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

63 หมู่ 7 ตำบลอโศก อำเภอบางพลี

จังหวัดนครนายก 26120

โทร. 0 2649 5000 ต่อ 27560

<http://eng.swu.ac.th> และ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/sej>

อีเมล [journalengswu@gmail.com](mailto:journalengswu@gmail.com)

## บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้จัดพิมพ์ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย และแลกเปลี่ยนแนวคิด ความรู้ ความก้าวหน้าใหม่ ด้านวิศวกรรมศาสตร์อย่างต่อเนื่องมาเป็นระยะเวลากว่า 15 ปี โดยบทความทุกเรื่องได้ผ่านการพิจารณาถ้อยแถลงและประเมินคุณภาพตามกระบวนการจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจากหลายสถาบันการศึกษา ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับนี้ ได้นำเสนอบทความจำนวนทั้งสิ้น 5 บทความ เป็นบทความวิจัยจำนวน 5 บทความ โดยบทความทั้งหมดเป็นผลงานวิจัยพื้นฐานและผลงานวิจัยประยุกต์ในสาขาต่างๆ ทางวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งผลงานที่เผยแพร่ในครั้งนี้เป็นผลงานวิจัยที่มุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้งานและการแก้ปัญหาเชิงปฏิบัติการที่เข้ากับสถานการณ์ปัจจุบัน

โดยวารสารวิศวกรรมศาสตร์จัดพิมพ์เป็นประจำทุกปี โดยปีที่ 1 - 16 วารสารตีพิมพ์ 3 ครั้งต่อปี (ทุก 4 เดือน) ในเดือน เมษายน สิงหาคม และ ธันวาคม (ฉบับที่ 1 ช่วงเดือนมกราคม - เมษายน ฉบับที่ 2 ช่วงเดือนพฤษภาคม - สิงหาคม ฉบับที่ 3 ช่วงเดือนกันยายน - ธันวาคม) ในปีที่ 17 - 19 วารสารตีพิมพ์ 2 ครั้งต่อปี (ทุก 6 เดือน) ในเดือน มีนาคม และ กันยายน (ฉบับที่ 1 ช่วงเดือนตุลาคม - มีนาคม ฉบับที่ 2 ช่วงเดือนเมษายน - กันยายน) เนื่องด้วยในปี 2025 ทางวารสารจะมีการปรับช่วงเวลาในการตีพิมพ์ใหม่ โดยตีพิมพ์ในเดือน มิถุนายน และ ธันวาคม ส่งผลให้วารสารปีที่ 20 ในปี 2024 จะตีพิมพ์ 1 ฉบับ คือปีที่ 20 ฉบับที่ 1 (2024) ช่วงเดือนตุลาคม - ธันวาคม 2024 และในปี 2025 วารสารจะตีพิมพ์ 2 ครั้งต่อปี (ทุก 6 เดือน) ในเดือน มิถุนายน และ ธันวาคม

กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการ ที่จะกระตุ้นการผลิตผลงานและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของนักวิจัย นักวิชาการและผู้อ่านทุกท่าน ทั้งนี้ เพื่อการมีส่วนร่วมในการสร้างสรรค์งานวิจัยอันจะเป็นการส่งเสริมการพัฒนาประเทศ ตามแนวนโยบายประเทศไทย 4.0 ในโอกาสนี้กองบรรณาธิการขอขอบคุณกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการประเมินบทความ ให้ความเห็นที่เป็นประโยชน์ และมีส่วนร่วมในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานของวารสารฯ ฉบับนี้เสมอ สุดท้ายนี้หากมีข้อเสนอแนะประการใดทางกองบรรณาธิการฯ ยินดีรับฟังข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงและพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น

รองศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญยานิชกุล

บรรณาธิการวารสาร

## สารบัญ

### บทความวิจัย

|                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| การศึกษาการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ลพบุรี-ปากน้ำโพ<br>A Study of Awareness on Law Related to Pile Driving Work in the Construction of Track<br>Doubling Project at Lop Buri - Pak Nam Pho section             | 1  |
| จิตวัฒน์ จงไกรจักร, วรานนท์ คงสง, ชัยวัฒน์ ภูวกรกุลชัย, บุญธรรม หาญพาณิชย์, กฤษดา พิศลยบุตร                                                                                                                                                              |    |
| ระบบวิชั่นฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม 4.0<br>Open-Source Embedded Vision System for Industry 4.0 Applications                                                                                                                | 14 |
| ธนศ อริสริยวงศ์, อีรพล คุ่มเสรีจ, อีรวัฒน์ พรหมเมือง                                                                                                                                                                                                     |    |
| การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์เล็กทำงานต่อเนื่องเทียบกับมาตรฐาน มอก.787-2551<br>Study of Performance of Small Engine Running Continuously Compared to TIS 787-2551<br>Standards                                                                              | 23 |
| สมพจน์ คำแก้ว, ณัฐพงษ์ สุขสบาย, ศุภชัย แก้วพวง                                                                                                                                                                                                           |    |
| การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาดเล็กที่ทำงานขณะมีโหลดเกินกำลังเทียบกับมาตรฐาน มอก.787-2551<br>Study of the Performance of Small-Sized Engines Operating under Overloaded Conditions<br>Compared to TIS 787-2551                                         | 31 |
| สมพจน์ คำแก้ว, ศุภชัย แก้วพวง, ณัฐพงษ์ สุขสบาย                                                                                                                                                                                                           |    |
| การทวนสอบเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าด้วยการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด<br>สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง<br>Verification of Measuring Electrical Instruments by Evaluating Measurement Uncertainty for<br>Use in Simulated Calibration Laboratory | 38 |
| ฉลอง โสตาบัน, ประสาน คำดีผล, ธงชัย เพ็งจันทร์ดี                                                                                                                                                                                                          |    |

## การศึกษาการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก

### โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ลพบุรี-ปากน้ำโพ

## A Study of Awareness on Law Related to Pile Driving Work in the Construction of Track Doubling Project at Lop Buri - Pak Nam Pho section

ฐิตวัฒน์ จงไกรจักร\* วรานนท์ คงสง ชัยวัฒน์ ภูวกรกุลชัย บุญธรรม หาญพานิชย์ กฤษดา พิศลยบุตร  
สาขาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ถ.รามคำแหง  
แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กทม.10240

Titawat Jongkaijuk \* Waranon Kongsong, Chaiwat Pooworakulchai Buntham Hanphanit  
Kritsada Phisonyabut

Field Engineering Law and Inspection, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University,  
Ramkhamhaeng Road, Hua Mak Subdistrict, Bang Kapi District, Bangkok 10240

\*Corresponding author Email: nuttertools25331@gmail.com

(Received: May 11, 2024; Revised: October 21, 2024 ; Accepted: December 4, 2024)

#### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ โดยระเบียบวิธีวิจัยเชิงปริมาณ ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล การศึกษาจะใช้กลุ่มประชากรซึ่งเป็นบุคลากรในโครงการฯ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 วิศวกรควบคุมงานก่อสร้าง ผู้ควบคุมงานก่อสร้างที่อยู่หน้างานของบริษัทผู้รับเหมา กลุ่มที่ 2 วิศวกรโครงการ วิศวกรควบคุมงานโครงการ (ผู้เชี่ยวชาญด้านงานเสาเข็มตอก) โดยจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกและวิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกด้วยหลักวิธีทางวิศวกรรม ในโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ และทำแบบสอบถาม สำนวณความคิดเห็น ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และนำไปสู่การแปลผลการศึกษา ผลการวิจัยพบว่า 1) การรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ช่วง ลพบุรี-ปากน้ำโพ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.60 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.94 โดยรวมอยู่ในระดับมาก 2) การรับรู้วิธีการก่อสร้างเสาเข็มตอกตามหลักวิธีทางวิศวกรรม โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ช่วง ลพบุรี-ปากน้ำโพ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.67 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.92 โดยรวมอยู่ในระดับมาก

**คำสำคัญ:** การรับรู้กฎหมาย , หลักวิธีทางวิศวกรรม , เสาเข็มตอก

#### Abstract

The objective of this research is to study the awareness of laws related to pile driving work in the dual-track railway construction project between Lopburi and Pak Nam Pho. Using a quantitative research methodology, data was collected through questionnaires. The study's target population is

personnel involved in the project, divided into two groups as follows: Group 1: Construction supervision engineers who manage the on-site construction of the contractor's company. Group 2: Project engineers and project supervision engineers (specialists in pile driving work). The data collected relates to the awareness of laws concerning pile driving work and the engineering methods used for pile driving in the dual-track railway construction project. Additionally, opinions on variables affecting the project's success, both independent and dependent, were surveyed to interpret the research findings. The research findings revealed the following: 1) Awareness of Laws Related to Pile Driving Work in the dual-track railway construction project between Lopburi and Pak Nam Pho had an average score of 3.60, with a standard deviation of 0.94, indicating a high level of awareness overall. 2) Awareness of Pile Driving Construction Methods According to Engineering Principles, the same project had an average score of 3.67 with a standard deviation of 0.92, also indicating a high level of awareness overall.

**Keywords:** Awareness of the law, engineering methods, driven pile.

## 1. บทนำ

โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ เป็นโครงการที่ก่อสร้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการขนส่งทางรถไฟ ลดระยะเวลาการเดินทางและประหยัดค่าเงินการก่อสร้างจากทางเดียวให้เป็นทางคู่เพื่อลดระยะเวลาการเดินทางและช่วยให้ประชาชนหันมาใช้บริการระบบขนส่งทางรถไฟให้มากยิ่งขึ้น ซึ่งโครงการจำนวน 23 แห่ง , สะพานลอยคนข้าม จำนวน 24 แห่ง , งานก่อสร้างสะพานรถไฟ จำนวน 29 แห่ง , งานสถานีในโครงการ 21 แห่ง ซึ่งในแต่ละองค์ประกอบของงานมีความเสี่ยงในระหว่างการก่อสร้าง ความปลอดภัยและมาตรฐานของการก่อสร้าง การควบคุมคุณภาพงานก่อสร้างจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญ ซึ่งการก่อสร้างมีส่วนเกี่ยวข้องกับประชาชนทั้งสิ้น จึงให้ความสำคัญกับการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกอย่างมาก หากเกิดปัญหาจากการตอกเสาเข็มจะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างส่วนอื่นๆ เพราะอาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้สัญจรและประชาชนผู้ใช้บริการ

จากเหตุผลดังกล่าว ซึ่งผู้วิจัยเป็นผู้ปฏิบัติงานในส่วนของการควบคุมงานก่อสร้างของกลุ่มบริษัทที่ปรึกษาพบว่าปัญหาการดำเนินการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกของ

พลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคการขนส่งของประเทศ ลดปัญหามลพิษที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่จะพิจารณาในเส้นทางที่มีความถี่ในการเดินรถไฟสูง และต้องรอการสับหลักเป็นระยะเวลานาน การก่อสร้างรถไฟทางคู่ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพมีองค์ประกอบหลักของงานก่อสร้างโดยใช้เสาเข็มตอกประกอบด้วย สะพานกลับรถ รูปตัวยู (Two Way U-Turn) โครงการฯ มีปริมาณจำนวนมาก แต่บุคลากรมีความรู้ความเข้าใจในหลักวิธีทางวิศวกรรมและกฎหมายบังคับใช้งานเสาเข็มตอกมีจำนวนน้อย ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของงาน ผู้วิจัยจึงเห็นว่าถ้าบุคลากรทราบถึงการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกและรับรู้หลักวิธีทางวิศวกรรมอย่างถูกต้อง จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของบุคลากรและคุณภาพของงานที่เป็นไปตามมาตรฐาน และตรงตามเจตนารมณ์ของกฎหมาย

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกของพนักงานในโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ
2. เพื่อวิเคราะห์การรับรู้วิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกของพนักงานตามหลักวิธีทางวิศวกรรม

3. เพื่อกำหนดแนวทางการปฏิบัติอย่างถูกต้องตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกและตามหลักทางวิศวกรรมของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ

### 3. กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยเรื่องการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก รวมถึงศึกษาความคิดเห็นของพนักงานที่มีต่อความสำเร็จของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่ของโครงการแห่งหนึ่ง ซึ่งมีกรอบแนวคิดในการวิจัยสามารถแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น ตัวแปรย่อยและตัวแปรตาม ดังนี้

ตัวแปรต้น คือ ลักษณะประชากรศาสตร์ ระดับการศึกษา ประสบการณ์ ตำแหน่งหน้าที่ และการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก , การรับรู้วิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกด้วยหลักวิธีทางวิศวกรรม

ตัวแปรย่อย คือ 1. ประกาศกระทรวงมหาดไทย : เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม หมวด 1 ข้อกำหนดทั่วไป หมวด 2 ความปลอดภัยในการตอกเสาเข็ม หมวด 3 โครงสร้างเครื่องตอกเสา หมวด 5 เครื่องตอกเสาเข็มระบบไอน้ำ ลมไฮดรอลิก 2. มยผ.1164-64 : มาตรฐานงานเสาเข็ม ข้อกำหนดสำหรับวัสดุก่อสร้างข้อกำหนดในการก่อสร้าง

ตัวแปรตาม คือ การปฏิบัติงานตามกฎหมายที่ใช้ในงานเสาเข็มตอก

สมมติฐานของการวิจัย คือ 1. ระดับการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกของพนักงานมีแตกต่างกันตามประสบการณ์ 2. ระดับการรับรู้วิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกของพนักงานด้วยหลักวิธีทางวิศวกรรม แตกต่างกันตามประสบการณ์

### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

#### 4.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงปริมาณ โดยใช้แบบสอบถาม(Questionnaire) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่

เกี่ยวข้องกับการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกและวิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกด้วยหลักวิธีทางวิศวกรรม ในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ และทำแบบสอบถาม สํารวจความคิดเห็น ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และนำไปสู่การแปลผลการศึกษาเป็นไปตามลำดับดังที่อธิบายในหัวข้อต่อไป

#### 4.2 ประชากรและตัวอย่าง

##### 4.2.1 ผู้วิจัยได้ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

เป็นบุคลากรในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ ได้แก่ วิศวกรควบคุมงานก่อสร้าง ผู้ควบคุมงานก่อสร้างที่อยู่หน้างานของบริษัทผู้รับเหมา รวมถึงวิศวกรโครงการ วิศวกรควบคุมงานโครงการ (วิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านงานเสาเข็มตอก) โดยมีจำนวนอยู่ที่ 150 คน

##### 4.2.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มที่ 1 วิศวกรควบคุมงานก่อสร้าง ผู้ควบคุมงานก่อสร้างที่อยู่หน้างานของบริษัทผู้รับเหมา จำนวน 85 คน กลุ่มที่ 2 วิศวกรโครงการ วิศวกรควบคุมงานโครงการ (ผู้เชี่ยวชาญด้านงานเสาเข็มตอก) จำนวน 65 คน โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ประชากรรวมทั้งหมด 150 คนโดยใช้สูตรคำนวณ ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 95 ค่าความคลาดเคลื่อนในการเลือกตัวอย่างร้อยละ 5 (สมการที่ 1) จะได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทั้งสิ้นจำนวน 110 คน

$$\text{สูตร } n = \frac{N}{1+N(e)} \quad (1)$$

$n$  = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

$N$  = จำนวนประชากร

$E$  = ความคลาดเคลื่อน = 0.05

$$\text{แทนค่า } n = \frac{150}{1+150(0.05)^2} = 110 \text{ คน}$$

นำกลุ่มตัวอย่างมาใช้วิธีการสุ่มแบบเลือกตามความเหมาะสม (Non-Proportional stratified random sampling) แยกตามกลุ่มระดับตำแหน่งงานของพนักงาน

ได้แก่ หัวหน้าวิศวกรของผู้รับเหมาและผู้ควบคุมงานก่อสร้าง วิศวกรหรือสถาปนิก หัวหน้าโฟร์แมน/โฟร์แมน และ วิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านงานเสาเข็มตอก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

| กลุ่มระดับ                        | จำนวนประชากร<br>(คน) | ผลจากการคัดเลือก<br>(คน) |
|-----------------------------------|----------------------|--------------------------|
| 1.หัวหน้าวิศวกร/สถาปนิก           | 25                   | 18                       |
| 2.วิศวกรหรือสถาปนิก               | 45                   | 33                       |
| 3.หัวหน้าโฟร์แมน                  | 20                   | 15                       |
| 4. โฟร์แมน                        | 40                   | 29                       |
| 5. วิศวกรผู้เชี่ยวชาญงานด้านต่างๆ | 20                   | 15                       |
| รวมทั้งหมด                        | 150                  | 110                      |

## 5. เครื่องมือวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเป้าหมายมาวิเคราะห์ผล โดยแบบสอบถามได้ออกแบบมาจากการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกและวิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกตามหลักวิธีทางวิศวกรรมจำนวน 3 ส่วน มีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามมีลักษณะเป็นแบบสำรวจรายการ (Check List) ได้แก่ ระดับการศึกษา ตำแหน่งหน้าที่ ประสบการณ์ ดังแสดงในตารางที่ 2 - 4

ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามเพื่อวัดระดับการรับรู้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก [3] ส่วนที่สองการรับรู้วิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกตามหลักวิธีทางวิศวกรรม [4]

ตารางที่ 2 จำนวนและค่าร้อยละ จำแนกตามระดับการศึกษา

| ระดับการศึกษา          | จำนวน(คน) | ร้อยละ |
|------------------------|-----------|--------|
| ต่ำกว่า ม.6            | -         | -      |
| ม.6 หรือเทียบเท่า      | 1         | 0.91   |
| ปวส.-ปวช.              | 43        | 39.09  |
| ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า | 59        | 53.64  |
| สูงกว่าปริญญาตรี       | 7         | 6.36   |
| รวม                    | 110       | 100.00 |

ตารางที่ 3 จำนวนและค่าร้อยละ จำแนกตามตำแหน่งหน้าที่

| ตำแหน่งหน้าที่                 | จำนวน<br>(คน) | ร้อยละ |
|--------------------------------|---------------|--------|
| หัวหน้าวิศวกร/สถาปนิก          | 18            | 16.36  |
| วิศวกรหรือสถาปนิก              | 33            | 30.00  |
| หัวหน้าโฟร์แมน                 | 15            | 13.64  |
| โฟร์แมน                        | 29            | 26.36  |
| วิศวกรผู้เชี่ยวชาญงานด้านต่างๆ | 15            | 13.64  |
| รวม                            | 110           | 100.00 |

ตารางที่ 4 จำนวนและค่าร้อยละจำแนกตามประสบการณ์

| ประสบการณ์    | จำนวน(คน) | ร้อยละ |
|---------------|-----------|--------|
| น้อยกว่า 3 ปี | 7         | 6.36   |
| 3-5 ปี        | 6         | 5.45   |
| 6-10 ปี       | 33        | 30.00  |
| 11-15 ปี      | 25        | 22.73  |
| 16-20 ปี      | 20        | 18.18  |
| 21 ปีขึ้นไป   | 19        | 17.27  |
| รวม           | 110       | 100.00 |

ส่วนที่ 3 เป็นแบบสอบถามปลายเปิด (Open Ended Response Question Form) โดยให้ผู้ตอบ

แบบ สอบถาม แสดงความคิดเห็น ได้อย่างอิสระ  
ข้อเสนอแนะหรือความเห็นอื่นๆ

ในด้านการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็ม  
ตอก แบบสอบถามที่จัดทำขึ้น นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษา  
เพื่อพิจารณาตรวจสอบความถูกต้อง ความชัดเจนของถ้อย  
คำและภาษาที่ใช้ ภายหลังจากอาจารย์ที่ปรึกษาเห็นชอบแล้ว  
นำมาหาค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาโดยนำแบบสอบถาม  
ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วมาเสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3  
ท่าน

เพื่อพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับ  
วัตถุประสงค์กับแบบทดสอบ IOC โดยใช้หลักเกณฑ์การ  
ให้คะแนน

+1 สำหรับข้อความที่สอดคล้องกับสิ่งที่ต้องการวัด

0 สำหรับข้อความที่ไม่แน่ใจว่าสอดคล้องกับสิ่งที่  
ต้องการวัด

-1 สำหรับข้อความที่ไม่สอดคล้องกับสิ่งที่ต้องการวัด

บันทึกผลการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิแต่ละข้อแล้ว  
นำไปหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับ  
วัตถุประสงค์ โดยเกณฑ์ว่าผลรวมของคะแนนความคิดเห็น  
ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป ถือว่าข้อความนั้นสอดคล้องกับนิยาม  
ศัพท์เฉพาะดังสมการที่ 2

$$IOC = (\Sigma R)/N \quad (2)$$

เมื่อ

IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับ  
นิยามศัพท์เฉพาะ

$\Sigma R$  แทน ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นในแต่ละ  
ข้อความของผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด

N แทน จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้อง (IOC)  
โดยได้ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของข้อคำถาม  
ทั้งหมดเท่ากับ 0.986

## 6. การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ ใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลช่วงเวลา  
เดียว โดยผู้วิจัยจะทำการแจกแบบสอบถามให้กับกลุ่ม  
ตัวอย่างในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า ช่วงลพบุรี-ปากน้ำ

โพ เพื่อตอบและเสนอข้อคิดเห็นรวมถึงประเมินคะแนน  
ความมากน้อยลำดับความพึงพอใจดังนี้

1. ผู้วิจัยเตรียมแบบสอบถามแจกให้กับประชากรและ  
กลุ่มตัวอย่างด้วยตนเอง ตามจำนวนเพื่อให้ประชากรและ  
กลุ่มตัวอย่างทำการแสดงมุมมองความคิดเห็นและ  
ประเมินคะแนน

2. เก็บรวบรวมข้อมูลจากประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่  
ได้ทำการประเมิน ออกเป็นหมวดหมู่เพื่อนำมาวิเคราะห์  
ต่อไป

เมื่อผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากประชากรและกลุ่ม  
ตัวอย่างได้ตามเป้าหมาย แล้ว ผู้วิจัยจะทำการใช้  
โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เพื่อทำการวิเคราะห์  
ข้อมูลตามแบบสอบถามมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบ  
แบบสอบถามการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบ  
แบบสอบถาม คือ นำข้อมูลทั่วไปมาทำการร้อยละทาง  
สถิติใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปในการประมวล  
และนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของตารางร้อยละทางสถิติ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลที่ได้จากแบบมาตราส่วนประมาณค่า  
วิเคราะห์โดยหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ( $\bar{x}$ ) และส่วนเบี่ยงเบน  
มาตรฐาน (S.D.) แล้วสรุปผลในรูปแบบข้อความประกอบ  
ตารางและแผนภูมิ สำหรับเกณฑ์การตัดสินวิเคราะห์  
ข้อมูล พิจารณาจากค่าเฉลี่ยเลขคณิต เกณฑ์จุดกลางของ  
ช่วงระดับคะแนน ดังนี้

$$\text{ช่วงอัตราค่าเฉลี่ยเลขคณิต} = \frac{(5-1)}{5} = 0.8$$

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามปลายเปิด (Open Ended Response  
Question Form) โดยให้ผู้ตอบแบบสอบถามแสดงความ  
คิดเห็นได้อย่างอิสระ ข้อเสนอแนะหรือความเห็นอื่นๆ

การทดสอบสมมติฐานงานวิจัย วิเคราะห์หา  
ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประชากรศาสตร์ ได้แก่  
ประสบการณ์และการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงาน  
เสาเข็มตอก และการรับรู้วิธีการก่อสร้างเสาเข็มตอกตาม  
หลักวิธีทางวิศวกรรม ตามสมมติฐานดังต่อไปนี้

## สมมติฐานที่ 1

$H_0$  : ประสิทธิภาพที่แตกต่างกันไม่มีความสัมพันธ์กับการรับรู้ที่เกี่ยวข้องกับการเสาะเลือก

$H_1$  : ประสิทธิภาพที่แตกต่างกันมีความสัมพันธ์กับการรับรู้ที่เกี่ยวข้องกับการเสาะเลือก

## สมมติฐานที่ 2

$H_0$  : ประสิทธิภาพที่แตกต่างกันไม่มีความสัมพันธ์กับการรับรู้วิธีการก่อสร้างเสาะเลือกตามหลักวิธีทางวิศวกรรม

$H_1$  : ประสิทธิภาพที่แตกต่างกันมีความสัมพันธ์กับการรับรู้วิธีการก่อสร้างเสาะเลือกตามหลักวิธีทางวิศวกรรม

ทดสอบสมมติฐานโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA) สามารถคำนวณได้จากสูตรนี้ [5]

ทั้งนี้ งานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปในการหาค่าสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## 7. ผลการศึกษา

ตารางที่ 5 พบว่า การรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาะเลือก [3] โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคูช่วง ลพบุรี-ปากน้ำโพ มีค่าเฉลี่ยภาพรวม (Mean=3.60 , S.D.=0.94) อยู่ในระดับมาก

ตารางที่ 6 พบว่า การรับรู้วิธีการก่อสร้างเสาะเลือกตามหลักวิธีทางวิศวกรรม [4] โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคูช่วง ลพบุรี-ปากน้ำโพ มีค่าเฉลี่ยภาพรวม (Mean=3.67 , S.D.=0.92) อยู่ในระดับมาก

ตารางที่ 5 การรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาะเลือก

| การรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาะเลือก                                                                                                                                                                                                                  | ค่าเฉลี่ย | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | ระดับ   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------|---------|
| 1. ท่านทราบหรือไม่ว่า ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม นี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนด 90วันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษา                                                                                             | 3.18      | 1.01                 | ปานกลาง |
| 2. ท่านทราบหรือไม่ว่า คำว่า “เสาเข็ม” ว่า ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม หมายถึงอะไร                                                                                                                                | 3.39      | 1.01                 | ปานกลาง |
| 3. ท่านทราบหรือไม่ว่า “เครื่องตอกเสาเข็ม” หมายถึง เครื่องจักรกลที่ใช้ตอกเสาเข็ม ประกอบด้วยโครงสร้างและเครื่องต้นกำลังอาจแยกจากกันหรือรวมกันอยู่ในชุดเดียวกันก็ได้                                                                                            | 3.81      | 0.84                 | มาก     |
| 4. ท่านทราบหรือไม่ว่า “แผ่นครอบหัวเสาเข็ม” หมายถึง แผ่นครอบเหล็ก แผ่นไม้ กระสอบ ป่าน ผ้าหรือวัสดุอื่นใด ที่ใช้วาง บนหัวเสาเข็มเพื่อมิให้เสาเข็มเกิดความเสียหายเมื่อรับแรงกระแทก                                                                              | 3.97      | 0.85                 | มาก     |
| 5. ท่านทราบหรือไม่ว่า ก่อนเริ่มทำการตอกเสาเข็มให้นายจ้างจัดให้มีการตรวจอุปกรณ์ยก รังเลื่อน แม่แรง และส่วน ประกอบที่สำคัญทั้งหมดของเครื่องตอกเสาเข็มให้มีความปลอดภัยในการทำงาน โดยผู้ควบคุมงานการตอกเสาเข็มเป็นผู้บันทึกเวลาที่ตรวจและผลการตรวจไว้เป็นหลักฐาน | 3.95      | 0.79                 | มาก     |
| 6. ท่านทราบหรือไม่ว่า เครื่องจักรและอุปกรณ์อื่นที่ใช้กับเครื่องตอกเสาเข็ม ให้นายจ้างจัดให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร                                                                                     | 3.79      | 0.83                 | มาก     |

ตารางที่ 5 การรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก (ต่อ)

| การรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | ค่าเฉลี่ย | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | ระดับ   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------|---------|
| 7. ท่านทราบหรือไม่ว่า ถ้ามีการทำงานเกี่ยวกับเครื่องตอกเสาเข็มในเวลากลางคืน และเสียงที่เกิดจากเครื่องตอกเสาเข็ม ให้นายจ้างจัด ให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม                                                                                                                                                                             | 3.71      | 0.85                 | มาก     |
| 8. ท่านทราบหรือไม่ว่า เมื่อมีการติดตั้งหรือเคลื่อนย้ายเครื่องตอกเสาเข็มใกล้สายไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าไม่เกินห้าสิบกิโลโวลต์ ให้มีระยะห่างไม่น้อยกว่าสามเมตรระหว่างสาย                                                                                                                                                                                                                        | 3.45      | 1.00                 | มาก     |
| 9. ท่านทราบหรือไม่ว่า กรณีที่เครื่องตอกเสาเข็มเคลื่อนที่ให้ระยะระหว่างส่วนหนึ่งส่วนใดของเครื่องตอกเสาเข็มกับสายไฟฟ้า มีดังนี้<br>1) สายไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 50 กิโลโวลต์ไม่น้อยกว่า 1.25 เมตร<br>2) สายไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าเกิน 50 กิโลโวลต์แต่ไม่เกิน 345 กิโลโวลต์ไม่น้อยกว่า 3 เมตร<br>3) สายไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าเกิน 345 กิโลโวลต์แต่ไม่เกิน 750 กิโลโวลต์ไม่น้อยกว่า 5 เมตร | 3.31      | 0.84                 | ปานกลาง |
| 10. ท่านทราบหรือไม่ว่า การใช้เชือกมัดเหล็กกล้าสำหรับเครื่องตอกเสาเข็ม นายจ้างต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิต และหรือตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม                                                                                                                                                                                                                        | 3.58      | 0.88                 | มาก     |
| 11. ท่านทราบหรือไม่ว่า ให้นายจ้างใช้เชือกมัดเหล็กกล้า ที่มีส่วนปลอดภัยของเชือกมัดเหล็กกล้า ดังนี้<br>1) เชือกมัดเหล็กกล้าที่มีลวดวิ่ง ไม่น้อยกว่า 6<br>2) เชือกมัดเหล็กกล้าที่เป็นลวดโยงยึด ไม่น้อยกว่า 3.5                                                                                                                                                                                | 3.36      | 0.85                 | ปานกลาง |
| 12. ท่านทราบหรือไม่ว่า ห้ามนายจ้างให้ลูกจ้างทำงานเกี่ยวกับเครื่องตอกเสาเข็มในขณะที่มีพายุ ฝนหรือฟ้าคะนอง                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4.17      | 0.88                 | มาก     |
| 13. ท่านทราบหรือไม่ว่า โครงเครื่องตอกเสาเข็ม ต้องมีส่วนปลอดภัยไม่น้อยกว่า 2 ของน้ำหนักการใช้งาน                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 3.59      | 0.98                 | มาก     |
| 14. ท่านทราบหรือไม่ว่า โครงเครื่องตอกเสาเข็ม ต้องสร้างด้วยโลหะที่มีจุดครากไม่น้อยกว่า 2400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร                                                                                                                                                                                                                                                                       | 3.37      | 0.91                 | ปานกลาง |
| 15. ท่านทราบหรือไม่ว่า เครื่องตอกเสาเข็มระบบไอน้ำ ลม หรือไฮดรอลิก หม้อไอน้ำและมาตรฐานความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อไอน้ำของเครื่องตอกเสาเข็ม ให้นายจ้างจัดให้ เป็นไปตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร                                                                                                                                                     | 3.39      | 0.91                 | ปานกลาง |
| รวม                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 3.60      | 0.94                 | มาก     |

ตารางที่ 6 การรับรู้วิธีการก่อสร้างเสาเข็มตอกตามหลักวิธี (ต่อ)

| การรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ค่าเฉลี่ย | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | ระดับ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------|-------|
| 1. ท่านทราบหรือไม่ว่า เสาเข็มที่นำมาใช้ต้องมีความยาว พื้นที่หน้าตัดที่กดบนดิน (Projected Area) และ ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกพลอยได้ตามที่ระบุไว้ในแบบหรือในรายการประกอบแบบ                                                                                                                                                                           | 3.68      | 0.89                 | มาก   |
| 2. ท่านทราบหรือไม่ว่า รูปลักษณะภายนอกของเสาเข็มต้องเหมือนกันตลอดความยาวของเสาเข็มนกเว้นส่วนหัวเสาเข็มที่รับตุ้มตอกเสาเข็ม สำหรับส่วนปลายเสาเข็มในระยะซึ่งยาวไม่เกิน 1.5 เท่าของความกว้างของเสาเข็มยอมให้สอบปลายได้                                                                                                                                       | 3.59      | 0.83                 | มาก   |
| 3. ท่านทราบหรือไม่ว่า เสาเข็มที่จะนำมาตอกใช้งานจะต้องมีหน่วยแรงอัดประลัยตามที่กำหนดในแบบหรือรายการประกอบแบบเฉพาะงาน หากต้องการนำเสาเข็มมาใช้ก่อนกำหนดให้ทดสอบกำลังของคอนกรีต ซึ่งกำลังของคอนกรีตที่เวลานำมาใช้ขึ้นจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าหน่วยแรงอัด ประลัยของคอนกรีต                                                                                     | 3.72      | 0.86                 | มาก   |
| 4. ท่านทราบหรือไม่ว่า หากเป็นเสาเข็มกลวงหรือเว้าข้าง รูกกลวงหรือส่วนเว้าข้าง ต้องไม่ทำให้จุดศูนย์ถ่วงของหน้า ตัดเบี่ยงเบนไปจากศูนย์กลางของหน้าตัดเสาเข็ม                                                                                                                                                                                                 | 3.50      | 0.85                 | มาก   |
| 5. ท่านทราบหรือไม่ว่า รูปร่างหน้าตัดภายนอกเป็นสี่เหลี่ยม ห้าเหลี่ยม หกเหลี่ยม หรือมากกว่า หรือกลม หรือ I หรือที่คล้ายตัว I ซึ่งมีความหนาของส่วนที่บางที่สุดไม่น้อย กว่า 50 มิลลิเมตร หรือ 2 เท่าของระยะหุ้มเหล็กเสริมบวด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางหรือความ หนาของเหล็กเสริมโดยใช้ค่าที่มากกว่าเป็นเกณฑ์ ยกเว้นเสาเข็มขนาดเล็กที่มีขนาดตั้งแต่ 150 มิลลิเมตรลงมา | 3.42      | 0.89                 | มาก   |
| 6. ท่านทราบหรือไม่ว่า เสาเข็มยอมให้มีรอยร้าวต่อเนื่องกันได้ไม่เกินครึ่งหนึ่งของเส้นรอบรูป และต้องห้าม ระหว่าง 80 ถึง 90 องศากับแนวสะเทิน รอยร้าวที่เกิดขึ้นแต่ละรอยต้องห่างกันเกินกว่า 1 เมตร และความกว้างของรอยร้าวต้องไม่มากกว่า 0.2 มิลลิเมตร                                                                                                         | 3.50      | 0.91                 | มาก   |
| 7. ท่านทราบหรือไม่ว่า ปั่นจั่นที่นำมาใช้ในการตอกเสาเข็มต้องมีความมั่นคงแข็งแรง และมีความกว้างของฐานปั่นจั่นพอที่จะมีการทรงตัวได้ดีเมื่อยกเสาเข็มขึ้นตั้ง ขึ้นส่วนที่ประกอบกันขึ้นเป็นตัวปั่นจั่นต้องไม่คดงอหรือแตกร้าว ตะเกียบคู่หน้าของปั่นจั่นต้องเป็นเส้นตรงและไม่หลวมคลอน                                                                            | 3.92      | 0.90                 | มาก   |
| 8. ท่านทราบหรือไม่ว่า ถ้าใช้หมวกเหล็กครอบหัวเสาเข็มในการตอกเสาเข็มหมวกดังกล่าวต้องมีขนาดพอเหมาะกับหัวเสาเข็ม คือ ไม่โตกว่าหัวเสาเข็มเกิน 10 มิลลิเมตร และภายในหมวกให้ใช้ไม้เนื้ออ่อนรองหัวเสาเข็ม ได้หนาไม่เกิน 30 มิลลิเมตร                                                                                                                             | 3.68      | 0.94                 | มาก   |
| 9. ท่านทราบหรือไม่ว่า ตุ้มที่ใช้ตอกเสาเข็มต้องมีน้ำหนักไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของน้ำหนักเสาเข็ม แต่ต้องหนักไม่น้อยกว่า 3 เมตริกตัน                                                                                                                                                                                                                         | 3.57      | 0.96                 | มาก   |
| 10. ท่านทราบหรือไม่ว่า เครื่องบังคับเสาเข็มต้องไม่เคลื่อนที่หรือหักพังไปจนกว่าปลายเสาเข็มจะจมลงไปในดินแล้วไม่น้อยกว่า 6 เมตร                                                                                                                                                                                                                             | 3.57      | 0.89                 | มาก   |

ตารางที่ 6 การรับรู้วิธีการก่อสร้างเสาเข็มตอกตามหลักวิธี (ต่อ)

| การรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก                                                                                                                                                          | ค่าเฉลี่ย | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | ระดับ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------|-------|
| 11. ท่านทราบหรือไม่ว่า เมื่อเสาเข็มจนเสมอรระดับดินแล้วแต่ยังไม่ไ้ระดับให้ใช้เสาสังวางบนหัวเสาเข็มได้ โดยที่เสาสังต้องยาวไม่เกินกว่าระยะที่หัวเสาเข็มจมดินบวกด้วย 600 มิลลิเมตร                        | 3.53      | 0.90                 | มาก   |
| 12. ท่านทราบหรือไม่ว่า สำหรับกรณีซ่อมแซม เสาเข็มที่ปรากฏรอยแตกร้าวดังกล่าว เมื่อซ่อมเสร็จและตอกเสร็จแล้วต้องทดสอบความ สมบูรณ์ของเสาเข็ม (Pile Integrity Test)                                         | 3.90      | 0.96                 | มาก   |
| 13. ท่านทราบหรือไม่ว่า ขณะตอกเสาเข็มให้ทำรายงานผลการตอกเสาเข็มแต่ละต้นพร้อมทั้งแบบแปลนแสดงตำแหน่ง เสาเข็มต้นที่ทำการตอก เพื่อพิจารณาว่าเสาเข็มต้นนั้นๆ จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามที่ กำหนดหรือไม่ | 3.95      | 0.97                 | มาก   |
| 14. ท่านทราบหรือไม่ว่า เมื่อตอกเสาเข็มจน ถึงระดับที่กำหนดให้ไว้ให้เริ่มบันทึกจำนวนครั้งที่ตอกตอการ จมตัวของเสาเข็มทุกระยะ 300 มิลลิเมตร โดยให้ระยะยกค้ำน้ำหนักเป็นไปตามที่ วิศวกรควบคุมงานกำหนด       | 3.90      | 0.94                 | มาก   |
| รวม                                                                                                                                                                                                   | 3.67      | 0.92                 | มาก   |

#### 7.1 สรุปผลการวิเคราะห์การรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก

ผลการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าช่วง ลพบุรี-ปากน้ำโพ ซึ่งจัดเรียงตามหัวข้อได้ดังนี้

##### 1. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม

แผ่นครอบหัวเสาเข็ม หมายถึง แผ่นครอบเหล็ก แผ่นไม้ กระสอบป่าน ผ้าหรือวัสดุอื่นใด ที่ใช้วาง บนหัวเสาเข็มเพื่อมิให้เสาเข็มเกิดความเสียหายเมื่อรับแรงกระแทก (Mean=3.97 , S.D.= 0.85 )

เครื่องตอกเสาเข็ม หมายถึง เครื่องจักรกลที่ใช้ตอกเสาเข็ม ประกอบด้วยโครงสร้างและเครื่องต้นกำลังอาจแยกจากกันหรือรวมกันอยู่ในชุดเดียวกันก็ได้ ( Mean=3.81 , S.D.= 0.84 )

คำว่า เสาเข็ม ว่า ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม หมายถึงอะไร ( Mean=3.39 , S.D.= 1.01 )

##### 2. ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม นี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนด

90วันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษา ( Mean=3.18 , S.D.= 1.01 )

##### ● หมวด 1 ข้อกำหนดทั่วไป

ก่อนเริ่มทำการตอกเสาเข็มให้นายจ้างจัดให้มีการตรวจอุปกรณ์ยก รางเลื่อน แม่แรง และส่วน ประกอบที่สำคัญทั้งหมดของเครื่องตอกเสาเข็มให้มีความปลอดภัยในการทำงาน โดยผู้ควบคุมงานการตอกเสาเข็มเป็นผู้บันทึกวันเวลาที่ตรวจและผลการตรวจไว้เป็นหลักฐาน ( Mean=3.95 , S.D.= 0.79 )

เครื่องจักรและอุปกรณ์อื่นที่ใช้กับเครื่องตอกเสาเข็ม ให้นายจ้างจัดให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร ( Mean=3.79 , S.D.= 0.83 )

ถ้ามีการทำงานเกี่ยวกับเครื่องตอกเสาเข็มในเวลากลางคืน และเสียงที่เกิดจากเครื่องตอกเสาเข็มให้นายจ้างจัดให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม ( Mean=3.71 , S.D.= 0.85 )

การใช้เชือกมัดเหล็กกล้าสำหรับเครื่องตอกเสาเข็มให้นายจ้างต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตและหรือตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

( Mean=3.58 , S.D.= 0.88 )

เมื่อมีการติดตั้งหรือเคลื่อนย้ายเครื่องตอกเสาเข็มใกล้สายไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าไม่เกินห้าสิบลิโลโวลท์ ให้มีระยะห่างไม่น้อยกว่าสามเมตรระหว่างสาย ( Mean=3.45 , S.D.= 1.00 )

ให้นายจ้างใช้เชือกลวดเหล็กกล้า ที่มีส่วนปลอดภัยของเชือกลวดเหล็กกล้า ดังนี้ 1. เชือกลวดเหล็กกล้าที่มีลวดวิ่ง ไม่น้อยกว่า 6 2. เชือกลวดเหล็กกล้าที่เป็นลวดโยงยึด ไม่น้อยกว่า 3.5 ( Mean=3.36 , S.D.= 0.85 )

กรณีเครื่องตอกเสาเข็มเคลื่อนที่ให้ระยะระหว่างส่วนหนึ่งส่วนใดของเครื่องตอกเสาเข็มกับสายไฟฟ้า มีดังนี้ 1.สายไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 50 กิโลโวลท์ไม่น้อยกว่า 1.25 เมตร 2. สายไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าเกิน 50 กิโลโวลท์แต่ไม่เกิน 345 กิโลโวลท์ไม่น้อยกว่า 3 เมตร 3.สายไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าเกิน 345 กิโลโวลท์แต่ไม่เกิน 750 กิโลโวลท์ไม่น้อยกว่า 5 เมตร

( Mean=3.31 , S.D.= 0.84 )

- หมวด 2 ความปลอดภัยในการตอกเสาเข็ม

ให้นายจ้างให้ลูกจ้างทำงานเกี่ยวกับเครื่องตอกเสาเข็มในขณะที่มีพายุ ฝนหรือฟ้าคะนอง ( Mean= 4.17 , S.D.= 0.88 )

- หมวด 3 โครงสร้างเครื่องตอกเสาเข็ม

โครงเครื่องตอกเสาเข็ม ต้องมีส่วนปลอดภัยไม่น้อยกว่า 2 ของน้ำหนักการใช้งาน ( Mean= 3.59 , S.D.= 0.98 )

โครงเครื่องตอกเสาเข็ม ต้องสร้างด้วยโลหะที่มีจุดครากไม่น้อยกว่า 2400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

( Mean= 3.37 , S.D.= 0.91 )

- หมวด 5 เครื่องตอกเสาเข็มระบบไอน้ำ ลม และไฮดรอลิก

เครื่องตอกเสาเข็มระบบไอน้ำ ลม หรือไฮดรอลิก หม้อไอน้ำและมาตรฐานความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อไอน้ำของเครื่องตอกเสาเข็ม ให้นายจ้างจัดให้ เป็นไปตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักร

( Mean= 3.39 , S.D.= 0.91 )

## 7.2 สรุปผลการวิเคราะห์การรับรู้วิธีการก่อสร้างเสาเข็ม ตอกตามหลักวิธีทางวิศวกรรม

ผลการรับรู้วิธีการก่อสร้างเสาเข็มตอกตามหลักวิธีทางวิศวกรรม โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าช่วง ลพบุรี-ปากน้ำโพ ซึ่งจัดเรียงตามหัวข้อได้ดังนี้

### 1. ข้อกำหนดสำหรับวัสดุก่อสร้าง

เสาเข็มที่จะนำมาตอกใช้งานจะต้องมีหน่วยแรงอัดประลัยตามที่กำหนดในแบบหรือรายการประกอบแบบเฉพาะงาน หากต้องการนำเสาเข็มมาใช้ก่อนกำหนดให้ทดสอบกำลังของคอนกรีต ซึ่งกำลังของคอนกรีตที่เวลานำมาใช้นั้นจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าหน่วยแรงอัด ประลัยของคอนกรีต ( Mean= 3.72 , S.D.= 0.86 )

เสาเข็มที่นำมาใช้ต้องมีความยาว พื้นที่หน้าตัดที่กบดิน (Projected Area) และ ความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยได้ตามที่ระบุไว้ในแบบหรือในรายการประกอบแบบ ( Mean= 3.68 , S.D.= 0.89 )

รูปลักษณะภายนอกของเสาเข็มต้องเหมือนกันตลอดความยาวของเสาเข็มยกเว้นส่วนหัวเสาเข็มที่รับตุ้มตอกเสาเข็ม สำหรับส่วนปลายเสาเข็มในระยะซึ่งยาวไม่เกิน 1.5 เท่าของความกว้างของเสาเข็มนอมให้สอบปลายได้ ( Mean= 3.59 , S.D.= 0.83 )

หากเป็นเสาเข็มกลวงหรือว่าข้าง รูกกลวงหรือส่วนว่าข้าง ต้องไม่ทำให้จุดศูนย์กลางของหน้า ตัดเบี่ยงเบนไปจากศูนย์กลางของหน้าตัดเสาเข็ม (Mean= 3.50 , S.D.= 0.85 )

เสาเข็มนอมให้มีรอยร้าวต่อเนื่องกันได้ไม่เกินครึ่งหนึ่งของเส้นรอบรูป และต้องทำมุม ระหว่าง 80 ถึง 90 องศากับแนวสะเทิน รอยร้าวที่เกิดขึ้นแต่ละรอยต้องห่างกันเกินกว่า 1 เมตร และความกว้างของรอยร้าวต้องไม่มากกว่า 0.2 มิลลิเมตร

(Mean= 3.50 , S.D.= 0.91 )

รูปร่างหน้าตัดภายนอกเป็นสี่เหลี่ยม ห้าเหลี่ยม หกเหลี่ยม หรือมากกว่า หรือกลม หรือ I หรือที่คล้ายตัว I ซึ่งมีความหนาของส่วนที่บางที่สุดไม่น้อย กว่า 50 มิลลิเมตร หรือ 2 เท่าของระยะหุ้มเหล็กเสริมบวกด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางหรือความหนาของเหล็กเสริมโดยใช้ค่าที่มากกว่าเป็นเกณฑ์ ยกเว้นเสาเข็มขนาดเล็กที่มีขนาดตั้งแต่ 150 มิลลิเมตรลงมา ( Mean= 3.42 , S.D.= 0.89 )

### 2. ข้อกำหนดในการก่อสร้าง

ขณะตอกเสาเข็มให้ทำรายงานผลการตอกเสาเข็มแต่ละต้นพร้อมทั้งแบบแปลนแสดงตำแหน่ง เสาเข็มต้นที่ทำการตอกเพื่อพิจารณาว่าเสาเข็มต้นนั้นๆ จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามที่กำหนดหรือไม่ ( Mean= 3.95 , S.D.= 0.97 )

ปั้นจั่นที่นำมาใช้ในการตอกเสาเข็มต้องมีความมั่นคง แข็งแรง และมีความกว้างของฐานปั้นจั่นพอที่จะมีการทรงตัวได้ดีเมื่อยกเสาเข็มขึ้นตั้ง ขึ้นส่วนที่ประกอบกันขึ้นเป็นตัวปั้นจั่น ต้องไม่คดงอหรือแตกร้าว ตะเกียบคู้หน้าของปั้นจั่นต้องเป็น เส้นตรงและไม่หลวมคลอน (Mean= 3.92 , S.D.= 0.90 )

สำหรับกรณีซ่อมแซม เสาเข็มที่ปรากฏรอยแตกร้าว ดังกล่าว เมื่อซ่อมเสร็จและตอกเสร็จแล้วต้องทดสอบความ สมบูรณ์ของเสาเข็ม (Pile Integrity Test) (Mean= 3.90 , S.D.= 0.96 )

เมื่อตอกเสาเข็มจม ถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ ให้เริ่ม บันทึกจำนวนครั้งที่ตอกต่อการ จมตัวของเสาเข็มทุกระยะ 300 มิลลิเมตร โดยให้ระยะยกตมุน้ำหนักเป็นไปตามที่ วิศวกร ควบคุมงานกำหนด (Mean= 3.90 , S.D.= 0.94 )

ถ้าใช้หมวกเหล็กครอบหัวเสาเข็มในการตอกเสาเข็มหมวก ดังกล่าวต้องมีขนาดพอเหมาะกับหัวเสาเข็ม คือ ไม่โตกว่าหัว เสาเข็มเกิน 10 มิลลิเมตร และภายในหมวกให้ใช้ไม้เนื้ออ่อนรอง หัวเสาเข็ม ได้หนาไม่เกิน 30 มิลลิเมตร (Mean= 3.68 , S.D.= 0.94 )

ตมุน้ำที่ใช้ตอกเสาเข็มต้องมีน้ำหนักไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของน้ำหนักเสาเข็ม แต่ต้องหนักไม่น้อยกว่า 3 เมตริกตัน (Mean= 3.57 , S.D.= 0.96 )

เครื่องบังคับเสาเข็มต้องไม่เคลื่อนที่หรือหักพังไปจนกว่า ปลายเสาเข็มจะจมลงไปในดินแล้วไม่น้อยกว่า 6 เมตร (Mean= 3.57 , S.D.= 0.89 )

เมื่อเสาเข็มจนเสมอรระดับดินแล้วแต่ยังไม่ไ้ระดับให้ใช้ เสาส่งวางบนหัวเสาเข็มได้ โดยที่เสาส่งต้องยาวไม่เกินกว่าระยะที่ หัวเสาเข็มจมดินบวกด้วย 600 มิลลิเมตร (Mean= 3.53 , S.D.= 0.90 )

### 7.3 ผลการทดสอบสมมติฐานของงานวิจัย

จากข้อมูลสมมติฐานที่ 1 พบว่า ผลการวิเคราะห์ ประสพการณ์กับกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก ทั้ง 15 คำถาม มีนัยยะสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.056, 0.167, 0.722, 0.747, 0.487, 0.288, 0.004, 0.523, 0.039, 0.180, 0.294, 0.500, 0.343, 0.162 และ 0.001 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่า ประสพการณ์ที่แตกต่างกันมีความสัมพันธ์กับกฎหมายที่

เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก ข้อที่ 1, ข้อที่ 7, ข้อที่ 9, ข้อที่ 15 และประสพการณ์ที่แตกต่างกันไม่มีความสัมพันธ์กับกฎหมายที่ เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก ข้อที่ 2, ข้อที่ 3, ข้อที่ 4, ข้อที่ 5 , ข้อที่ 6, ข้อที่ 8, ข้อที่ 10, ข้อที่ 11, ข้อที่ 12, ข้อที่ 13 และ ข้อที่ 14

จากข้อมูลสมมติฐานที่ 2 พบว่า ผลการวิเคราะห์ ประสพการณ์กับวิธีการก่อสร้างเสาเข็มตอกตามหลักวิธีทาง วิศวกรรม ทั้ง 14 คำถาม มีนัยยะสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.285, 0.562, 0.510, 0.776, 0.100, 0.430, 0.538, 0.152, 0.443, 0.259, 0.892, 0.130, 0.536 และ 0.767 ตามลำดับ สามารถสรุป ได้ว่า ประสพการณ์ที่แตกต่างกันไม่มีความสัมพันธ์กับวิธีการ ก่อสร้างเสาเข็มตอกตามหลักวิธีทางวิศวกรรม

## 8. อภิปรายผล

จากผลการวิจัยการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงาน เสาเข็มตอก โครงการรถไฟทางคู่ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ ครั้งนี้สามารถนำผลการศึกษามาอภิปรายได้ตาม วัตถุประสงค์ ดังนี้

1. ผลการวิจัยการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงาน เสาเข็มตอก พบว่า โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยมี การจัดลำดับระดับการรับรู้ ได้ดังนี้ (1) ห้ามนายจ้างให้ ลูกจ้างทำงานเกี่ยวกับเครื่องตอกเสาเข็มในขณะที่มีพายุ ฝนหรือฟ้าคะนอง (2) “แผ่นครอบหัวเสาเข็ม” หมายถึง แผ่นครอบเหล็ก แผ่นไม้ กระสอบป่าน ผ้าหรือวัสดุอื่นใด ที่ใช้วาง บนหัวเสาเข็มเพื่อมิให้เสาเข็มเกิดความเสียหาย เมื่อรับแรงกระแทก (3) ก่อนเริ่มทำการตอกเสาเข็มให้ นายจ้างจัดให้มีการตรวจอุปกรณ์ยก รานเลื่อน แม่แรง และส่วน ประกอบที่สำคัญทั้งหมดของเครื่องตอกเสาเข็ม ให้มีความปลอดภัยในการทำงาน โดยผู้ควบคุมงานการ ตอกเสาเข็มเป็นผู้บันทึกวันเวลาที่ตรวจและผลการตรวจไว้ เป็นหลักฐาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย[2] พบว่า ภาพรวม อยู่ในระดับมีความรู้ความเข้าใจอยู่ในระดับมากที่สุด ทั้งนี้ ความคิดเห็นจากผู้วิจัย ผู้วิจัยเห็นว่าการรับรู้และความ เข้าใจกฎหมายมีความสำคัญต่อการทำงานอย่างยิ่ง ด้วย

เหตุนี้จึงส่งผลให้พนักงาน มีการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก อยู่ในระดับมาก

2. ผลการวิจัยการรับรู้วิธีการก่อสร้างเสาเข็มตอกตามหลักวิธีทางวิศวกรรม พบว่า โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยมีการจัดลำดับระดับการรับรู้ ได้ดังนี้ (1) ขณะตอกเสาเข็มให้ทำรายงานผลการตอกเสาเข็มแต่ละต้น พร้อมทั้งแบบแปลนแสดงตำแหน่ง เสาเข็มต้นที่ทำการตอก เพื่อพิจารณาว่าเสาเข็มต้นนั้นๆ จะสามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกได้ตามที่ กำหนดหรือไม่ (2) ปั่นจั่นที่นำมาใช้ในการตอกเสาเข็มต้องมีความมั่นคงแข็งแรง และมีความกว้างของฐานปั่นจั่นพอที่จะมีการทรงตัวได้ดีเมื่อยกเสาเข็มขึ้นตั้ง ชิ้นส่วนที่ประกอบกันขึ้นเป็นตัวปั่นจั่นต้องไม่คดงอหรือแตกร้าว ตะเกียบคู่หน้าของปั่นจั่นต้องเป็นเส้นตรงและไม่หลวมคลอน (3) สำหรับกรณีซ่อมแซมเสาเข็มที่ปรากฏรอยแตกร้าวดังกล่าว เมื่อซ่อมเสร็จและตอกเสร็จแล้วต้องทดสอบความ สมบูรณ์ของเสาเข็ม (Pile Integrity Test) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [1] แสดงให้เห็นว่า กลุ่มตัวอย่างมีระดับการรับรู้และความเข้าใจนโยบายความเป็นเลิศด้านการปฏิบัติงานในระดับมาก ทั้งนี้ ความเห็นจากผู้วิจัย ผู้วิจัยเห็นว่าการปฏิบัติงานของพนักงานนั้นส่วนใหญ่ตรงกับการรับรู้วิธีการก่อสร้างเสาเข็มตอกตามหลักวิธีทางวิศวกรรม ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้พนักงาน มีการรับรู้วิธีการก่อสร้างเสาเข็มตอกตามหลักวิธีทางวิศวกรรม อยู่ในระดับมาก

3. ผลการวิจัยการรับรู้ที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกภาพรวมจากแบบสอบถาม พนักงานโครงการฯ มีการรับรู้อยู่ในระดับมากจึงมีผลกระทบต่อความปลอดภัยค่อนข้างน้อย ซึ่งแบบสอบถามเป็นกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับเรื่องความปลอดภัยเป็นส่วนใหญ่ พนักงานโครงการฯ ให้ความสำคัญความปลอดภัยเป็นอันดับแรก ก่อนปฏิบัติงานต้องมีการอบรมความปลอดภัยก่อนเริ่มทำงาน และตรวจสอบเครื่องจักร พร้อมเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างเสาเข็มตอก

4. ผลการวิจัยการรับรู้วิธีการก่อสร้างเสาเข็มตอกตามหลักวิธีทางวิศวกรรม ภาพรวมจากแบบสอบถามพนักงานโครงการฯ มีการรับรู้อยู่ในระดับมาก จึงมีผลต่อ

คุณภาพในการก่อสร้าง ค่อนข้างน้อย ซึ่งแบบสอบถามเป็นกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับหลักวิธีทางวิศวกรรม มาตรฐาน และข้อกำหนด ซึ่งพนักงานโครงการฯ มีความรู้เกี่ยวกับการก่อสร้างเสาเข็มตอกเป็นอย่างดี งานเสาเข็มตอกเป็นจุดเริ่มต้นของงานก่อสร้างพนักงานโครงการฯ จะมีประสบการณ์ด้านงานเสาเข็มตอกมาก

5. ปัจจัยที่มีผลต่อความตระหนักรู้ ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงด้านประสบการณ์ ทักษะคิด อารมณ์ ความต้องการ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้มีระดับการรับรู้ได้เป็นอย่างดี จากการปฏิบัติงานจริงจะทราบถึงขั้นตอนก่อสร้างตามหลักวิธีทางวิศวกรรมและข้อกำหนดตามกฎหมายบังคับใช้ เมื่อพนักงานเริ่มทำงานจะได้รับการอบรมขั้นตอนก่อสร้างและความปลอดภัยก่อนทำงาน ผู้วิจัยเห็นว่าประสบการณ์เป็นสิ่งทำให้ผลวิจัยจากพนักงานโครงการฯ อยู่ในระดับมาก

## 9. ข้อเสนอแนะ

### 9.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากผลการศึกษา

จากการศึกษาการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ ผู้วิจัยจึงนำผลการศึกษาไปปฏิบัติโดยเรียงลำดับความสำคัญ ดังนี้

1. การปฏิบัติตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกที่พนักงานรับรู้และให้ความสำคัญ จากผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า ควรมีบุคคลที่มีความรู้ ความเชี่ยวชาญทางด้านกฎหมายงานเสาเข็มตอกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของพนักงาน และจัดให้มีการอบรมให้ความรู้ในเรื่องกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก อย่างสม่ำเสมอจัดทำคู่มือที่อธิบายกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอก [3]

2. วิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกของพนักงานตามหลักวิธีทางวิศวกรรมที่พนักงานรับรู้และให้ความสำคัญ จากผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า ควรมีบุคคลที่มีความรู้ ความเชี่ยวชาญทางด้านหลักวิธีทางวิศวกรรมงานเสาเข็มตอกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของพนักงาน และจัดให้มีการอบรมให้ความรู้ในเรื่องวิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกของพนักงานตามหลักวิธีทางวิศวกรรม อย่างสม่ำเสมอ และ

กำหนดขั้นตอนวิธีปฏิบัติงานตามหลักวิธีทางวิศวกรรม  
[4], [6]- [7]

3. ให้ศึกษาขั้นตอนปฏิบัติที่เป็นรูปธรรมในการเพิ่มความตระหนักรู้เกี่ยวกับกฎหมายและวิธีการทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง รวมถึงโปรแกรมการฝึกอบรมเฉพาะด้าน สื่อการศึกษา และกลยุทธ์การควบคุมดูแลในสถานที่ก่อสร้าง จากงานวิจัยของผู้เขียนบทความ

#### 9.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งถัดไป

จากการศึกษาการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้จากการศึกษาการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้

ควรมีการศึกษาการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น เช่น การรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกและวิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มตอกของพนักงานตามหลักวิธีทางวิศวกรรมในโครงการก่อสร้างทางรถไฟสายอื่นๆ หรือ ก่อสร้างอาคารและโรงงาน เป็นต้น เพื่อให้เกิดความแตกต่างทางด้านความคิด และได้ผลการวิจัยที่มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น จากผลการศึกษาควรนำข้อมูลไปปรับปรุงข้อบังคับและกลไกการบังคับใช้ในปัจจุบันและเพิ่มบทลงโทษต่อการละเลยข้อกำหนดและข้อบังคับทางกฎหมายวิศวกรรม [3]

## 10. เอกสารอ้างอิง

- [1] T.Paradee, (2021 July 31). [Online]. Available: <https://www.km.nida.ac.th/th/images/PDF/research/paradeere164.pdf>, pp.7-16
- [2] T. Jiraroj, "Company Limited regarding the Ministerial Regulations stipulating standards for administration and management of safety, occupational health and conditions. Working

environment related to construction work. 2004," Doctor of Philosophy in Social Sciences Journal, vol. 1 no. 1, pp. 34-44, April. 2022.

- [3] Legislative Institutional Repository of Thailand, (2012, APR 10). Networks (2nd ed.) [Online].Available:<https://dl.parliament.go.th/handle/lirt/127462>
- [4] DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS AND TOWN & COUNTRY PLANNING, ( 2022, MAY 26) . Networks ( 1st ed.) [ Online] . Available: <https://www.dpt.go.th/th/dpt-standard/1186>
- [5] P. Wichachu, (2023, MAY 12). Networks (1st ed.)[Online].Available:<https://buuir.buu.ac.th/xmlui/handle/1234567890/7456>, pp.46
- [6] N. Boonluea and S. Panchomphu. (2018, JAN 16). Networks (1st ed.) [Online]. Available: <http://www.lib.buu.ac.th/st/Engineering/Civil/2552/Narin.pdf>, pp. 1-4
- [7] J. Poklang. (2019, DEC 9). Networks (1st ed.) [Online].Available:<http://sutir.sut.ac.th:8080/js/pui/handle/123456789/7949>, pp.18,25-30

## ระบบวิชั่นฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม 4.0 Open-Source Embedded Vision System for Industry 4.0 Applications

ธนยศ อริสริยวงศ์\* ชีรพล คุ่มเสร็จ ชีรวัฒน์ พรหมเมือง

ห้องปฏิบัติการวิจัยเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

Tanayos Arisariyawong\* Theerapol Khumset Teerawat Prommueang  
Mechatronics and Robotics Research Laboratory, Mechanical Engineering Department,  
Faculty of Engineering, Ongkharak, Nakhonnayok, 26120

\*Corresponding author Email: Tanayos.Swu@gmail.com

(Received: October 3, 2024; Revised: October 23, 2024 ; Accepted: December 9, 2024)

### บทคัดย่อ

ระบบวิชั่นถือเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตสมัยใหม่ในยุคอุตสาหกรรม 4.0 ที่ใช้ภาพจากกล้องในการตรวจสอบและคัดแยกชิ้นงาน แต่จะพบว่าระบบวิชั่นมีต้นทุนที่สูงทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและกลางไม่สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีนี้ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบวิชั่นฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่มีต้นทุนต่ำและสามารถสื่อสารกับตัวควบคุมในอุตสาหกรรมได้ โดยเป็นการรวมกันระหว่างโมดูลกล้องพิกซี 2 ซึ่งเป็นโมดูลกล้องสำเร็จรูปที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการตรวจจับสีและภาพ ร่วมกับสมองกลฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับอาดูอิน โดยอาดูอินจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากโมดูลกล้องพิกซี 2 แล้วแปลงเป็นรูปแบบการสื่อสารตามโปรโตคอลมอดบัส ในการทดลองจะใช้ระบบวิชั่นฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่พัฒนาขึ้นทำการเชื่อมต่อกับตัวควบคุมแบบ พี แอล ซี และแสดงผลแบบสัมผัส เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับและคัดแยกชิ้นงานที่มีสีต่างกัน ภายใต้ระยะห่างจากโมดูลกล้องและสถานะแสงต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า ระยะห่างสูงสุดจากโมดูลกล้องไปยังชิ้นงานที่สามารถตรวจจับและคัดแยกสีได้อย่างถูกต้องทั้งในสถานะปิดและเปิดแสงไฟที่อยู่บนโมดูลกล้อง คือ 80 มิลลิเมตร ส่วนการเชื่อมต่อกับตัวควบคุมแบบ พี แอล ซี และแสดงผลแบบสัมผัส พบว่าสามารถรับส่งข้อมูลกันได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง รวมถึงสามารถตรวจจับและคัดแยกสีชิ้นงานได้อย่างทันทีโดยไม่ต้องหน่วงเวลา

**คำสำคัญ:** ระบบวิชั่น สมองกลฝังตัวแบบเปิดเผย อุตสาหกรรม 4.0

### ABSTRACT

Vision systems are an important part of modern manufacturing processes in the Industry 4.0 era, using images from cameras to inspect and sort workpieces. However, it was found that vision systems have high costs in terms of both hardware and software, making it difficult for small and medium-sized factories to access this technology. Therefore, this research presents a low-cost, open-source embedded vision system that can communicate with industrial controllers. It is a combination of a PIXY 2 camera module, a ready-made camera module that uses artificial intelligence to detect colors and images, with an open-source embedded Arduino. Arduino will receive data from the PIXY 2

camera module and convert it into a communication format according to the Modbus protocol. In the experiment, the developed open embedded vision system will be connected to a PLC controller and a touch screen display to test the efficiency of detecting and sorting workpieces with different colors under different distances from the camera module and lighting conditions. From the experimental results, it was found that the longest distance from the camera module to the workpiece that can detect and sort the color of the workpiece correctly, both when the light on the camera module is off and on, was 80 millimeters. As for the connection to a PLC controller and a touch screen display, it was found that data can be transmitted and received correctly every time. It can also detect and sort the color of the workpiece immediately without any delay time.

**Keyword:** Vision System, Open-Source Embedded, Industry 4.0.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันขบวนการผลิตในอุตสาหกรรมได้เปลี่ยนเป็นแบบอุตสาหกรรม 4.0 รวมถึงประเทศไทยก็กำลังปรับโครงสร้างไปสู่ประเทศไทย 4.0 เช่นเดียวกัน มีการใช้ระบบอัตโนมัติ ระบบวิชั่น รวมถึงปัญญาประดิษฐ์ มาทำงานร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต [1] โดยเฉพาะระบบวิชั่นถือเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตที่ใช้ภาพจากกล้องในการตรวจสอบและคัดแยกชิ้นงาน ซึ่งช่วยลดเวลาและความผิดพลาดจากการใช้คนเป็นอย่างมาก [2-3] และในอนาคตคาดว่าจะมีการใช้ระบบวิชั่นเพิ่มมากขึ้น รวมถึงประสิทธิภาพและความเร็วในการประมวลผลก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [4] ในส่วนภาคการศึกษาที่มีการนำระบบวิชั่นมาใช้ในการเรียนการสอนเป็นการเพิ่มทักษะให้ผู้เรียนเพื่อรองรับเทคโนโลยีในอนาคต [5] แต่ระบบวิชั่นยังคงมีต้นทุนที่สูงเนื่องด้วยความซับซ้อนทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ จึงถือเป็นข้อจำกัดในการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้งาน

เพื่อให้สามารถเข้าถึงการใช้งานระบบวิชั่นในต้นทุนที่ต่ำลง จึงเริ่มมีการนำซอฟต์แวร์ไลบรารีแบบเปิดเผยต้นฉบับของระบบวิชั่นที่ชื่อว่า OpenCV มาใช้ร่วมกับกล้องอุตสาหกรรม [6] ซึ่งพบว่าสามารถใช้งานร่วมกันได้ แต่มีความซับซ้อนในการใช้งานค่อนข้างมากและต้องใช้คอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงในการประมวลผล มีการนำเสนอการใช้ OpenCV ร่วมกับตัวควบคุมแบบ พี แอล

ซี เพื่อสร้างระบบตรวจจับและคัดแยกผลไม้ด้วยปัญญาประดิษฐ์ [7] พบว่าระบบสามารถทำงานได้แม่นยำ แต่การเชื่อมต่อกับ พี แอล ซี มีขั้นตอนซับซ้อน และต้องใช้คอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงในการคำนวณ เพื่อที่จะลดการใช้คอมพิวเตอร์ในระบบวิชั่นจึงมีความพยายามจะพัฒนาไลบรารีของระบบวิชั่นให้ฝังตัวลงไปใน พี แอล ซี [8] แต่จะพบว่ามีข้อจำกัดเรื่องความเข้ากันได้ของโมดูลกล้องที่นำมาใช้ ทำให้ใช้ได้เฉพาะโมดูลกล้องบางรุ่นเท่านั้น และยังมีต้นทุนที่สูงอยู่ ต่อมาได้มีการใช้สมองกลฝังตัวเข้ามาแทนที่คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลร่วมกับโมดูลกล้องขนาดเล็กเพื่อเชื่อมต่อกับระบบควบคุมในอุตสาหกรรม [9] ซึ่งพบว่าระบบนี้มีต้นทุนที่ต่ำลงมาก แต่ยังใช้งานได้เฉพาะภาพขาวดำและใช้เวลาในการประมวลผลที่นาน เนื่องจากสมองกลฝังตัวที่นำมาใช้ต้องทำหน้าที่หลายอย่างในเวลาเดียวกัน

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่าการพัฒนาแบบวิชั่นให้มีต้นทุนที่ต่ำและรองรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม 4.0 ยังใช้คอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ในการประมวลผล ทำให้การติดตั้งไม่สะดวก สิ้นเปลืองพลังงานมาก การเชื่อมต่อกับตัวควบคุมอุตสาหกรรมก็ซับซ้อน และยังคงต้องใช้โมดูลกล้องอุตสาหกรรมซึ่งมีราคาสูง ส่วนการใช้สมองกลฝังตัวเข้ามาแทนที่คอมพิวเตอร์ก็ยังทำได้ไม่ดีนักเพราะสมองกลฝังตัวที่นำมาใช้ต้องทำหน้าที่หลายอย่างในเวลา

เดียวกัน ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำลง และไม่ได้เป็นระบบแบบเปิดเผยต้นฉบับทั้งหมด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบวิชันฟิงตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่เป็นการรวมกันระหว่างโมดูลกล้องพิกซี 2 (Pixy2) ซึ่งเป็นโมดูลกล้องสำเร็จรูปที่มีตัวประมวลผลทางด้านปัญญาประดิษฐ์อยู่ภายในเพื่อตรวจจับสีและภาพร่วมกับสมองกลฝังตัวแบบเปิดอาดูยโน (Arduino) เพื่อใช้สื่อสารกับตัวควบคุมอุตสาหกรรม ทำให้ระบบนี้มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ มีต้นทุนไม่สูงเพราะพัฒนาด้วยระบบแบบเปิดเผยต้นฉบับทั้งหมด และมีความยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้งาน

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย

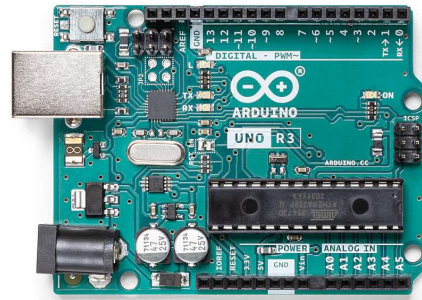
ระบบวิชันฟิงตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่พัฒนาขึ้นนี้จะประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก คือ โมดูลกล้องพิกซี 2 [10] และสมองกลฝังตัวอาดูยโน [11] โดยโมดูลกล้องพิกซี 2 เป็นโมดูลกล้องสำเร็จรูปขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ ตัวโมดูลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยกล้องสีพร้อมเลนส์ หลอดไฟแอล อี ดี ซึ่งให้ความสว่างประมาณ 20 ลูเมน และตัวประมวลผล NXP LPC4330, 204 MHz, dual-core ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลจากภาพด้วยปัญญาประดิษฐ์ มีความเร็วในการตรวจจับภาพสูงสุดที่ 60 fps สามารถเชื่อมตัวกับตัวควบคุมภายนอกได้หลายรูปแบบ และมีน้ำหนักเพียง 10 g



รูปที่ 1 โมดูลกล้องพิกซี 2

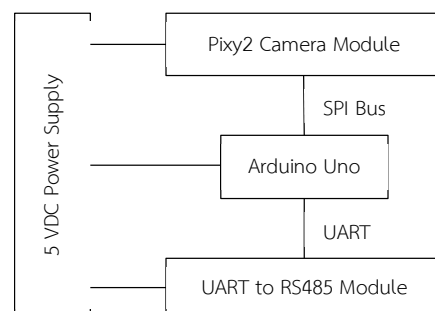
ส่วนสมองกลฝังตัวอาดูยโนจะใช้เป็นรุ่นยูโน (Uno) ดังรูปที่ 2 เป็นแพลตฟอร์มสมองกลฝังตัวแบบเปิดเผย

ต้นฉบับทั้งหมด ใช้หน่วยประมวลผล ATmega328 ความถี่ 16 MHz หน่วยความจำแฟลช 32 KB แรม 2 KB สามารถรับส่งสัญญาณได้ทั้งดิจิทัลและอนาล็อก รวมถึงมีเอกสารข้อมูลหลายรูปแบบให้เลือกใช้งาน



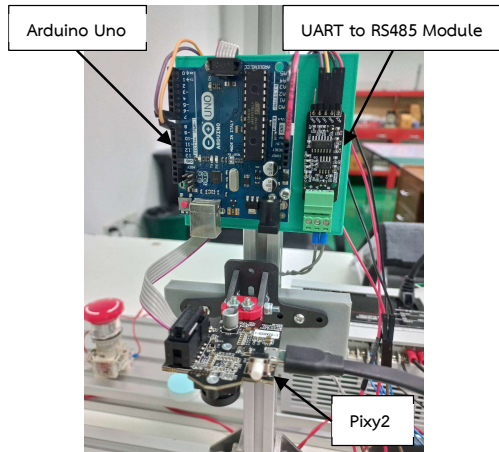
รูปที่ 2 สมองกลฝังตัวอาดูยโนรุ่นยูโน

ไดอะแกรมการทำงานของระบบวิชันฟิงตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 โดยสมองกลฝังตัวอาดูยโนจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการสื่อสารระหว่างโมดูลกล้อง พิกซี 2 กับตัวควบคุมอุตสาหกรรมภายนอก ซึ่งโมดูลกล้องพิกซี 2 จะใช้พอร์ตสื่อสารความเร็วสูง SPI Bus ส่วนสมองกลฝังตัวอาดูยโนจะใช้พอร์ตสื่อสาร UART ร่วมกับโมดูลแปลงสัญญาณจาก UART ไปเป็น RS485 เพื่อให้สามารถสื่อสารกับตัวควบคุมอุตสาหกรรมภายนอกได้ในระยะไกล อุปกรณ์ทั้งหมดใช้ไฟเลี้ยงจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 5 VDC เพียงแหล่งเดียวเท่านั้น



รูปที่ 3 ไดอะแกรมของระบบวิชันฟิงตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับ

ส่วนรูปที่ 4 จะแสดงอุปกรณ์ทั้งหมดเมื่อนำมาประกอบกันของระบบวิชชันฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่พัฒนาขึ้น



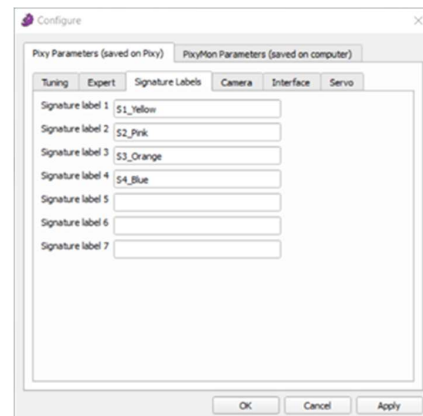
รูปที่ 4 ระบบวิชชันฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับ

## 2.2 การตั้งค่าสำหรับโมดูลกล้องพิกซี 2

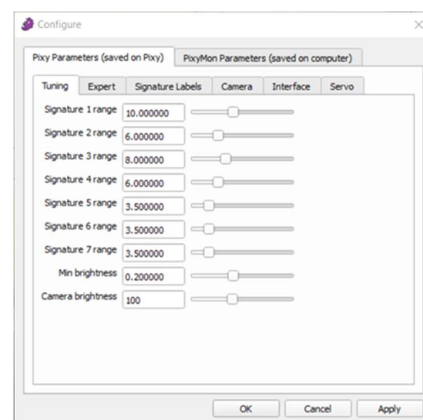
ก่อนการนำโมดูลกล้องพิกซี 2 ไปใช้งานได้นั้นจะต้องมีการตั้งค่าการทำงานรวมถึงการสอนให้โมดูลกล้องรู้จักชิ้นงานที่จะใช้ตรวจจับเสียก่อน โดยใช้โปรแกรมชื่อ PixyMon ในการตั้งค่าการทำงาน ในงานวิจัยนี้จะให้โมดูลกล้องพิกซี 2 ทำหน้าที่แยกแยะสีของชิ้นงานที่แตกต่างกันจำนวน 4 สี คือ สีเหลือง สีชมพู สีส้ม และสีฟ้า ซึ่งทั้งสี่สีนี้เป็นสีแบบพาสเทล มีความยากในการตรวจจับ และเฉดสีของสีส้มและสีเหลืองก็ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของกล้องไปด้วยในตัว รวมถึงการแยกแยะสีของชิ้นงานก็จะเจอได้บ่อยในอุตสาหกรรม 4.0 โดยเริ่มต้นจะกำหนดป้ายชื่อ (Signature label) ให้กับชิ้นงานแต่ละสีเพื่อใช้อ้างอิงดังรูปที่ 5

จากนั้นนำชิ้นงานมาวางไว้หน้ากล้องโดยมีระยะห่างเท่ากับ 40 mm ซึ่งเป็นระยะใกล้สุดที่ใช้ในการทดลองใช้โปรแกรม PixyMon ทำการติกรอบรอบบริเวณสีของชิ้นงานที่ต้องการตรวจจับเพื่อสอนให้โมดูลกล้องรู้จักสีและจับคู่กับป้ายชื่อที่ได้กำหนดไว้ตามรูปที่ 5 แล้วทำการปรับค่าช่วงของป้ายชื่อ (Signature range) เพื่อให้การรอบที่ติไว้ตอนแรกครอบคลุมพื้นที่สีของชิ้นงานให้มากที่สุด

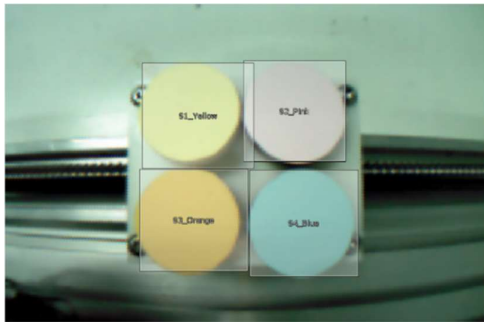
ทำซ้ำทีละชิ้นงานจนกระทั่งครบทั้งหมด จากนั้นนำชิ้นงานทั้งหมดมาวางไว้หน้ากล้องโดยให้มีระยะห่างเท่ากับ 120 mm เพื่อให้เห็นชิ้นงานทั้งหมดแล้วตรวจสอบว่าโมดูลกล้องยังสามารถแยกแยะสีชิ้นงานได้ถูกต้องทั้งหมดหรือไม่ หากไม่สามารถแยกแยะได้ถูกต้องให้กลับไปทำขั้นตอนแรกใหม่อีกครั้ง จนกระทั่งสามารถแยกแยะสีทั้งหมดได้อย่างถูกต้อง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทดลองตั้งค่าการทำงานของโมดูลกล้องทั้งกรณีปิดและเปิดหลอดไฟแอลอีดีที่อยู่บนโมดูลกล้อง โดยกรณีเปิดหลอดไฟแอลอีดี ผลการตั้งค่าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 และผลการแยกแยะสีชิ้นงานแสดงได้ดังรูปที่ 7 ส่วนกรณีเปิดหลอดไฟแอลอีดี ผลการตั้งค่าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8 และผลการแยกแยะสีชิ้นงานแสดงได้ดังรูปที่ 9



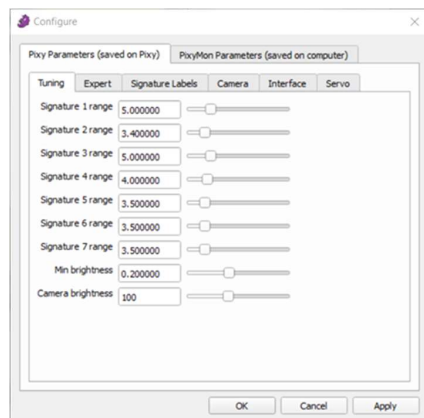
รูปที่ 5 การกำหนดกำหนดป้ายชื่อให้กับชิ้นงาน



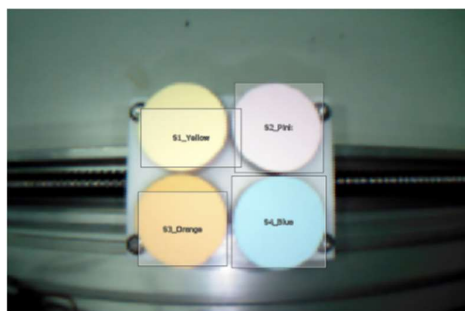
รูปที่ 6 ผลการตั้งค่าโมดูลกล้องกรณีปิดหลอดไฟ



รูปที่ 7 ผลการแยกแยะสีชิ้นงานกรณีปิดหลอดไฟ



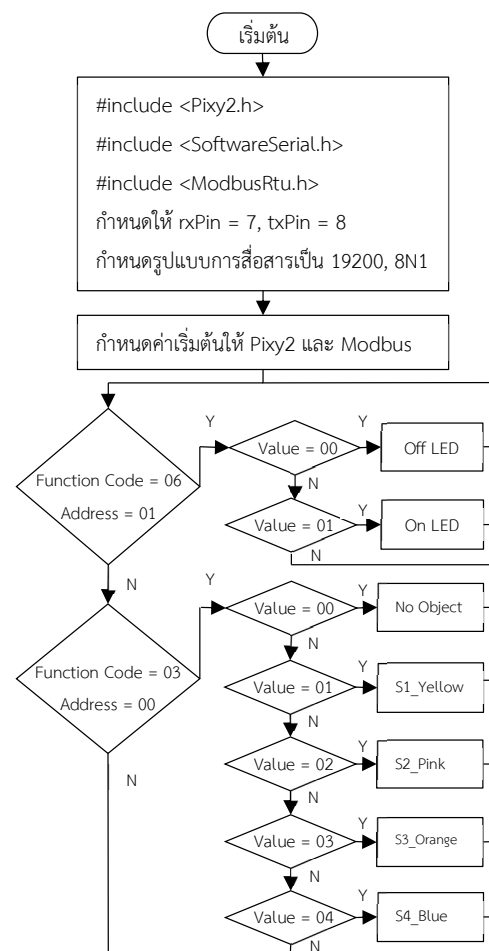
รูปที่ 8 ผลการตั้งค่าโมดูลกล้องกรณีเปิดหลอดไฟ



รูปที่ 9 ผลการแยกแยะสีชิ้นงานกรณีเปิดหลอดไฟ

2.3 การพัฒนาโปรแกรมบนสมองกลฝังตัวอาดูยโน้  
จากรูปที่ 3 สมองกลฝังตัวอาดูยโน้ใช้พอร์ต SPI Bus  
สื่อสารกับโมดูลกล้องพิกซี่ 2 และใช้พอร์ต UART ร่วมกับ  
โมดูลแปลงสัญญาณจาก UART ไปเป็น RS485 เพื่อให้  
สามารถสื่อสารกับตัวควบคุมอุตสาหกรรมภายนอกได้ใน  
ระยะไกลโดยใช้โปรโตคอลมอดบัส (Modbus Protocol)

[12] ซึ่งเป็นโปรโตคอลมาตรฐานอุตสาหกรรมที่นิยมใช้  
กันอย่างแพร่หลาย โดยกำหนดรูปแบบการสื่อสารเป็น  
19200 bps, 8N1 และค่าตัวแปรในโปรโตคอลมอดบัส  
แสดงได้ดังตารางที่ 1 โดยการตรวจจัสสีและภาพจะใช้  
ฟังก์ชันโค้ด (Function Code) เป็น 03 Hex ที่ตำแหน่ง  
หน่วยความจำ 00 Hex ซึ่งค่าที่อ่านได้จะเท่ากับ 00 Hex  
- 04 Hex ซึ่งแทนสีที่ตรวจพบ ส่วนการสั่งเปิด-ปิด  
หลอดไฟ แอล อี ดี จะใช้ฟังก์ชันโค้ดเป็น 06 Hex ที่  
ตำแหน่งหน่วยความจำ 01 Hex โดยเมื่อส่งค่า 00 Hex  
หลอดไฟจะดับ แต่ถ้าส่งค่า 01 Hex หลอดไฟจะติด ส่วน  
ผังงานโปรแกรม (Flowchart) แสดงได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผังงานโปรแกรมของอาดูยโน้

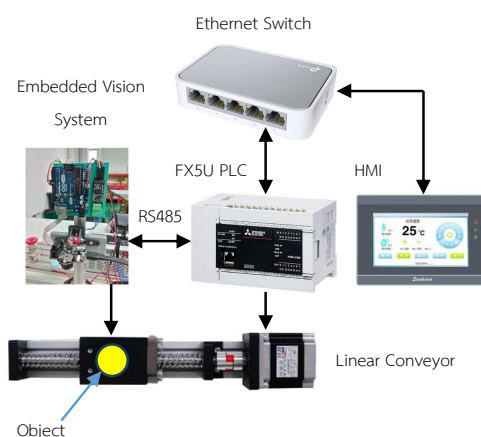
ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรที่ใช้ในโปรโตคอลมอดบัส

| Function Code<br>(Hex) | Address<br>(Hex) | Value<br>(Hex) |
|------------------------|------------------|----------------|
| 03                     | 00               | 00 = No Object |
|                        |                  | 01 = S1_Yellow |
|                        |                  | 02 = S2_Pink   |
|                        |                  | 03 = S3_Orange |
|                        |                  | 04 = S4_Blue   |
| 06                     | 01               | 00 = Off LED   |
|                        |                  | 01 = On LED    |

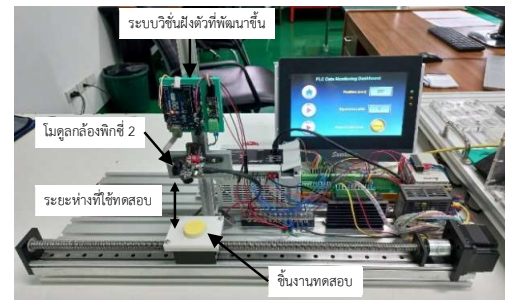
### 3. ผลการวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์ทดลอง

ในการทดลองจะนำระบบวิชั่นฟิงต์วแบบเปิดเผยต้นฉบับไปติดตั้งร่วมกับชุดทดลองสำหรับการศึกษาระบบการอุตสาหกรรม 4.0 ที่ถูกพัฒนาขึ้น ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ซึ่งไดอะแกรมของชุดทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 11 และชุดทดลองจริงที่ใช้ในงานวิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 ไดอะแกรมชุดทดลอง



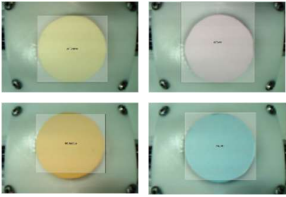
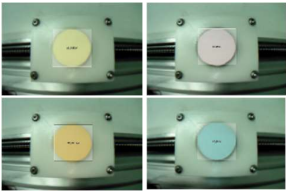
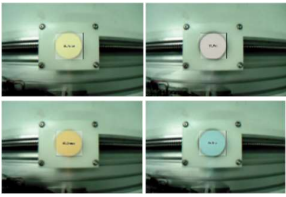
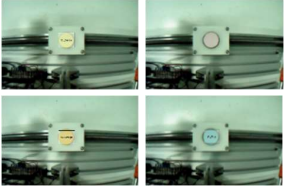
รูปที่ 12 ส่วนประกอบของชุดทดลอง

ชุดทดลองสำหรับงานวิจัยนี้สร้างขึ้นมาเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับและคัดแยกชิ้นงานที่มีสีต่างกันของระบบวิชั่นฟิงต์วแบบเปิดเผยต้นฉบับที่พัฒนาขึ้นภายใต้ระยะห่างจากโมดูลกล้องและสภาวะแสงต่างๆ รวมถึงทดสอบความเข้ากันได้กับตัวควบคุมที่ใช้ในอุตสาหกรรม 4.0 จากไดอะแกรมในรูปที่ 11 ระบบวิชั่นฟิงต์วแบบเปิดเผยต้นฉบับจะทำหน้าที่ตรวจจับสีของชิ้นงานทรงกลม ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2 โดยระบบวิชั่นฟิงต์วแบบเปิดเผยต้นฉบับจะถูกสั่งงานจากตัวควบคุมอุตสาหกรรม พีแอลซี ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น FX5U ผ่านทางพอร์ต RS485 ด้วยโปรโตคอลมอดบัส และใช้หน้าจอสัมผัสทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (Human Machine Interface: HMI) ยี่ห้อ SAMKOON ขนาด 10 นิ้ว ในการแสดงผลและรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน โดย พีแอลซี และหน้าจอสัมผัส จะสื่อสารกันผ่านทางพอร์ตอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ด้วยอุปกรณ์อีเทอร์เน็ตสวิตช์ (Ethernet Switch) โดยเมื่อเริ่มทดลองผู้ใช้งานจะกดปุ่มเริ่มที่หน้าจอสัมผัส จากนั้น พีแอลซี จะส่งสัญญาณไปให้มอเตอร์ที่อยู่บนชุดขนส่งเชิงเส้นแบบบอลสกรู (Linear Conveyor) เคลื่อนที่พาชิ้นงานจากจุดเริ่มต้นไปยังตำแหน่งที่ระบบวิชั่นฟิงต์วแบบเปิดเผยต้นฉบับติดตั้งอยู่ เมื่อถึงแล้ว พีแอลซี จะสั่งให้ระบบวิชั่นฟิงต์วแบบเปิดเผยต้นฉบับทำการตรวจจับสี เมื่อตรวจจับสีเสร็จแล้วระบบวิชั่นฟิงต์วแบบเปิดเผยต้นฉบับจะส่งข้อมูลที่ตรวจจับได้กลับไปให้ พีแอลซี เพื่อแสดงผลให้ผู้ใช้งานได้ทราบผ่านทางหน้าจอสัมผัส

### 3.2 ระยะห่างจากชิ้นงานกับความถูกต้องในการตรวจจับสนี

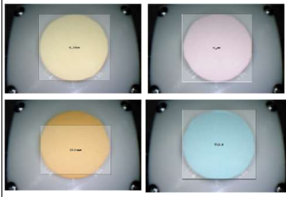
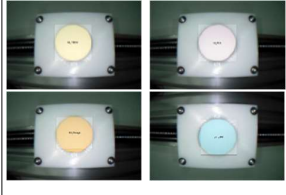
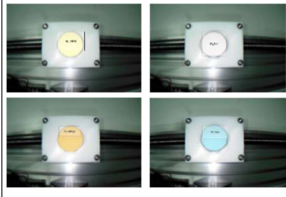
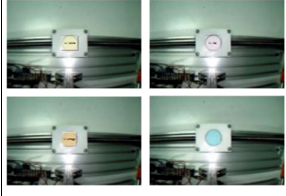
ในการทดลองนี้จะปรับระยะห่างจากชิ้นงานถึงโมดูลกล้องเป็น 4 ระยะ คือ 40 mm, 80 mm, 120 mm และ 160 mm เพื่อทดสอบความถูกต้องในการตรวจจับสนีที่ระยะต่างๆ โดยจะทดลองทั้งกรณี ปิดและเปิด หลอดไฟ แอล อี ดี ที่อยู่บนโมดูลกล้อง ผลการทดลองกรณีปิดหลอดไฟ แอล อี ดี แสดงได้ดังตารางที่ 2 และผลการทดลองกรณีเปิดหลอดไฟ แอล อี ดี แสดงได้ดังตารางที่ 3 จากตารางที่ 2 พบว่าที่ระยะห่าง 40 – 120 mm นั้น

ตารางที่ 2 ผลกระทบของระยะห่างจากชิ้นงาน กรณีปิดหลอดไฟ แอล อี ดี

| ระยะห่าง (mm) | ภาพที่ได้จากกล้อง                                                                   | ผลการตรวจจับสนี            |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 40            |  | ตรวจจับสนีได้ทุกสี         |
| 80            |  | ตรวจจับสนีได้ทุกสี         |
| 120           |  | ตรวจจับสนีได้ทุกสี         |
| 160           |  | ไม่สามารถตรวจจับสนีชมพูได้ |

สามารถตรวจจับสนีได้อย่างถูกต้อง ส่วนที่ระยะ 160 mm ไม่สามารถตรวจจับสนีชมพู จากตารางที่ 3 พบว่าที่ระยะห่าง 40 – 120 mm นั้นสามารถตรวจจับสนีได้อย่างถูกต้อง แต่ที่ระยะ 120 mm ถึงแม้จะตรวจจับสนีได้ถูกต้องแต่ขอบเขตการตรวจจับสนีจะไม่เต็มหน้าพื้นที่ ส่วนที่ระยะ 160 mm ไม่สามารถตรวจจับสนีฟ้า จากการทดลองนี้จะพบว่าที่ระยะห่าง 80 mm จะให้ผลการตรวจจับสนีดีที่สุดทั้งกรณี ปิดและเปิด หลอดไฟ แอล อี ดี เพราะสามารถตรวจจับสนีได้เร็วและขอบเขตการตรวจจับสนีเต็มหน้าพื้นที่สีมากที่สุด

ตารางที่ 3 ผลกระทบของระยะห่างจากชิ้นงาน กรณีเปิดหลอดไฟ แอล อี ดี

| ระยะห่าง (mm) | ภาพที่ได้จากกล้อง                                                                    | ผลการตรวจจับสนี                               |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 40            |  | ตรวจจับสนีได้ทุกสี                            |
| 80            |  | ตรวจจับสนีได้ทุกสี                            |
| 120           |  | ตรวจจับสนีได้ทุกสีแต่ตรวจจับสนีไม่เต็มพื้นที่ |
| 160           |  | ไม่สามารถตรวจจับสนีฟ้าได้                     |

### 3.3 การตรวจจับสนีเมื่อใช้ร่วมกับตัวควบคุม อุตสาหกรรม พี แอล ซี

หัวข้อนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจจับสนี และความเข้ากันได้กับตัวควบคุมอุตสาหกรรม พี แอล ซี โดยจะใช้ระยะห่างจากชิ้นงานเท่ากับ 80 mm ในการทดสอบเนื่องจากเป็นระยะห่างที่ให้ผลดีที่สุดจากการทดลองในหัวข้อ 3.2 โดยในการทดลองจะให้ผู้ใช้งานวางชิ้นงานทดสอบลงบนถาดรับชิ้นงานที่ติดตั้งบนชุดขนส่งเชิงเส้น แล้วกดปุ่มเริ่มที่หน้าจอสัมผัสจากนั้นตัวควบคุม พี แอล ซี จะสั่งให้ชุดขนส่งเชิงเส้นเคลื่อนที่พาชิ้นงานจากจุดเริ่มต้นไปยังตำแหน่งที่ระบบวิชันฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับติดตั้งอยู่ เมื่อถึงแล้ว พี แอล ซี จะสั่งให้ระบบวิชันฝั่งตัวแบบเปิดทำการตรวจจับสนี เมื่อตรวจจับสนีเสร็จแล้วระบบวิชันฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับจะส่งข้อมูลสปีที่ตรวจจับสนีได้กลับไปให้ พี แอล ซี เพื่อแสดงผลให้ผู้ใช้งานได้ทราบผ่านทางหน้าจอสัมผัส ทำซ้ำจำนวนชิ้นงานละ 10 ครั้ง ทดสอบทั้งกรณี ปิดและเปิด หลอดไฟ แอล อี ดี ที่อยู่บนโมดูลกล้อง ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการตรวจจับสนีเมื่อใช้ร่วมกับตัวควบคุม พี แอล ซี กรณีปิดหลอดไฟ แอล อี ดี

| สปี            | เหลือง |   | ชมพู |   | ส้ม |   | ฟ้า |   |
|----------------|--------|---|------|---|-----|---|-----|---|
|                | /      | × | /    | × | /   | × | /   | × |
| จำนวน<br>ครั้ง | 10     | 0 | 10   | 0 | 10  | 0 | 10  | 0 |

หมายเหตุ: (/) หมายถึงสามารถตรวจจับสนีได้ และ (×) หมายถึงไม่สามารถตรวจจับสนี

ตารางที่ 5 ผลการตรวจจับสนีเมื่อใช้ร่วมกับตัวควบคุม พี แอล ซี กรณีเปิดหลอดไฟ แอล อี ดี

| สปี            | เหลือง |   | ชมพู |   | ส้ม |   | ฟ้า |   |
|----------------|--------|---|------|---|-----|---|-----|---|
|                | /      | × | /    | × | /   | × | /   | × |
| จำนวน<br>ครั้ง | 10     | 0 | 10   | 0 | 10  | 0 | 10  | 0 |

หมายเหตุ: (/) หมายถึงสามารถตรวจจับสนีได้ และ (×) หมายถึงไม่สามารถตรวจจับสนี

จากตารางที่ 4 และ 5 พบว่าที่หน้าจอสัมผัสสามารถสั่งงานและแสดงผลการตรวจจับสนีได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง ทั้งกรณี ปิดและเปิด หลอดไฟ แอล อี ดี รวมถึงสามารถตรวจจับสนีได้อย่างทันทีเมื่อวัตถุมาถึงตำแหน่งที่ระบบวิชันฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับติดตั้งอยู่โดยไม่มีกรรหน่วงเวลาเกิดขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบวิชันฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่พัฒนาขึ้นสามารถเข้ากันได้เป็นอย่างดีกับตัวควบคุม พี แอล ซี ซึ่งเป็นตัวควบคุมที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม 4.0

## 4. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบวิชันฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับที่มีต้นทุนต่ำ มีความยืดหยุ่นสูง รวมถึงเข้ากันได้เป็นอย่างดีกับตัวควบคุมในอุตสาหกรรม 4.0 ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น การคัดแยกชิ้นงานตามสีหรือความเข้มของสี เพื่อคัดแยกสินค้าที่ไม่ได้มาตรฐานออกจากสายการผลิตโดยอัตโนมัติ หรือแยกผลผลิตเกษตร เช่น พริกหรือมะเขือเทศ ตามสีความสุกเป็นต้น และนำเสนอแนวทางในการตั้งค่าสำหรับโมดูลกล้องฟิกส์ 2 จากผลการทดลองจะพบว่าระบบวิชันฝั่งตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับสามารถตรวจจับสนีชิ้นงานได้อย่างถูกต้องทั้งกรณี ปิดและเปิด หลอดไฟ แอล อี ดี ที่อยู่บนโมดูลกล้อง โดยระยะห่างมากที่สุดจากชิ้นงานที่ให้ผลการตรวจจับสนีได้อย่างถูกต้องคือ 80 mm ส่วนกรณีที่ระยะห่างมากกว่า 80 mm โมดูลกล้องฟิกส์ 2 จะเริ่มตรวจจับสนีได้ไม่แน่นอนสังเกตได้จากพื้นที่ในการตรวจจับสนีจะเริ่มไม่เต็มหน้าชิ้นงาน หรือบางชิ้นงานจะตรวจจับสนีไม่ได้เลย

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2566 หมายเลขโครงการ 198/2566

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. A. M. S. Lemstra and M. A. de Mesquita, "Industry 4.0: a tertiary literature review," *Technol. Forecast. Soc. Change.*, vol. 186, pp. 122204, Jan. 2023.
- [2] D. P. Penumuru, S. Muthuswamy and P. Karumbu, "Identification and classification of materials using machine vision and machine learning in the context of industry 4.0," *J. Intell. Manuf.*, vol. 31, pp. 1229-1241, June. 2020.
- [3] R. L. Silva, O. Canciglieri Junior and M. Rudek, "A road map for planning-deploying machine vision artifacts in the context of industry 4.0," *J. Ind. Prod. Eng.*, vol. 39, pp. 167-180, Aug. 2021.
- [4] M. Javaid, A. Haleem, R.P. Singh, S. Rab and R. Suman, "Exploring impact and features of machine vision for progressive industry 4.0 culture," *Sensor. Int.*, vol. 3, pp. 100132, Jan. 2022.
- [5] E. Zancul, H. O. Martins, F. P. Lopes, F. A.T.V. da Silva Neto, "Machine Vision applications in a Learning Factory," *Pro. Manufacturing*, vol. 45, pp. 516-521, April. 2020.
- [6] S. Răileanu, T. Borangiu, F. Anton and S. Anton, "Open source machine vision platform for manufacturing and robotics," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 54, pp. 522-527, Nov. 2021.
- [7] H. Benyezza, M. Bouhedda, I. Kratbi, A. Boukhtache, R. Kara and Y. Aniba, "Automated Fruits Inspection and Sorting Smart System for Industry 4.0 Based on OpenCV and PLC," in *The 2<sup>nd</sup> International Conference on Electronics, Energy and Measurement (IC2EM)*, Medea, Algeria, 2023, pp. 1-4.
- [8] S. B. Lee, T. H. Park and K. S. Han, "Development of Machine Vision System based on PLC," *J. of Institute of Control Robotics and Systems*, vol. 20, pp. 741-749, July. 2014.
- [9] J. Hrbček and E. Bubeníková, "Embedded image processing on Raspberry Pi connected to the industrial control system," *J. Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, vol. 2, pp. 62-71, 2019.
- [10] Pixy Documentation. (2023, May. 11). [Online], Available: <https://docs.pixycam.com/wiki/doku.php?id=wiki:v2:star>
- [11] Arduino Uno Documentation.(2024, Sept. 25) [Online], Available: <https://www.arduino.cc/>
- [12] Modbus Documentation. (2024, Sept. 23). [Online], Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Modbus>

## การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์เล็กทำงานต่อเนื่องเทียบกับมาตรฐาน มอก.787-2551 Study of Performance of Small Engine Running Continuously Compared to TIS 787-2551 Standards

สมพจน์ คำแก้ว\* ณัฐพงษ์ สุขสบาย ศุภชัย แก้วพวง

สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

16/10 ถนนเลียบคลองทวีวัฒนา เขตทวีวัฒนา กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10170

Sompot Khomkaew\* Nattapong Suksabai Supachai Kaewpoung

Electric Vehicle Engineering, Faculty of Engineering, Bangkokthonburi University

16/10 Liap Khlong Thawi Watthana Rd, Thawi Watthana, Thawi Watthana, Bangkok, 10170, Thailand

\*Corresponding author Email: Sku18me@gmail.com

(Received: December 6, 2023; Revised: March 13, 2024 ; Accepted: December 9, 2024)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลแบบ 4 จังหวะเป็นเครื่องยนต์สูบเดียวเครื่องใหม่กำลังสูงสุด 8.5 kW เทียบกับ มอก.787-2551 แบบการทำงานต่อเนื่องจะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล B7 และน้ำมันหล่อลื่น SAE-30-40 ชนิดของหม้อกรองอากาศแบบเปียกและจำนวนกระบอกสูบ 1 ลูกสูบมีเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 92 mm ระยะชัก 96 mm ปริมาตรระยะชักรวม  $638 \text{ cm}^3$  อัตราส่วนการอัด 19.4: 1 และระบบระบายความร้อนแบบหม้อน้ำรังผึ้งมีปริมาณความจุน้ำหล่อเย็น  $2.09 \text{ m}^3$  กำหนดให้เครื่องยนต์ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 10 hrs. ความดันในการฉีด  $125 \text{ Kg/cm}^2$  ซึ่งมีตำแหน่งลิ้นไอดีระยะห่างของลิ้น 0.18 mm เปิดก่อนศูนย์ตายบน 16.51 degree และปิดหลังศูนย์ตายล่าง 35.38 degree และตำแหน่งลิ้นไอเสียระยะห่างของลิ้น 0.15 mm เปิดก่อนศูนย์ตายล่าง 50.71 degree และปิดหลังศูนย์ตายบน 20.34 degree ทดสอบในสภาวะความดันบรรยากาศเริ่มทดสอบ 760 mmHg ความดันบรรยากาศหลังทดสอบ 760 mmHg สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเมื่อเริ่มทดสอบร้อยละ 64 หลังจากผ่านการทดสอบร้อยละ 78 สีควันไอเสียต้องไม่เกินร้อยละ 30 ของเครื่องวัดระบบบอช (Bosch) อุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นต้องไม่เกิน  $120^\circ\text{C}$  และระดับเสียงต้องไม่เกิน 100 db หลังการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์เล็กที่นำมาทดสอบให้กำลังเพลลาซสูงสุด 7.9 Kw แรงบิดสูงสุด 31.3 N.m ที่ความเร็วรอบ 2400 rpm มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 284 g/kWh สีของควันไอเสียร้อยละ 7.2 ที่ระดับเสียงดังสูงสุด 93.4 db.

**คำสำคัญ** กำลังเครื่องยนต์ แรงบิด อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

### Abstract

This research aims to study and compare the performance of a small 4-stroke diesel engine with a newly designed single-cylinder engine with a maximum power of 8.5 kW compared to the TIS.787-2551 continuous operation type. The engine, utilizes B7 diesel fuel and SAE 30-40 lubricating oil. The air filter type is wet and the engine has one piston with a bore of 92 mm, a stroke of 96 mm, and a

total displacement volume of 638 cm<sup>3</sup>. The compression ratio is 19.4:1, and the cooling system is a honeycomb water jacket with a cooling water capacity of 2.09 m<sup>3</sup>. The engine is designed to operate continuously for 10 hours with an injection pressure of 125 kg/cm<sup>2</sup>. The intake valve clearance is set at 0.18 mm before top dead center (BTDC) on the opening side and 16.51 degrees BTDC on the closing side. The exhaust valve clearance is set at 0.15 mm before BTDC on the opening side and 50.71 degrees BTDC on the closing side. The testing is conducted under atmospheric pressure conditions starting at 760 mmHg, with a humidity level of 64% at the beginning and 78% after the test. The exhaust smoke color must not exceed 30% according to the Bosch exhaust gas measuring system. The lubricating oil temperature must not exceed 120°C, and the noise level must not exceed 100 dB. After testing, it was found that the tested small engine produced a maximum output power of 7.9 kW, a maximum torque of 31.3 N.m at 2400 rpm, with a fuel consumption rate of 284 g/kWh and exhaust smoke color of 7.2%, reaching a maximum noise level of 93.4 dB.

**Keywords:** Engine power, torque engine, specific fuel consumption.

## 1. บทนำ

การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์เล็กดีเซลแบบ 4 เทียบกับ มอก.787-2551 ของประเทศไทย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ขึ้นมา เพื่อควบคุมคุณภาพสินค้าที่เน้นด้านความปลอดภัย ว่าด้วยกำหนดเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กระบายความร้อนด้วยน้ำ จากค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.787-2551) และนำมาใช้เป็นแนวทางในการศึกษาทำการทดสอบเครื่องยนต์ที่กำลังสูงสุดหรือแรงบิดสูงสุดตามที่กำหนด โดยค่าจากการทดสอบต้องอยู่ในสภาวะเสถียร ซึ่งเครื่องยนต์ที่นำมาทำการทดสอบนั้นจะต้องปรับสภาพการทำงาน of เครื่องยนต์ (Run-In) ตามมาตรฐานกำหนดไว้ เพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์พลังงานในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์รวมทั้งให้มีการส่งเสริมการใช้วัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (1) กำหนดมาตรฐานด้านประสิทธิภาพ การใช้พลังงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ (2) กำหนดเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ตามประเภทขนาด

ปริมาณการใช้พลังงานอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างใดเป็นเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง (3) กำหนดวัสดุหรืออุปกรณ์ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามประเภทคุณภาพและมาตรฐานอย่างใดเป็นวัสดุ หรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (4) กำหนดให้ผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต้องแสดงค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานผู้ผลิตและผู้จำหน่ายเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ หรือวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงตามวรรคหนึ่ง (2) หรือ (3) มีสิทธิขอรับการส่งเสริมและช่วยเหลือตามมาตรา 40 ได้มาตรฐานวิธีการทดสอบและวิธีการคำนวณอ้างอิง “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กระบายความร้อนด้วยน้ำ (มอก.787-2551) ซึ่งในการทดสอบหาสมรรถนะเครื่องยนต์ดัดแปลง สามารถใช้เชื้อเพลิงร่วมกันระหว่างน้ำมันดีเซลและก๊าซชีวภาพกับอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ โดยดัดแปลงท่อไอดีเป็นแบบ T- Type เพื่อทำหน้าที่ผสมก๊าซชีวภาพวัดค่าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทดสอบที่

ความเร็วรอบ 1500rpm ~ 3 kW โดยเพิ่มภาระขึ้นครั้งละ 40Watt เพิ่มก๊าซชีวภาพมากที่สุดป้องกันเครื่องยนต์น็อก [1] โดยนำเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปมาดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนจากการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลที่อัดอากาศ ให้มีความดันและอุณหภูมิสูงแล้วฉีดน้ำมันดีเซลเข้าไปเกิดการเผาไหม้ เปลี่ยนมาเป็นอัดอากาศผสมก๊าซชีวภาพให้มีความดันและอุณหภูมิสูงแล้วจุดระเบิดโดยการฉีดน้ำมันดีเซลมาเป็นจุดระเบิดด้วยหัวเทียนและเพิ่มอุปกรณ์ (Venturi mixer gas) กับอากาศเข้าห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ซึ่งเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ รุ่น DI-700 ขนาด 353 cc ขนาดกำลัง 7 Hp เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพ เครื่องยนต์มีอัตราส่วนกำลังอัด 18:1 ผลการทดสอบที่อัตราส่วนของน้ำมันดีเซลต่อก๊าซชีวภาพที่ 30:70 เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด เพราะระบบกำลังเครื่องยนต์ไม่มีอาการน็อกเกิดขึ้น ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงสุดที่ 18.49% โหลดทางไฟฟ้า 3,000 Watt อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล 10 cc/min และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 24 liter/min เมื่อดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเครื่องยนต์มีอัตราส่วนกำลังอัดลดลงเหลือ 10:1 ใช้เชื้อเพลิงเฉพาะก๊าซชีวภาพเพียงอย่างเดียวได้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงสุดที่ 6.95% โหลดทางไฟฟ้า 500 Watt มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 17 L/min [2] และค่าประสิทธิภาพ ค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กระบายความร้อนด้วยน้ำ ที่จะขอรับการสนับสนุน ให้ใช้ฉลากประหยัดพลังงานประสิทธิภาพสูงต้องมีค่าประสิทธิภาพพลังงานไม่เกินหรือเท่ากับค่าประสิทธิภาพที่ระบุไว้ [3] โดยเฉพาะไปโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ [4-5] ทำการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์แบบภาระเต็มที่รอบเครื่องยนต์

เปลี่ยนแปลง [6] เครื่องยนต์เล็กดีเซลสูบเดี่ยวระบายความร้อนด้วยน้ำ ที่ใช้ในภาคเกษตรในประเทศไทยมีจำนวนมากและเพื่อเป็นการลดต้นทุนด้านค่าเชื้อเพลิง จึงได้ทำการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์เล็กดีเซลสูบเดี่ยวและประเมินผลการทดสอบในการตัดสินใจในการลงทุนเครื่องจักรกลทางการเกษตรต่อไป

## 2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

### 2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ (Tool and equipment)

รายละเอียดเครื่องยนต์ดีเซลสูบนอนสี่จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำรุ่น TF115WL-PR2 และ รายละเอียดไดนาโมมิเตอร์รุ่น ONO SOKKI-50Kg-m ดังตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1 รายละเอียดเครื่องยนต์ดีเซลสูบนอน

| รุ่นเครื่องยนต์            | หน่วย              | TF115WL-PR2                     |
|----------------------------|--------------------|---------------------------------|
| แบบ                        | -                  | เครื่องยนต์ดีเซลสูบนอน 4 จังหวะ |
| ระบบห้องเผาไหม้            | -                  | ระบบห้องเผาไหม้ช่วย             |
| จำนวนสูบ                   | -                  | 1                               |
| กระบอกสูบ×ระยะชัก          | mm                 | 92×96                           |
| ปริมาตร                    | cm <sup>3</sup>    | 638                             |
| กำลังสูงสุด/ที่ความเร็วรอบ | kW/rpm             | 7.2/2400                        |
| ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง   | g/min              | 38.3                            |
| อัตราส่วนการอัด            | -                  | 19.4:1                          |
| องศาการฉีด                 | -                  | 20                              |
| แรงดันการฉีด               | Kg/cm <sup>2</sup> | 125                             |
| หัวฉีดน้ำมัน               | -                  | Single-hold                     |
| ปั๊มฉีดน้ำมัน              | -                  | Bosh                            |
| ระบบหล่อลื่น               | -                  | หล่อลื่นด้วยปั๊ม                |
| ระบายความร้อน              | -                  | หม้อน้ำรังผึ้ง                  |

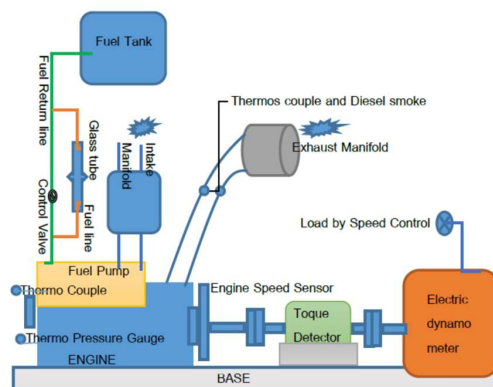
ตารางที่ 2 รายละเอียดไดนาโมมิเตอร์ ONO SOKKI-50Kg-m

|                                  |                                                                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Measurement Accuracy             | ±0.2 % F.S. (when combined with the TS-2800/3200A (N-0 correction))                   |
| Temperature Effect               | +0.03 % F.S./ °C                                                                      |
| Applicable Revolution detector   | MP-981 (option)                                                                       |
| Operating Temperature Range      | 0 to +40°C                                                                            |
| Storage temperature range        | -20 °C to +60 °C                                                                      |
| Humidity Range                   | 85 % or less                                                                          |
| Vibration Resistance             | 50 m/s <sup>2</sup> or less                                                           |
| Applicable Connector             | TRC116-12A10-7M10.5                                                                   |
| Gear Teeth for Rotation Detector | Standard accessory (60 P/R)                                                           |
| Power Supply                     | 100 VAC 50/60 Hz, SS-002 to 200:35 VA, SS-500 to 202:50 VA                            |
| Accessory                        | Power cable (2.4 m), Torque signal cable (5 m), Shaft-end key(Only for SS-100 to 202) |

## 2.2 อุปกรณ์การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์(Engine performance testing equipment)

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบ Thermocouple รุ่น TSK-03 ขนาด Ø 8mm วัดอุณหภูมิได้ไม่เกิน 800°C เครื่องวัดความเร็วรอบ รุ่น HM-640 วัดรอบได้ไม่เกิน 5000 rpm

เครื่องวัดความสิ้นเปลืองน้ำมัน รุ่น CDR-15 วัดน้ำหนักได้ไม่เกิน 15000 g และเครื่องวัดควันดำ รุ่น RTT 100 เป็นระบบวัดความทึบแสงแบบไหลผ่านบางส่วน (Partial Flow Opacity) ตามรูปที่ 1 เป็นไดอะแกรมชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ขนาดเล็กพิเศษเดี่ยว [9]



รูปที่ 1 ไดอะแกรมชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

## 2.3 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ (Engine performance testing)

การหาสมรรถนะเครื่องยนต์เล็กแบบสูบเดี่ยวสามารถคำนวณจากสมการที่ 1-6 เพื่อหาค่าตัวแปรบางตัวที่ไม่สามารถทดสอบได้จากการทดลองตามตารางที่ 3-4

### 2.3.1 ทำการติดตั้งเครื่องยนต์ (Installation of engine)

โดยมีอุณหภูมิการห้องอยู่ระหว่าง 30.8-37.0 °C อุณหภูมิของควันไอเสียอยู่ระหว่าง 545-559 °C อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ระหว่าง 36-42°C และอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นอยู่ระหว่าง 77-116°C โดยกำหนดเครื่องยนต์เดินเบาที่รอบ 800 rpm ประมาณ 20 min จากนั้นเร่งรอบเครื่องยนต์ขึ้นไปที่ 1500 rpm เป็นเวลา 20 min แล้วจึงเดินรอบเครื่องยนต์ไปสุดคันเร่งที่ 2400 rpm เป็นเวลาต่อเนื่องเป็นเวลา 10 hrs ทำการตรวจการทำงานของเครื่องยนต์และบันทึกค่า หลังจากนั้นทำการหยุดการทำงานของเครื่องยนต์ ทำการตรวจระดับน้ำระดับน้ำต้องไม่ต่ำกว่าส่วนบนของหลอดทางเดินน้ำ ระบบ

น้ำมันหล่อลื่นทำการตรวจระดับน้ำมันหล่อลื่นเมื่อเครื่องยนต์ทำงานครบ 100 hrs โดยกำหนดการทำงานของเครื่องยนต์ต่อเนื่องเป็นเวลา 10 hrs แล้วหยุดพักเป็นเวลา 4 hrs ระดับน้ำมันหล่อลื่นต้องไม่ลดต่ำกว่าขีดต่ำสุดของก้านน้ำมันหล่อลื่น ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงตรวจสอบระดับน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อเครื่องยนต์ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 10 hrs ระดับน้ำมันเชื้อเพลิงต้องไม่ต่ำกว่าระดับต่ำสุดของหลอดดูระดับ และชุดล้อยช่วยแรงทำให้เครื่องยนต์หมุนเรียบสม่ำเสมอ โดยปรับตั้งความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้ได้ความเร็วรอบที่กำหนดคำนวณความไม่สม่ำเสมอของการหมุนของล้อยช่วยแรง โดยใช้ค่าแตกต่างระหว่างความเร็วรอบสูงสุดกับความเร็วรอบต่ำสุดในช่วงเวลา 5 min จะต้องไม่เกิน 1/100rpm ของรอบที่กำหนด

### 2.3.2 การทำงานแบบไม่มีภาระ (Non load)

ทำการเดินเครื่องยนต์แบบต่อเนื่องมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ 29.5 °C อุณหภูมิกระเปาะเปียก 29.6 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 74 ความดันบรรยากาศ 760 mmHg และทำการค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิและความดัน 760 mmHg ช่วงความเร็วยอมให้ผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 10$ rpm และใช้เวลาในการวัดความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นเวลา 1 min [6]

### 2.3.3 การคำนวณปริมาณอากาศ(Air volume calculation) [8]

จำนวนอากาศเข้ากระบอกสูบเครื่องยนต์เล็กดีเซลหาได้จากสมการ 1

$$V_i = \frac{\eta_v \times N}{2000 \times 60} \quad (1)$$

โดย

$V_i$  คือ ปริมาณอากาศที่เข้ากระบอกสูบ,  $m^3/s$

$N$  คือ ความเร็วของเครื่องยนต์, rpm

$\eta_v$  คือ ประสิทธิภาพเชิงดูดของเครื่องยนต์สันดาปภายในมีค่า 80-90%

### 2.3.4 ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิง (Volume of fuel demand)

ปริมาณเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กหาได้จากสมการ 2

$$f_c = sf_c \times power \quad (2)$$

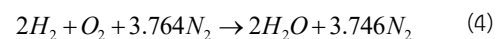
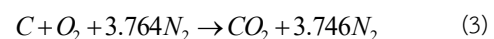
โดย

$f_c$  คือ ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิง,  $m^3/s$

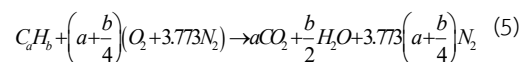
$sf_c$  คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ,  $m^3/s.kW$

### 2.3.5 การเผาไหม้ (Combustion engine)

เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศและได้ความร้อนออกมาโดยทั่วไปเชื้อเพลิงประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอน (HC) ธาตุเหล่านี้เมื่อรวมกับออกซิเจนจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกลายเป็นน้ำ ( $H_2O$ ) และคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) [7] หาได้จากสมการ 3 และ 4 เพื่อคำนวณสีของควันไอเสียตารางที่ 4



การเผาไหม้สมบูรณ์ที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่เหมาะสมเรียกว่า Stoichiometric chemically correct หาได้จากสมการ 5



โดย

$a$  คือ จำนวนโมเลกุลของคาร์บอนในเชื้อเพลิง

$b$  คือ จำนวนโมเลกุลของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง

### 2.3.6 กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Brake power)

กำลังเบรกเป็นกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากการวัดงานจากเพลาคือเหวี่ยงของเครื่องยนต์ ณ ความเร็วรอบ

เครื่องยนต์นั้นๆ โดยใช้ไดนาโมมิเตอร์วัดค่าแรงบิดที่เกิดขึ้นเราสามารถคำนวณกำลังเบรคได้จากสมการ 6

$$P_b = \frac{2\pi TN}{60} \quad (6)$$

โดย

$T$  คือ แรงบิด, N.m

$N$  คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์, rpm

### 3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ผลการดำเนินการทดสอบตามข้อกำหนดตาม มอก. 787-2551 ก.2.2 ข้อ3.2.1 การทำงานอย่างต่อเนื่อง (Running Continuously) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์กับแรงบิดเทียบกับกำลังงานเบรคของเครื่องยนต์และความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์กับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.787-2551) พบว่าเครื่องยนต์เล็กที่นำมาทดสอบให้กำลังเพลาชับสูงสุด 7.9Kw แรงบิดสูงสุด 31.3 N.m ที่ความเร็วรอบ 2400 rpm กำหนดให้เครื่องยนต์ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 10 hrs. ตามตารางที่ 3

ในส่วนอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 1 สูบ พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะหลังผ่านการทดสอบสูงสุด 304 g/kWh สีของควันไอเสียสูงสุดร้อยละ 15.9 ที่ระดับเสียงดังสูงสุด 95.3 db.กำหนดให้เครื่องยนต์ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 10 hrs. ตามตารางที่ 4 เมื่อเทียบกับค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.787-2551) ผลการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก 1 สูบแบบลูกสูบนอน 180 degree ดังกล่าวยังอยู่ในค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.787-2551) ตามตารางที่ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบแรงบิดการทำงานแบบต่อเนื่อง (Running Continuously)

| กำลังที่เพลาชับ (kW) | ความเร็วรอบ (rpm) | แรงบิด(N.m) |
|----------------------|-------------------|-------------|
| 7.9                  | 2400              | 31.3        |
| 7.7                  | 2387              | 30.8        |
| 7.6                  | 2400              | 30.4        |
| 7.5                  | 2403              | 29.8        |
| 7.6                  | 2403              | 30.6        |
| 7.5                  | 2395              | 30.0        |
| 7.6                  | 2396              | 30.3        |
| 7.5                  | 2394              | 30.1        |
| 7.6                  | 2401              | 30.3        |
| 7.6                  | 2401              | 30.1        |
| 7.7                  | 2403              | 30.6        |

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะการทำงานแบบต่อเนื่อง (Non load)

| สีของควันไอเสีย (%) | ระดับเสียง (db.) | อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ(g/kWh) |
|---------------------|------------------|----------------------------------------|
| 1.8                 | 95.3             | 301                                    |
| 2.9                 | 94.3             | 303                                    |
| 4.4                 | 94.1             | 300                                    |
| 3.4                 | 94.1             | 300                                    |
| 7.0                 | 94.0             | 298                                    |
| 8.2                 | 93.4             | 294                                    |
| 3.4                 | 93.3             | 290                                    |
| 7.2                 | 93.4             | 284                                    |
| 8.1                 | 93.8             | 295                                    |
| 15.9                | 93.7             | 304                                    |
| 2.5                 | 93.4             | 299                                    |

ตารางที่ 5 ค่ามาตรฐานตาม มอก.787-2551 กำหนด

| กำลังที่<br>เพลาชับ<br>(kW) | ความเร็ว<br>รอบที่<br>(rpm) | อัตรา<br>สิ้นเปลือง<br>เชื้อเพลิง<br>จำเพาะ<br>(g/kWh) | สีของ<br>ควันไอ<br>เสีย(%) | ระดับ<br>เสียง<br>(db.) |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 7.35-<br><14.7              | 1500-<br><2500              | 285                                                    | 30                         | 100                     |

#### 4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาหาสมรรถนะกำลังเครื่องยนต์และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 1 สูบแนวนอน 180 degree โดยใช้มาตรฐานการทดสอบตาม JIS B 8017 และค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม(มอก.787-2551) มาเป็นแนวทางการทดสอบนั้น พบว่าเครื่องยนต์เล็กที่นำมาทดสอบให้กำลังเพลาชับสูงสุด 7.9 Kw แรงบิดสูงสุด 31.3 N.m ที่ความเร็วรอบ 2400 rpm กำหนดให้เครื่องยนต์ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 10 hrs.ค่ามาตรฐานตาม มอก.787-2551 กำหนดเชื้อเพลิงจำเพาะหลังผ่านการทดสอบสูงสุด 285 g/kWh สีของควันไอเสียร้อยละ 30 จากค่าที่วัดได้ร้อยละ 7.2 ระดับเสียงไม่เกิน 100 dB จากค่าที่วัดได้ 93.4 db.และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ 285 g/kWh จากค่าที่วัดได้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ 284 g/kWh โดยรวมแล้วอัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 1 สูบนอน 180 degree มีกำลังเพล่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง สีของควันไอเสียและระดับเสียงดังไม่เกินจาก ค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.787-2551) ของกระทรวงอุตสาหกรรมควบคุมผลิตภัณฑ์เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก เนื่องจากทางผู้ผลิตเครื่องยนต์ดีเซลมีการพัฒนาเทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์มากขึ้นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ด้านการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับภาคการเกษตรประเทศไทย

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Funkeaw, “ Testing Performance of Small Diesel Engine by Using Dual Fuel with Biogas.” in *The 4th National Conference on Technical Education.*, King Mongkut’s University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand, 2011, pp. 156-161.
- [2] P. Funkeaw, K. Pongput, B. Puengsuk, P. N. Lampang, “A Comparative Study on Engine Performance of Modified Diesel Engine with Dual Biogas and Pure Biogas Fuel,” *RMUTL. Eng. J.*, vol.2, no.1, pp. 25-32, 2017.
- [3] Thai Standards Institution, Test Method of Performance of Small Size Diesel Engines for Land Use Thai Standards Institution, TIS 787-2551, 2551.
- [4] E. Jiaqiang, T. Liu, W.M. Yang, J. Li, J. Gongand and Y. Deng, “ Effects of fatty acid methyl esters proportion on combustion and emission characteristics of a biodiesel fueled diesel engine,” *Energy Conversion and Management*, vol.159, pp.244-253, 2021.
- [5] E. Jiaqiang, M. Pham, Y. Deng, T. Nguyen, V. Duy, D. Le, W. Zuo, Q. Peng and Z. Zhang, “ Effects of injection timing and injection pressure on performance and exhaust emissions of a common rail diesel engine fueled by various concentrations of fish-oil biodiesel blends,” *Energy*, vol.149, pp.179-189, 2021.

- [6] JISB 8018, Japanese Industrial Standard Test Method of Performance of Small Size Diesel Engine of Land Use, 1998.
- [7] M. Pirunkaset, Internal Combustion Engines. Bangkok: SE-Ed., 2001.
- [8] K. Neramit, D. Chaiyot, T. Channarong, “Study on the Performance of Small Size Diesel Engine Using Fish Oil Blended with Biodiesel as Fuel,” *J Industrial Technology*, vol.17, no. 3, pp.99-112, 2021.
- [9] F. Pratuang, P. Kaninb, P. Bodeesorn , N. Puttipong, “ A Comparative Study on Engine Performance of Modified Diesel Engine with Dual Biogas and Pure Biogas Fuel,” *J RMUTL Eng*, vol. 2, no. 3, pp.25-35, 2017.

## การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาดเล็กที่ทำงานขณะมีโหลดเกินกำลังเทียบกับมาตรฐาน มอก.787-2551

### Study of the Performance of Small-Sized Engines Operating under Overloaded Conditions Compared to TIS 787-2551

สมพจน์ คำแก้ว\* ศุภชัย แก้วพวง ณัฐพงษ์ สุขสบาย

สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

16/10 ถนนเลียบคลองทวีวัฒนา เขตทวีวัฒนา กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10170.

Sompot Khomkaew\* Supachai Kaewpoung Nattapong Suksabai

Electric Vehicle Engineering, Faculty of Engineering, Bangkokthonburi University

16/10 Liap Khlong Thawi Watthana Rd, Thawi Watthana, Thawi Watthana, Bangkok, 10170, Thailand.

Corresponding author Email: Sku18me@gmail.com

(Received: December 6, 2023; Revised: May 2, 2024 ; Accepted: December 9, 2024)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์เล็กดีเซลแบบ 4 จังหวะเป็นเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบลูกสูบเดี่ยวแนวนอน 180 degree กำลังสูงสุด 8.5 kW เทียบกับ มอก.787-2551 การทำงานขณะให้กำลังสูงสุดและมีการควบคุมความเร็วรอบ โดยใช้น้ำมันหล่อลื่น SAE-30-40 ชนิดของหม้อกรองอากาศแบบเปียกและจำนวนกระบอกสูบเดี่ยวมีเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 92 mm ระยะชัก 96 mm ปริมาตรระยะชักรวม 638 cm<sup>3</sup> อัตราส่วนการอัด 19.4: 1 และระบบระบายความร้อนแบบหม้อน้ำมีปริมาณความจุน้ำหล่อเย็น 2.09 m<sup>3</sup> กำหนดให้เครื่องยนต์ทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 10 hrs. ความดันในการฉีด 125 kg/cm<sup>2</sup> ซึ่งมีตำแหน่งลิ้นไอติระยะห่างของลิ้น 0.18 mm เปิดก่อนศูนย์ตายบน 16.51 degree และปิดหลังศูนย์ตายล่าง 35.38 degree และตำแหน่งลิ้นไอเสียระยะห่างของลิ้น 0.15 mm เปิดก่อนศูนย์ตายล่าง 50.71 degree และปิดหลังศูนย์ตายบน 20.34 degree ทดสอบในสภาวะความดันบรรยากาศเริ่มต้นทดสอบ 761 mmHg ความดันบรรยากาศหลังทดสอบ 760 mmHg สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเมื่อเริ่มทดสอบร้อยละ 51 หลังจากผ่านการทดสอบร้อยละ 78 สีควันไอเสียต้องไม่เกินร้อยละ 30 ของเครื่องวัดระบบบอช (Bosch) อุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นต้องไม่เกิน 120°C และระดับเสียงต้องไม่เกิน 100 dBs หลังการทดสอบ พบว่าเครื่องยนต์เล็กที่นำมาทดสอบให้กำลังเพลาชับสูงสุด 7.6 kW ที่ความเร็วรอบ 2,405 rpm แรงบิดสูงสุด 33.8 N.m ที่ความเร็วรอบ 1,812 rpm อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 304 g/kWh ที่ความเร็วรอบ 2,405 rpm สีของควันไอเสียร้อยละ 5.9 ที่ความเร็วรอบ 2,450 rpm ที่ระดับเสียงดังสูงสุด 93.6 dBs ที่ความเร็วรอบ 2,405 rpm

**คำสำคัญ** โหลดเกินกำลัง แรงบิด อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์

#### Abstract

This research aims to study and compare the performance of a small 4-stroke diesel engine with a small single-cylinder horizontal 180-degree crankshaft diesel engine with a maximum power of 8.5 kW compared to TIS 787-2551, operating at maximum power and speed control using SAE 30-40 lubricating oil, wet air filter

type, with a single piston with a bore diameter of 92 mm, stroke length of 96 mm, total displacement volume of 638 cm<sup>3</sup>, compression ratio of 19.4:1, and a water-cooling system with a coolant capacity of 2.09 m<sup>3</sup>, designed for continuous operation for 10 hrs. Injection pressure of 125 kg/cm<sup>2</sup>, with a pre-top dead center (TDC) opening position of 16.51 degrees and post-bottom dead center (BDC) closing position of 35.38 degrees for the intake valve, and a pre-BDC opening position of 50.71 degrees and post-TDC closing position of 20.34 degrees for the exhaust valve. Tested under initial atmospheric pressure of 761 mmHg, post-test atmospheric pressure of 760 mmHg, relative humidity at the start of testing at 51%, increasing to 78% after testing. Smoke emissions must not exceed 30% of the Bosch smoke meter, lubricating oil temperature must not exceed 120°C, and noise levels must not exceed 100 dBs after testing. It was found that the tested small engine produced a maximum output power of 7.6 kW at 2,405 rpm, maximum torque of 33.8 N.m at 1,812 rpm, fuel consumption rate of 304 g/kWh at 2,405 rpm, smoke emissions of 5.9% at 2,450 rpm, and a maximum noise level of 93.6 dBs at 2,405 rpm.

**Keywords:** Over load, Engine Torque, Specific Fuel Consumption, Engine Performance.

## 1. บทนำ

จากค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.787-2551) และนำมาใช้เป็นแนวทางในการศึกษาทำการทดสอบเครื่องยนต์ที่กำลังสูงสุดหรือแรงบิดสูงสุดตามที่กำหนด โดยค่าจากการทดสอบต้องอยู่ในสถานะเสถียร ซึ่งเครื่องยนต์ที่นำมาทำการทดสอบนั้นจะต้องปรับสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ (Run-In) ตามมาตรฐานกำหนดไว้ เพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์พลังงานในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์รวมทั้งให้มีการส่งเสริมการใช้วัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (1) กำหนดมาตรฐานด้านประสิทธิภาพ การใช้พลังงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ (2) กำหนดเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ตามประเภทขนาด ปริมาณการใช้พลังงานอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงาน และประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างใดเป็นเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง (3) กำหนดวัสดุหรืออุปกรณ์ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามประเภทคุณภาพ และมาตรฐานอย่างใดเป็นวัสดุ หรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (4) กำหนดให้ผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต้องแสดงค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานผู้ผลิตและผู้

จำหน่ายเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ หรือวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงตามวรรคหนึ่ง (2) หรือ (3) มีสิทธิขอรับการส่งเสริมและช่วยเหลือตามมาตรา 40 ได้ มาตรฐานวิธีการทดสอบและวิธีการคำนวณอ้างอิง “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กระบายความร้อนด้วยน้ำ (มอก.787-2551) ซึ่งในการทดสอบหาสมรรถนะเครื่องยนต์ดัดแปลง สามารถใช้เชื้อเพลิงร่วมกันระหว่างน้ำมันดีเซลและก๊าซชีวภาพกับอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้โดยดัดแปลงท่อไอดีเป็นแบบ T- Type เพื่อทำหน้าที่ผสมก๊าซชีวภาพวัดค่าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,500rpm ~ 3 kW โดยเพิ่มภาระขึ้นครั้งละ 40Watt เพิ่มก๊าซชีวภาพมากที่สุดป้องกันเครื่องยนต์น็อก [1] โดยนำเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปมาดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนจากการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลที่อัดอากาศ ให้มีความดันและอุณหภูมิสูงแล้วฉีดน้ำมันดีเซลเข้าไปเกิดการเผาไหม้ เปลี่ยนมาเป็นอัดอากาศผสมก๊าซชีวภาพให้มีความดันและอุณหภูมิสูงแล้วจุดระเบิด โดยการฉีดน้ำมันดีเซลมาเป็นจุดระเบิดด้วยหัวเทียนและเพิ่มอุปกรณ์ (Venturi Mixer Gas) .ให้กับอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ [2] และค่าประสิทธิภาพ

ของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กระบายความร้อนด้วยน้ำ ที่จะขอรับการสนับสนุน ให้ใช้ฉลากประหยัดพลังงานประสิทธิภาพสูงต้องมีค่าประสิทธิภาพพลังงาน ไม่เกินหรือเท่ากับค่าประสิทธิภาพที่ระบุไว้ [3] โดยเฉพาะไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ [4-5] เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ รุ่น DI-700 ขนาด 353 cc ขนาดกำลัง 7 Hp เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวภาพเครื่องยนต์มีอัตราส่วนกำลังอัด 18:1 ผลการทดสอบที่อัตราส่วนของน้ำมันดีเซลต่อก๊าซชีวภาพที่ 30:70 เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการทดสอบ เพราะระบบกำลังเครื่องยนต์เล็กไม่มีอาการน็อคเกิดขึ้น ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เล็กสูงสุดที่ 18.49% โหลดทางไฟฟ้า 3,000 Watt อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล 10 cc/min และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 24 liter/min เมื่อดัดแปลงเครื่องยนต์เล็กดีเซลเป็นเครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีนเครื่องยนต์มีอัตราส่วนกำลังอัดลดลงเหลือ 10:1 ใช้เชื้อเพลิงเฉพาะก๊าซชีวภาพเพียงอย่างเดียวได้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เล็กสูงสุดที่ 6.95% โหลดทางไฟฟ้า 500 Watt มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ 17 L/min [2] ทำการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เล็กแบบภาระเต็มที่รอบเครื่องยนต์เล็กเปลี่ยนแปลง [6] ได้ทำการสังเคราะห์เชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพจากน้ำมันโดย กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันทำที่สภาวะของอุณหภูมิและความดันเหนือจุดวิกฤตของ เมธานอล อุณหภูมิที่ใช้คือ 350 °C และ 400 °C ความดันที่ใช้อยู่ช่วง 45-65 MPa. พบว่าเมื่อใช้ อุณหภูมิ 350 °C จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 240 min ปริมาณเมิลเอสเทอร์ที่ได้ประมาณ 98% และเมื่อใช้อุณหภูมิ 400 °C จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 120 min และได้เมิลเอสเทอร์ 98% [13] จึงได้ทำการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์เล็กดีเซลสูบเดี่ยวแบบแวนอนและประเมินผลการทดสอบในการตัดสินใจในการลงทุนเครื่องจักรกลทางการเกษตรต่อไป

## 2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

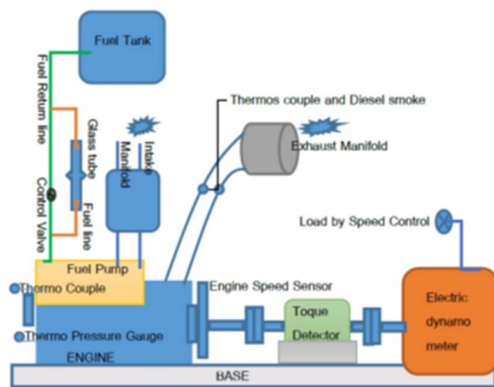
### 2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ (Tool and Equipment )

เครื่องยนต์เล็กดีเซลสูบเดี่ยวแบบแวนอนสี่จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำรุ่น TF115WL-PR2 ตามตารางที่ 1 ตารางที่ 1 รายละเอียดเครื่องยนต์เล็กดีเซลสูบแวนอน

| รุ่นเครื่องยนต์เล็ก              | หน่วย              | TF115WL-PR2                     |
|----------------------------------|--------------------|---------------------------------|
| แบบ                              | -                  | เครื่องยนต์ดีเซลสูบนอน 4 จังหวะ |
| ระบบห้องเผาไหม้                  | -                  | ระบบห้องเผาไหม้ช่วย             |
| จำนวนสูบ                         | -                  | 1                               |
| กระบอกสูบระยะชัก                 | mm                 | 92x96                           |
| ปริมาตร                          | cm <sup>3</sup>    | 638                             |
| กำลังแรงม้าสูงสุด/ที่ความเร็วรอบ | kW/rpm             | 7.2/2400                        |
| ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง         | g/min              | 38.3                            |
| อัตราส่วนการอัด                  | -                  | 19.4:1                          |
| องศาการฉีด                       | -                  | 20                              |
| แรงดันการฉีด                     | kg/cm <sup>2</sup> | 125                             |
| หัวฉีดน้ำมัน                     | -                  | Single-hold                     |
| ปั๊มฉีดน้ำมัน                    | -                  | Bosh                            |
| ระบบหล่อลื่น                     | -                  | หล่อลื่นด้วยปั๊ม                |
| ระบายความร้อน                    | -                  | หมอน้ำรังผึ้ง                   |

### 2.2 อุปกรณ์การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ (Engine Performance Testing Equipment)

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบ Thermocouple รุ่น TSK-03 ขนาด Ø 8mm วัดอุณหภูมิได้ไม่เกิน 800°C เครื่องวัดความเร็วรอบ รุ่น HM-640 วัดรอบได้ไม่เกิน 5,000 rpm เครื่องวัดความสิ้นเปลืองน้ำมัน รุ่น CDR-15 วัดน้ำหนักได้ไม่เกิน 15 kg และเครื่องวัดควันทา รุ่น RTT 100 เป็นระบบวัดความทึบแสงแบบไหลผ่านบางส่วน (Partial Flow Opacity) ตามรูปที่ 1 เป็นไดอะแกรมชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ขนาดเล็กดีเซลสูบเดี่ยว [11]



รูปที่ 1 ไดอะแกรมชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

### 2.3 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ (Engine Performance Testing)

#### 2.3.1 ทำการติดตั้งเครื่องยนต์เล็ก (Installation of Engine)

อุณหภูมิการทำงานอยู่ในช่วงทดสอบ โดยติดตั้งเครื่องยนต์เล็กที่รอบเดินเบา 800 rpm ประมาณ 20 min จากนั้นเร่งรอบเครื่องยนต์เล็กขึ้นไป 1,500rpm เป็นเวลา 20 min จึงคืนรอบเครื่องยนต์เล็กไปสู่คัตแรงที่ 2,400 rpm กำหนดต่อเนื่องเป็นเวลา 14 hrs. ตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์เล็ก หลังจากนั้นให้เครื่องยนต์เล็กหยุดทำงานตรวจสอบระดับน้ำระดับน้ำต้องไม่ต่ำกว่าส่วนบนของหลอดทางเดินน้ำ ระบบน้ำมันหล่อลื่นทำการตรวจสอบระดับน้ำมันหล่อลื่น เมื่อเครื่องยนต์เล็กทำงานครบ 100 hrs. โดยกำหนดการทำงานของเครื่องยนต์เล็กต่อเนื่องเป็นเวลา 10 hrs. แล้วหยุดพักเป็นเวลา 14 hrs. ทำการตรวจวัดระดับน้ำมันหล่อลื่นต้องไม่ลดต่ำกว่าขีดต่ำสุดของก้านน้ำมันหล่อลื่น ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงตรวจสอบระดับน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อเครื่องยนต์เล็กทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 3 hrs. ระดับน้ำมันเชื้อเพลิงต้องไม่ต่ำกว่าระดับต่ำสุดของหลอดดูระดับ และชุดล้อช่วยแรงทำให้เครื่องยนต์เล็กหมุนเรียบสม่ำเสมอ โดยปรับตั้งความเร็วรอบของเครื่องยนต์เล็กให้ได้ความเร็วรอบที่กำหนดคำนวณความไม่สม่ำเสมอของการหมุนของล้อช่วยแรง โดยใช้ค่าแตกต่างระหว่างความเร็วรอบสูงสุดกับความเร็วรอบต่ำสุดในช่วงเวลา 5 min จะต้องไม่เกิน 1/100rpm ของรอบที่กำหนด

#### 2.3.2 การทำงานแบบขุมมีภาระ (Over Load)

แบบต่อเนื่องอุณหภูมิกระเปาะถัง 37.5°C อุณหภูมิกระเปาะเปียก 32.9°C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 46 ความดันบรรยากาศ 760.5 mmHg และทำการแก้ปรับค่าเนื่องจากอุณหภูมิและความดัน 7,600 mmHg ช่วงความเร็วที่ยอมให้ผิดพลาดไม่เกิน  $\pm 10$  rpm และใช้เวลาในการวัดความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นเวลา 1 min [6]

#### 2.3.3 การคำนวณปริมาณอากาศ (Air Volume Calculation) [10]

จำนวนอากาศเข้ากระบอกสูบเครื่องยนต์เล็กดีเซลหาได้จากสมการ 1

$$V_i = \frac{V_s \times N}{2000 \times 60} \quad (1)$$

โดยที่

$V_i$  คือ ปริมาณอากาศที่เข้ากระบอกสูบ,  $m^3/s$

$N$  คือ ความเร็วของเครื่องยนต์, rpm

$V_s$  คือ ประสิทธิภาพดูดของเครื่องยนต์สันดาป ภายในมีค่า 80-90%

#### 2.3.4 ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิง (Volume of Fuel Demand)

ปริมาณเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เล็กดีเซลลูกสูบเดียวแบบแนวนอนหาได้จากสมการ 2

$$f_c = sf_c \times power \quad (2)$$

โดยที่

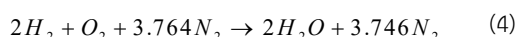
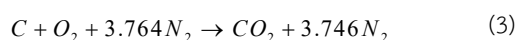
$f_c$  คือปริมาณความต้องการเชื้อเพลิง,  $m^3/s$

$sf_c$  คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ,  $m^3/s.kW$

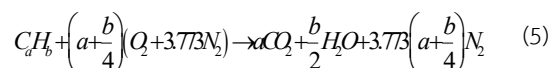
#### 2.3.5 การเผาไหม้ (Combustion Engine)

เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศและได้ความร้อนออกมาโดยทั่วไปเชื้อเพลิงประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอน (HC) ธาตุเหล่านี้เมื่อรวมกับออกซิเจน

จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกลายเป็นน้ำ ( $H_2O$ ) และคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) [7-12] ซึ่งคำนวณจากสมการ 3 และ 4



การเผาไหม้สมบูรณ์ที่เหมาะสมคืออัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่เหมาะสมเรียกว่า Stoichiometric Chemically Correct หาได้จากสมการ 5



โดยที่

- a คือ จำนวนโมเลกุลของคาร์บอนในเชื้อเพลิง
- b คือ จำนวนโมเลกุลของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง

### 2.3.6 กำลังเบรกของเครื่องยนต์เล็ก (Brake Power)

กำลังเบรกเป็นกำลังของเครื่องยนต์เล็กที่ได้จากการวัดงานจากเพลาคือเหวี่ยงของเครื่องยนต์เล็ก ณ ความเร็วรอบเครื่องยนต์เล็กนั้นๆ โดยใช้ไดนาโมมิเตอร์วัดค่าแรงบิดที่เกิดขึ้น เราสามารถคำนวณกำลังเบรกได้จากสมการ 6

$$P_b = \frac{2\pi TN}{60} \quad (6)$$

โดยที่

$T$  คือ แรงบิด, N.m

$N$  คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์, rpm

### 3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ผลการดำเนินการทดสอบตามข้อกำหนดตาม มอก.787-2551 ก.2.2 ข้อ 3.2.1 การทำงานขณะมีโหลดเกินกำลัง (Over Load) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์เล็กกับแรงบิดเทียบกับกำลังงานเบรกของเครื่องยนต์เล็กและ

ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์เล็กกับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.787-2551) พบว่าเครื่องยนต์เล็กที่นำมาทดสอบเป็นเวลา 10 hrs. ให้กำลังเพลาชับสูงสุด 7.6 kW ที่ความเร็วรอบ 2,405 rpm แรงบิดสูงสุด 33.8 N.m ที่ความเร็วรอบ 1,812 rpm ตามตารางที่ 2 ในส่วนอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เล็กดีเซลขนาดเล็กแบบลูกสูบเดี่ยว พบว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะหลังผ่านการทดสอบสูงสุด 304 g/kWh สีของควันไอเสียสูงสุดร้อยละ 5.9 และระดับเสียงดังสูงสุด 93.6 db. ตามตารางที่ 3 เมื่อเทียบกับค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.787-2551) กำหนดตามตารางที่ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแรงบิดการทำงานแบบต่อเนื่อง

| กำลังที่เพลาชับ (kW) | ความเร็วรอบ (rpm) | แรงบิด(N.m) |
|----------------------|-------------------|-------------|
| 7.6                  | 2405              | 30.0        |
| 6.4                  | 1821              | 33.8        |
| 6.3                  | 1807              | 33.5        |

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบอัตราอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะการทำงานแบบต่อเนื่อง

| สีของควันไอเสีย (%) | ระดับเสียง (db.) | อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kWh) |
|---------------------|------------------|-----------------------------------------|
| 5.1                 | 93.6             | 304                                     |
| 5.9                 | 89.7             | 273                                     |
| 5.8                 | 90               | 286                                     |

ตารางที่ 4 ค่ามาตรฐานตาม มอก.787-2551 กำหนด

| กำลังที่เพลาชับ (kW) | ความเร็วรอบที่ (rpm) | อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kWh) | สีของควันไอเสีย (%) | ระดับเสียง (db.) |
|----------------------|----------------------|-----------------------------------------|---------------------|------------------|
| 7.35- <14.7          | 1500- <2500          | 285                                     | 30                  | 100              |

#### 4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาตามข้อกำหนด 3.2.3 กำหนดการทำงาน เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบลูกสูบเดี่ยวแวนอน 180 degree ขณะมีโหลดเกินกำลังเพื่อหาสมรรถนะกำลัง เครื่องยนต์เล็กและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของ เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบลูกสูบเดี่ยวแวนอน 180 degree โดยใช้มาตรฐานการทดสอบตาม JIS B 8017 และค่า ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.787-2551) ตามลำดับมาเป็นแนวทางการทดสอบนั้น พบว่าโดยรวมแล้วอัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบลูกสูบเดี่ยวแวนอน 180 degree มีกำลังเพลาสุงสุด 7.6 kW อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงที่สุด 304 g/kWh ที่ความเร็วรอบ 2,405 rpm เกินมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.787-2551) กำหนด เนื่องจากการให้โหลดเกินจากเกินกำลังของเครื่องยนต์ แต่ในทางกลับกันสีของควันไอและระดับเสียงดังไม่ เกินจากค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.787-2551) กำหนด

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Funkeaw, "Testing Performance of Small Diesel Engine by Using Dual Fuel with Biogas." in *The 4th National Conference on Technical Education*, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand, 2011, pp. 156-161.
- [2] P. Funkeaw, K. Pongput, B. Puengsuk, P. N. Lampang, "A Comparative Study on Engine Performance of Modified Diesel Engine with Dual Biogas and Pure Biogas Fuel," *RMUTL. Eng. J.*, vol.2, no.1, pp. 25-32, 2017.
- [3] Thai Standards Institution, Test Method of Performance of Small Size Diesel Engines for Land Use Thai Standards Institution, TIS 787-2551, 2551.
- [4] E. Jiaqiang, T. Liu, W.M. Yang, J. Li, J. Gongand and Y. Deng, " Effects of fatty acid methyl esters proportion on combustion and emission characteristics of a biodiesel fueled diesel engine," *Energy Conversion and Management*, vol.159, pp.244-253, 2021.
- [5] E. Jiaqiang, M. Pham, Y. Deng, T. Nguyen, V. Duy, D. Le, W. Zuo, Q. Peng and Z. Zhang, " Effects of injection timing and injection pressure on performance and exhaust emissions of a common rail diesel engine fueled by various concentrations of fish-oil biodiesel blends," *Energy*, vol.149, pp.179-189, 2021.
- [6] JISB 8018, Japanese Industrial Standard Test Method of Performance of Small Size Diesel Engine of Land Use, 1998.
- [7] M. Pirunkaset, Internal Combustion Engines. Bangkok: SE-Ed., 2001.
- [8] Willard W. Pulkkrabek, *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. United states of America: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [9] L. Suprachai, R. Isra and K. Saiprakit, " Study of Energy Efficiency for Single Cylinder Small Engine," *J RMUTP Research Spinal*, vol.6] no.2, pp.156-166, 2013.
- [10] K. Neramit, D. Chaiyot, T. Channarong, "Study on the Performance of Small Size Diesel Engine Using Fish Oil Blended with Biodiesel as Fuel," *J Industrial Technology*, vol.17, no. 3, pp.99-112, 2021.
- [11] F. Pratuang, P. Kaninb, P. Bodeesorn , N. Puttipong, " A Comparative Study on Engine Performance of Modified Diesel Engine with Dual

Biogas and Pure Biogas Fuel,” *J RMUTL Eng*, vol. 2, no. 3, pp.25-35, 2017.

- [12] J.N. Nair, A.K. Kaviti and A. K. Daram, “ Analysis of performance and emission on compression ignition engine fueled with blends of Neem biodiesel.” *J Petroleum*, vol. 26, no.4, pp.927-931, 2017.

## การทวนสอบเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าด้วยการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง

### Verification of Measuring Electrical Instruments by Evaluating Measurement Uncertainty for Use in Simulated Calibration Laboratory

ฉลอง โสตาบัน<sup>1\*</sup> ประสาน คำดีผล<sup>1</sup> ธงชัย เพ็งจันทร์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ศูนย์แห่งความยอดเยี่ยมทางวิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

63 หมู่ 7 ถนนรังสิตนครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Chalong Sodaban<sup>1\*</sup> Prasan Khamdeephol<sup>1</sup> Thongchai Pangjundee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Excellent Center for Sustainable Engineering (ECSE), faculty of Engineering, Srinakharinwirot University,  
63, M.7, Rangsit-Naknon Nayok Rd., Ongkharak, Nakhon Nayok, 26120

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of  
Technology Thunyaburi, 39 Moo 1, Klong 6, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

\*Corresponding author Email: Chalongs@swu.ac.th

(Received: August 6, 2024; Revised: October 21, 2024 ; Accepted: November 20, 2024)

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการทวนสอบเครื่องมือวัดด้วยการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดสำหรับใช้ใน  
ห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง โดยกำหนดเงื่อนไขห้องปฏิบัติการให้มีสภาวะแวดล้อมและปัจจัยบังคับให้มีความ  
ใกล้เคียงกับห้องสอบเทียบมาตรฐานมากที่สุด เพื่อดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าให้เกิดความเชื่อมั่นและ  
ความน่าเชื่อถือของผลการวัดก่อนนำไปใช้งาน สำหรับหน่วยงานที่ขาดแคลนงบประมาณผูกพัน ในการส่งเครื่องมือ  
มาตรฐานไปสอบเทียบกับห้องสอบเทียบมาตรฐานภายนอก (อ้างอิง ISO/IEC 17025 : 2017) แล้วดำเนินการทวนสอบ  
เครื่องมือวัดภายใต้การสอบเทียบอ้างอิงกระบวนการสอบเทียบมาตรฐานและประเมินค่าความไม่แน่นอนตามข้อกำหนด  
เพื่อเทียบเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ภายหลังการสอบเทียบ หรือการตัดสินใจกระบวนการอื่น ผลจากการ  
ดำเนินการสามารถยืนยันผลของการวัดและเป็นหลักฐานว่า เครื่องมือวัดทำงานถูกต้องและแม่นยำตามเกณฑ์กำหนด โดย  
ไม่ต้องสิ้นเปลืองงบประมาณ ในการส่งอุปกรณ์มาตรฐานไปสอบเทียบกับหน่วยงานภายนอก ได้ข้อมูลสำหรับการ  
เรียนการสอนวิชาเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า หัวข้อการสอบเทียบเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ตลอดจนการตัดสินใจเกี่ยวกับการ  
การใช้งาน การเฝ้าระวังผลการวัด ปรับแต่ง หรือการใช้งานเครื่องมือวัด รวมถึงการวางแผนงบประมาณเกี่ยวกับงานมาตรวัด  
วิทยาสำหรับประยุกต์ใช้ในห้องปฏิบัติการอื่นได้อีกด้วย

**คำสำคัญ:** การทวนสอบ การประเมินค่าความไม่แน่นอน ห้องสอบเทียบจำลอง ห้องสอบเทียบมาตรฐาน เกณฑ์  
ความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้

## ABSTRACT

This paper presents the verifying measurement method by evaluating measurement uncertainty for simulate calibration laboratory that specify laboratory conditions to have environmental conditions and other factors that are as close to a standard calibration room as possible. The reliable calibration of electrical measuring instruments is significant for agencies that lack the budget to send the electrical instruments to calibrate with external standards calibration laboratories (refer to ISO/IEC 17025: 2017). This research will validate the measuring instruments under calibration concerning the standard calibration process and evaluate the uncertainty according to the requirements to determine the maximum acceptable tolerance after calibration. This research can confirm the reliability of the measurement and provide evidence that the measuring instrument is working correctly and precisely according to the specified criteria without wasting a budget In sending standard equipment to be compared with outside agencies. In addition, obtaining information for teaching the measurement subject, making decisions about measuring precautions, customizing or refraining from using the measuring device, and budget planning for metrology work for use in other laboratories.

**Keyword:** Verify, evaluation of uncertainty, simulation calibration room, standard calibration room, maximum permissible error.

## 1. บทนำ

การวัดค่าปริมาณต่างๆ สำหรับใช้ในการบ่งชี้ค่าเพื่อบอกถึงปริมาณ ขนาด ความเร็ว อุณหภูมิ และปริมาณอื่นๆ นับเป็นขบวนการที่มีใช้กันมาอย่างยาวนานทั้งในอดีตจนถึงปัจจุบัน ในสมัยโบราณมนุษย์ใช้การวัดและการคำนวณควบคู่กับการดำรงอยู่มาโดยตลอด หากแต่ไม่ได้มีหนังสือและตำราเขียนเพื่อนำเสนอไว้เท่านั้น มนุษย์เริ่มใช้สรีระร่างกายเป็นหน่วยการวัดสำหรับเริ่มต้น เช่น คืบ วา ศอก และมีวิวัฒนาการเพื่อพัฒนาสำหรับใช้ซื้อขาย แลกเปลี่ยนสิ่งของเครื่องใช้เพื่อแปลงหน่วยวัดสำหรับดำเนินชีวิต ต่อมารูปแบบวิธีการวัดปริมาณต่างๆ ได้มีการพัฒนาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามความเหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงในหลายรูปแบบ การพัฒนาดังกล่าวมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเรื่อยมาให้เหมาะกับยุคสมัย รวมถึงเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย เครื่องมือวัดปริมาณต่างๆ จึงได้ถูกกำเนิดขึ้นเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงให้เกิดภาวะสมดุลย์ สำหรับมนุษยชาติ สิ่งที่มาคือการพัฒนาการวัดและขบวนการวัดยังต้องการ

ความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยหากการวัดหรือวิธีการวัดมีความถูกต้องแม่นยำ น่าเชื่อถือมากขึ้น จะก่อให้เกิดคุณประโยชน์มูลค่ามหาศาล แต่ในทางกลับกัน หากเครื่องมือวัดและกระบวนการวัดมีความผิดพลาดคลาดเคลื่อนจากค่าจริงที่ทำให้การวัดอาจก่อให้เกิดความเสียหายในปริมาณที่มหาศาลได้เช่นกัน ดังนั้น เครื่องมือวัดและกระบวนการวัดจึงเป็นหัวใจสำคัญอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการอื่นๆ เช่น การวัดสามารถบอกปริมาณที่ใช้ควบคุมกระบวนการผลิต หากการวัดเกิดค่าผิดพลาด การผลิตสินค้าอาจเกิดความเสียหายต่อเนื่องซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิต ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงกับความต้องการเกิดความขัดแย้งระหว่างคู่ค้า มีข้อพิพาทเกิดขึ้นตามมา หรือหากพิจารณาเรื่องความปลอดภัยหากเครื่องมือวัดหรือกระบวนการวัดผิดพลาดคลาดเคลื่อนอาจส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้ เช่น เครื่องวัดความเร็วของรถยนต์อ่านค่าผิดพลาดจากค่าจริงการขับซิ่งรถยนต์อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ขับขี่ได้เป็นต้น การควบคุมคุณภาพการวัดให้มีความถูกต้อง แม่นยำ น่าเชื่อถือ จึงเป็นกระบวนการที่

สำคัญเพื่อให้แน่ใจว่าผลของการวัดจะต้องแม่นยำอยู่เสมอ โดยวิธีการควบคุมคุณภาพการวัดที่มีอยู่ด้วยกันหลากหลายวิธี เช่น การบำรุงรักษา การจัดเก็บที่ถูกต้อง การปรับแต่งเครื่องมือวัด การเปลี่ยนเมื่อครบอายุการใช้งาน การสอบเทียบขณะใช้งานหรือเมื่อครบรอบเวลาใช้งาน และอื่นๆ อีกมาก โดยหน่วยงานหรือองค์กรต่างๆ มักเลือกเอาวิธีการที่เหมาะสมกับหน่วยงานขององค์กร โดยวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายคือ การสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration) ทั้งนี้เพราะการสอบเทียบเครื่องมือวัด สามารถดำเนินการได้เองทั้งภายในและภายนอกองค์กร การดำเนินการมีงบประมาณไม่สูงมากนัก และสามารถดำเนินการตามความสามารถของบุคลากรภายใน สามารถวางแผน ปรับเปลี่ยน ปรับแก้ และจัดการกิจกรรมการสอบเทียบที่เหมาะสมกับภาระกิจขององค์กร

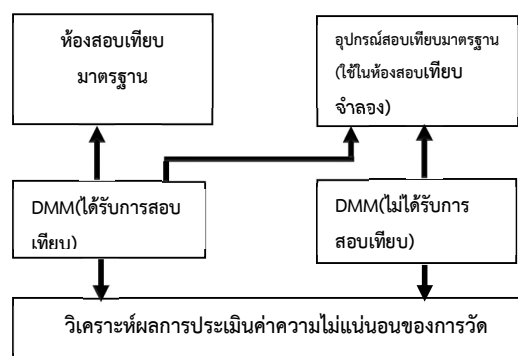
สำหรับบทความนี้นำเสนอวิธีการทวนสอบเครื่องมือวัดด้วยการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง [1] มุ่งเน้นการนำเสนอกรอบแนวคิดการสร้างห้องปฏิบัติการจำลองขึ้น โดยกำหนดข้อจำกัดอ้างอิงมาตรฐานกับห้องสอบเทียบมาตรฐานเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการตัดสินใจใช้งานเครื่องมือวัด หรือกิจกรรมอื่นในการควบคุมคุณภาพของการวัดให้ถูกต้องแม่นยำเสมอ สำหรับใช้กับการเรียนการสอนและพัฒนาใช้กับเครื่องมืออุปกรณ์การวัดทางไฟฟ้า แล้วนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องวัดชนิดอื่น ให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์ของการวัด เช่น ให้เกิดความน่าเชื่อถือกับเครื่องมือวัดหากต้องนำไปใช้เพื่องานวิจัยหรืองานพัฒนาอื่น สำหรับห้องปฏิบัติการที่มีความเกี่ยวข้อง และสามารถลดงบประมาณในการดำเนินการให้องค์กรด้วย

## 2. หลักการและทฤษฎีอ้างอิง

### 2.1 กรอบแนวคิด

บทความนี้นำเสนอกรอบแนวคิด ระเบียบวิธีการสอบเทียบเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า อ้างอิงหลักการมาตรฐานวัดวิทยา โดยกำหนดรูปแบบการสอบเทียบที่พัฒนาขึ้นเองเพื่อใช้สำหรับห้องปฏิบัติการภายใน (Inhouse) เป็นรูปแบบเฉพาะอ้างอิงมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017 [2] และ

ข้อกำหนด GUM 3003 [3],[4],[5] กล่าวคือ กรอบแนวคิดนี้มุ่งเน้นให้ได้รูปแบบการสอบเทียบสำหรับใช้เฉพาะในองค์กร เนื่องจากเครื่องมือมาตรฐานที่มีอยู่ขาดแคลนงบประมาณดำเนินการต่อเนื่องจึงทำให้เครื่องมือมาตรฐานไม่ได้รับการสอบกลับมาเป็นเวลาหลายปี การนำมาใช้ในการเรียนการสอนก็ดำเนินการมาโดยตลอด ดังนั้นวิธีการที่นำเสนอจึงเป็นการแก้ปัญหาเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นสำหรับการวัดเพื่อใช้สำหรับการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการ โดยกำหนดให้มีเงื่อนไขจำเพาะบังคับให้มีความใกล้เคียงกับห้องสอบเทียบมาตรฐานเป็นต้นแบบ และอ้างอิงกับมาตรฐานห้องปฏิบัติการให้มีองค์ประกอบจำเป็นที่สามารถกำหนดได้ให้ใกล้เคียงกับห้องสอบเทียบมาตรฐานให้มากที่สุด แล้วกำหนดให้ผู้เขียนปฏิบัติงานเป็นผู้สอบเทียบและอ้างอิงข้อกำหนดมาตรฐานหัวข้อ 6.2 ด้านบุคลากร 6.3 ด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและภาวะแวดล้อม 6.4 ด้านเครื่องมือ โดยประมาณค่าความไม่แน่นอน ร่วมกับการดำเนินการกิจกรรมหัวข้อ 7.3 การชักตัวอย่าง 7.6 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด ตามข้อกำหนด [2] เป็นกรอบแนวคิดหลัก ทั้งนี้กรอบแนวคิดนี้นำเสนอเพื่อใช้สำหรับกิจกรรมการเรียนการสอนในรายวิชาเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าหัวข้อการสอบเทียบเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าโดยวิธีการดังกล่าวไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในการขอรับรองมาตรฐานใดๆ รวมถึงไม่ได้นำไปอ้างอิงกับห้องแลปปฏิบัติการแบบอื่นและไม่ได้ทำกิจกรรมเชิงการค้า ดังแสดงกรอบแนวคิดไว้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดที่นำเสนอ

จากกรอบแนวคิดที่นำเสนอองค์ประกอบหลักที่ต้องมีคือ เครื่องวัดที่นำมาสอบเทียบ (Unit Under Calibration) กับอุปกรณ์มาตรฐาน (Master Calibration) [6] โดยกลวิธีที่นำเสนอจำเป็นต้องประกอบด้วยส่วนประกอบสองส่วนหลัก คือ

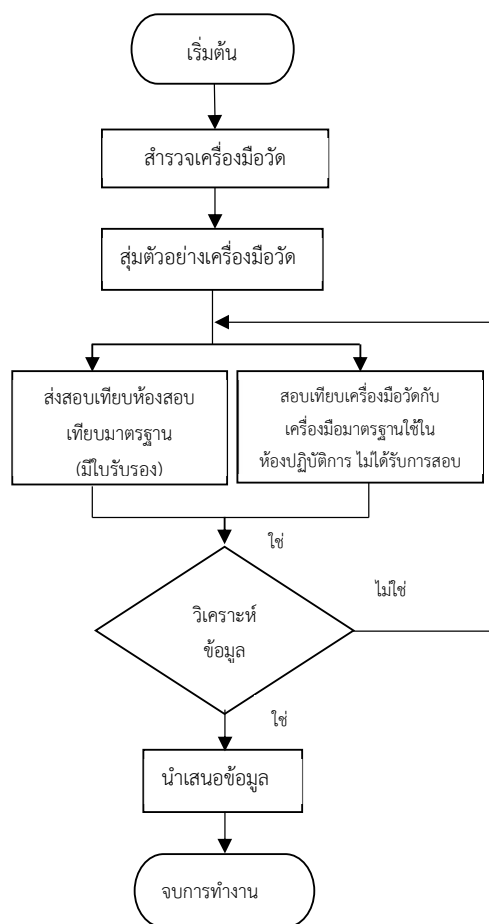
#### 2.1.1 ห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลองเป็นส่วนสำคัญอย่างมากเพื่อที่จะยืนยันผลการวัดให้มีค่าความถูกต้องแม่นยำเป็นที่น่าเชื่อถือ ตามมาตรฐานกำหนด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องบังคับให้กำหนดเงื่อนไข สภาวะแวดล้อมใดๆ ให้มีค่าใกล้เคียงกับห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐานให้มากที่สุด เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แรงดันบรรยากาศ ระดับคลื่นรบกวนและอื่นๆที่ส่งผลต่อการวัด

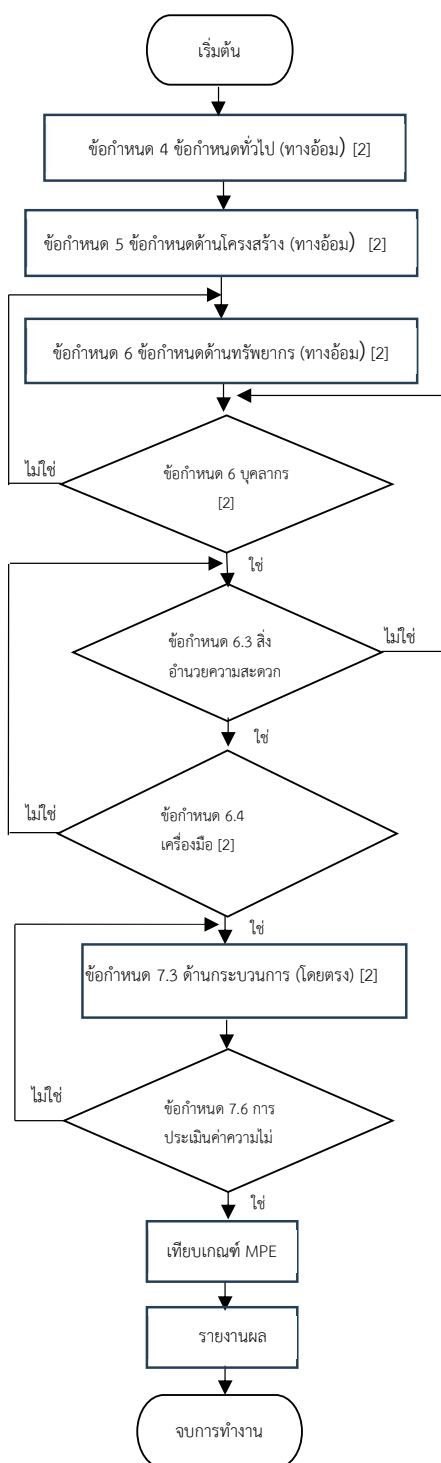
#### 2.1.2 บุคลากรผู้ปฏิบัติงาน

นอกเหนือจากคุณสมบัติของห้องปฏิบัติการแล้ว องค์ประกอบที่ต้องทำให้ได้รับการยอมรับคือ บุคลากรที่ต้องทำหน้าที่เป็น เจ้าหน้าที่สอบเทียบ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเป็นไปตามเงื่อนไขบังคับตามข้อกำหนดในมาตรฐาน [2] ซึ่งระบุในหัวข้อ 6.2 ด้านบุคลากร 6.3 ด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและภาวะแวดล้อม 6.4 ด้านเครื่องมือ และ 7.6 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด โดยระบุว่ากระบวนการสอบเทียบถูกยืนยันด้วยผลการสอบเทียบจะต้องสามารถทวนสอบได้ หมายถึง ค่าบ่งชี้ใดๆ ที่ถูกพิจารณาภายใต้สภาวะการวัดที่ถูกต้องควรพิจารณาร่วมกัน [7],[8] ตามเอกสารการวัดโดยมีองค์ประกอบทั้งสองส่วนเป็นหลัก กรอบแนวคิดที่นำเสนอไว้ในรูปที่ 1 ปัญหาหลักคือเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการเรียนการสอนอยู่ในปัจจุบันไม่เคยได้รับการสอบกลับถึงมาตรฐานที่สูงกว่าและใช้งานมาแล้วเป็นเวลานานเนื่องจากขาดแคลนงบประมาณในการส่งไปสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการมาตรฐานภายนอกจึงไม่มีใบรับรองในการสอบเทียบเลยและหากส่งอุปกรณ์มาตรฐานไปสอบเทียบกับห้องสอบเทียบมาตรฐานภายนอกต้องมีงบประมาณค่อนข้างสูง

วิธีการนำเสนอคือส่งเครื่องมือวัดภายใต้การสอบเทียบไปสอบเทียบกับห้องสอบเทียบมาตรฐานภายนอกเพื่อลดงบประมาณให้น้อยลง สิ่งที่ได้คือมีใบรับรองการสอบเทียบสำหรับใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการทำการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดที่ใช้งานอยู่เดิมอีกตัวหนึ่งทำการสอบเทียบภายใต้เงื่อนไขห้องปฏิบัติการเดียวกัน วิธีการเดียวกัน เจ้าหน้าที่สอบเทียบคนเดียวกัน และวันเวลาเดียวกัน ดังแสดงในผังการดำเนินการในรูปที่ 2 และอ้างอิงข้อกำหนดมาตรฐานห้องปฏิบัติการตามรูปที่ 3

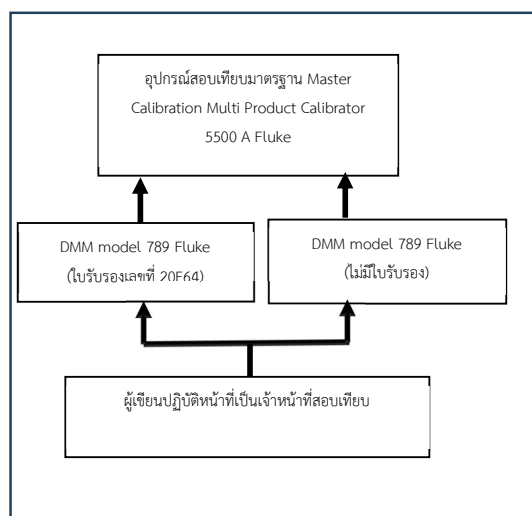


รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินการตามกรอบแนวคิด

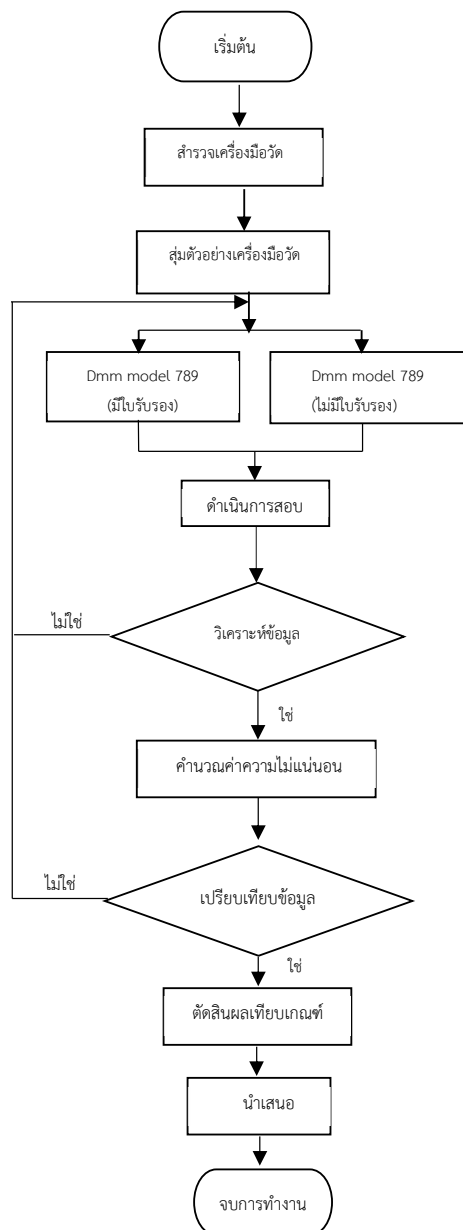


รูปที่ 3 ผังการดำเนินการอ้างอิงตามข้อบังคับมาตรฐานที่กำหนด

การดำเนินการตามกรอบที่นำเสนอ ใช้เครื่องมือมาตรฐานคือ อุปกรณ์ Multi product Calibrator ยี่ห้อ Fluke โมเดล 5500A Extended Specificity 2005 และ อุปกรณ์ภายใต้การทดสอบคือ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ โมเดล 789 ยี่ห้อ Fluke จำนวนสองตัว คือ ตัวที่หนึ่งส่งไปสอบเทียบกับห้องสอบเทียบมาตรฐานเพื่อให้ได้ใบรับรอง (เลขที่ 20E64 ออกโดย Technology Promotion Association (Thailand-Japan) ออกเมื่อวันที่ 16 มกราคม 2024) ตัวที่สองเป็นมัลติมิเตอร์โมเดลเดียวกันและใช้งานอยู่ในห้องปฏิบัติการอยู่แล้ว จากนั้นทำการทวนสอบเพื่อยืนยันผลว่าอุปกรณ์ภายใต้การสอบเทียบทั้งสองตัวมีผลการสอบเทียบแตกต่างกันอย่างไร โดยระบุค่าความไม่แน่นอนของแหล่งที่มาที่ได้จากเครื่องมือทั้งสองตัวแล้วทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินผลสำหรับพิจารณาว่าค่าที่ได้สำหรับกิจกรรมอื่นต่อไปดังแสดงในรูปที่ 4 และผังการดำเนินการในรูปที่ 5



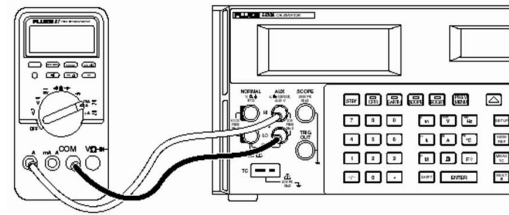
รูปที่ 4 กระบวนการสอบเทียบภายใต้การดำเนินการของห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง



รูปที่ 5 ผังการดำเนินการตามกรอบแนวคิดที่นำเสนอ

## 2.2 ขั้นตอนและวิธีการสอบเทียบ

วิธีการดำเนินการคือ ทำการทวนสอบเครื่องมือวัด ภายใต้การสอบเทียบทั้งสองตัวเพื่อนำค่าที่ได้มา เปรียบเทียบกันโดยใช้วิธีการกำหนดพารามิเตอร์จาก แหล่งความไม่แน่นอนจากข้อมูลทั้งสองชุด ตามรูปที่ 6 และกำหนดเงื่อนไขสถานะแวดล้อมอ้างอิงข้อกำหนดตาม รูปที่ 7



รูปที่ 6 วงจรการสอบเทียบเครื่องมือวัด



รูปที่ 7 รูปการทวนสอบเครื่องมือวัดจริง

การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัด อ้างอิง ข้อกำหนดมาตรฐานหลักขอ ISO/IEC 17025 : 2017 หัวข้อ 6.4 และ 7.6 เป็นหลัก โดยพิจารณาอ้างอิง ข้อกำหนด M3003 สำหรับรายงานความเชื่อมั่นตามลำดับ ความเชื่อมั่น 95% คือหากปริมาณที่ถูกวัด  $y$  เป็นปริมาณ ทางออก ตัดสินค่าปริมาณทางเข้า คือ  $x$  ฟังก์ชันของ ความสัมพันธ์ที่ได้ตั้งสมการที่ 1 โดยในทางปฏิบัติ ค่าที่ใช้ พิจารณาแสดงในสมการที่ 2

$$y = f(x_1 + x_2 + x_3 \dots \dots \dots x_n) \quad (1)$$

$$x = y \pm Uc(y) \quad (2)$$

หากกรณีพิจารณาจากกรอบแนวคิดที่นำเสนอจะได้ตั้ง สมการที่ 3 และความสัมพันธ์ของกระบวนการวัดตั้ง สมการที่ 4

$$V_x = V_{sta} + \text{ค่าความไม่แน่นอนจากแหล่งต่าง} \quad (3)$$

เมื่อ  $V_x$  คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่าย

$V_{sta}$  คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ DMM อ่านได้

$$V_x = V_{std} + \delta V_{std} + \delta V_{emf} + \delta V_{res} + \delta V_x \quad (4)$$

เมื่อ  $V_x$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายของ  
อุปกรณ์มาตรฐาน

$V_{std}$  คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ DMM อ่านได้

$\delta V_{std}$  คือ ค่าความไม่แน่นอนของ DMM ที่  
ได้จากใบรับรอง

$\delta V_{emf}$  คือ ผลกระทบของอุณหภูมิเนื่อง  
จาก EMF

$\delta V_{res}$  คือ ค่าผิดพลาดจากผลของความ  
ละเอียดของ DMM

$\delta V_x$  คือ ค่าการวัดซ้ำของอุปกรณ์ภายใต้  
การสอบเทียบ UUC

โดยค่าความไม่แน่นอนสามารถแบ่งออกเป็น Type A  
ที่ความเชื่อมั่น 68% ภายใต้พิสัยค่าจริงตามสมการที่ 5  
สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของผลการวัดตามข้อแนะนำของ  
[8] โดยการทำซ้ำ 4-10 ครั้ง ดังสมการที่ 6 ส่วนเบี่ยงเบน  
มาตรฐานการวัดดังสมการที่ 7 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่า  
กลางดังสมการที่ 8 และ ความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type  
A ดังสมการที่ 9 ตามลำดับ

$$y = \bar{x} \pm u \quad (5)$$

เมื่อ  $y$  คือ ค่าจริงของการวัด

$\bar{x}$  คือ ค่ากลางของการวัด

$u$  คือ ค่าความไม่แน่นอนของการวัด

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (6)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

$$s(\bar{x}) = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

$$U_A = U(x_i) = s(\bar{x}) \quad (9)$$

การกำหนดแหล่งที่มาของแต่ละแหล่ง ผู้ประเมิน  
จำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลแหล่งที่มาให้ครอบคลุมทุก  
องค์ประกอบเพื่อนำมาเป็นข้อมูลของแหล่งความไม่  
แน่นอน Type B โดยควบคุมข้อแนะนำที่กำหนดโดย [9]  
ดังสมการที่ 10 และสมการที่ 11 จากนั้นหาค่าความไม่  
แน่นอนขยายจากสมการที่ 12 เพื่อหาตัวประกอบ  
ครอบคลุมจากสมการที่ 13 ให้สามารถขยายค่าความไม่  
แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์จากสมการที่ 14 สำหรับใช้  
ขยายค่าความไม่แน่นอนเพื่อใช้ในใบรายงานผลรับรอง  
อ้างอิงผลพิจารณาที่ความเชื่อมั่น 95% ดังสมการที่ 15

$$y = U_a + U_{b1} + U_{b2} + U_{b3} + U_{b4} + U_{b5} + U_{b6} \quad (10)$$

เมื่อ

$U_A$  คือ การคำนวณผลการวัดซ้ำ  $V_{sta}$

$U_{b1}$  คือ ค่าความละเอียดของอุปกรณ์มาตรฐาน

$U_{b2}$  คือ ค่าการเลื่อนค่าของ Std(Drift of Std)  
Source

$U_{b3}$  คือ ค่าหลักที่เล็กที่สุดของตัวเครื่องทดสอบ  
(Resolution of Std) Source

$U_{b4}$  คือ ค่าหลักที่เล็กที่สุดของการทดสอบ  
(Resolution of UUC)

$U_{b5}$  คือ ผลการเชื่อมต่อจากสาย  
(Cable Lead Resistance)

$U_{b6}$  คือ ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากการสาย  
ตัวนำที่เชื่อมต่อการวัดและความไม่แน่นอนรวม

$$u_{c(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u^2(x_i)} = \sqrt{u_a^2 + u_b^2} \quad (11)$$

$$U = Kuc(y) \quad (12)$$

$$V_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{c_i^4 u_i^4(y)}{v_i}} \quad (13)$$

$$U_E = K \times U_C \quad (14)$$

$$U_R = U_E \times C \quad (15)$$

เมื่อ  $U_E$  คือ ค่าความไม่แน่นอนขยาย 95%

$C$  คือ ค่าที่วัดได้เปลี่ยนจากการวัดซ้ำ  $\bar{x}$

สำหรับกรอบแนวคิดที่นำเสนอจะแยกการพิจารณาแหล่งที่มาเป็น 2 กรณีตามข้อมูลของเครื่องมือทั้ง 2 ตัว ดังนี้

กรณีที่ 1 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัดของอุปกรณ์ ภายใต้การทดสอบที่มีใบรับรองผลการสอบเทียบดังสมการที่ 10 เป็นดังต่อไปนี้

$U_A$  คือ การคำนวณผลการวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้ง

$U_{b1}$  คือ นำค่าความไม่แน่นอนจากใบรับรองผลมาคำนวณเนื่องจากมีค่าความแม่นยำของอุปกรณ์มาตรฐานของอุปกรณ์สอบเทียบภายนอกซึ่งเราไม่ทราบค่าแต่ระบุมากับใบรายงานผล

$U_{b2}$  คือ ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของอุปกรณ์ภายใต้การสอบเทียบ (UUC)

$U_{b3}$  คือ ค่าความละเอียด (Resolution) ของอุปกรณ์มาตรฐาน (Master)

$U_{b4}$  คือ ค่าความละเอียด (Resolution) ของภายใต้การทดสอบ (UUC)

$U_{b5}$  คือ ค่าการเลื่อนค่า/ค่าความเสถียร (Drift/stench) ของอุปกรณ์มาตรฐาน(Master)

กรณีที่ 2 การคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัดของอุปกรณ์ ภายใต้การทดสอบที่ไม่มีใบรับรองผลการสอบเทียบ ดังสมการที่ 10 เป็นดังต่อไปนี้

$U_A$  คือ การคำนวณผลการวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้ง

$U_{b1}$  คือ คือค่าความแม่นยำของอุปกรณ์มาตรฐาน โดยกำหนดจากเครื่องมือผู้ผลิต

$U_{b2}$  คือ ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของอุปกรณ์ภายใต้การสอบเทียบ (UUC)

$U_{b3}$  คือ ค่าความละเอียด (Resolution) ของอุปกรณ์มาตรฐาน (Master)

$U_{b4}$  คือ ค่าความละเอียด (Resolution) ของอุปกรณ์ภายใต้การทดสอบ (UUC)

$U_{b5}$  คือ ค่าการเลื่อนค่า/ค่าความเสถียร (Drift/stench) ของอุปกรณ์มาตรฐาน (Master)

สำหรับการตัดสินผลการทวนสอบจะพิจารณาอ้างอิงตามข้อแนะนำของ ILAC-G8 [10] และ ISO 12012 [11] โดยกำหนดเกณฑ์การยอมรับสูงสุดจากข้อมูลของผู้ผลิต [12] ซึ่งระบุข้อมูล (Accurcecy/Stability) กำหนดดังสมการที่ 16

ค่าความผิดพลาด  $\pm$  ค่าความไม่แน่นอน  $\leq$  เกณฑ์การยอมรับได้สูงสุด

$$\text{Error} \pm \text{Uncertainty} \leq \text{MPE} \quad (16)$$

สมการที่ 16 ถูกนำมาตัดสินผลการทวนสอบเพื่อนำไปตัดสินเกี่ยวกับการใช้งานเครื่องมือวัด ได้แก่ การใช้งานเครื่องมือวัดต่อไปหรือปรับแต่งหรือซ่อมแซมหรือลดเกรดหรือยกเลิกการใช้งาน

### 3. ผลการสอบเทียบ

ผลการสอบเทียบนำเสนอผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดด้วยการทวนสอบอุปกรณ์ภายใต้การสอบเทียบของอุปกรณ์ทั้งสองตัว เพื่อเปรียบเทียบผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนสำหรับอ้างอิงความน่าเชื่อถือของผลการวัดโดยแบ่งย่านวัดออกเป็น ย่านแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ย่านแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ย่านกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ย่านกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ และย่านวัดค่าความ

ด้านทาน พิจารณาข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้ง ใช้สำหรับคำนวณค่าความไม่แน่นอน Type A และ พิจารณาแหล่งความไม่แน่นอน Type B ตามข้อมูลจากข้อกำหนด ผลการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

### 3.1 ผลการสอบเทียบย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC voltage Measurement)

ผลการสอบเทียบย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่มีใบรับรองการสอบเทียบและไม่มีใบรับรองการสอบเทียบแสดงในตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และรูปที่ 9

### 3.2 ผลการสอบเทียบย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage Measurement)

ผลการสอบเทียบย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีใบรับรองการสอบเทียบและไม่มีใบรับรองการสอบเทียบแสดงในตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และรูปที่ 10

### 3.3 ผลการสอบเทียบย่านวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current Measurement)

ผลการสอบเทียบย่านวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่มีใบรับรองการสอบเทียบและไม่มีใบรับรองการสอบเทียบแสดงในตารางที่ 5 และตารางที่ 6

### 3.4 ผลการสอบเทียบย่านวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (AC Current Measurement)

ผลการสอบเทียบย่านวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่มีใบรับรองการสอบเทียบและไม่มีใบรับรองการสอบเทียบแสดงในตารางที่ 7 ตารางที่ 8

### 3.5 ผลการสอบเทียบย่านวัดความต้านทาน (Resistant Measurement)

ผลการสอบเทียบย่านวัดความต้านทาน(Resistant Measurement) ที่มีใบรับรองการสอบเทียบและไม่มีใบรับรองการสอบเทียบแสดงในตารางที่ 9 ตารางที่ 10 และรูปที่ 11

### 3.6 ผลการสอบเทียบเกณฑ์ยอมรับค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ (MPE)

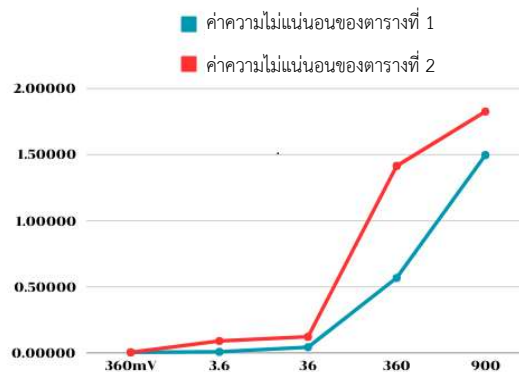
ผลการสอบเทียบเกณฑ์ยอมรับค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ (MPE) ที่มีใบรับรองการสอบเทียบและไม่มีใบรับรองการสอบเทียบแสดงในตารางที่ 11 ถึงตารางที่ 14

ตารางที่ 1 ผลประเมินค่าความไม่แน่นอนย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีใบรับรองการสอบเทียบ

| Range(V)  | Applied Input (V) | UUC Reading (V) | Difference | Calibration Uncarts ± (V) |
|-----------|-------------------|-----------------|------------|---------------------------|
| 400 mV    | 360.000 mV        | 360.024 mV      | 0.024 mV   | ± 0.00448 mV              |
| 4.00 V    | 3.600 V           | 3.624 V         | 0.024 V    | ± 0.00761 V               |
| 40.000 V  | 36.000 V          | 36.220 V        | 0.220 V    | ± 0.043 V                 |
| 400.000 V | 360.000 V         | 362.600 V       | 2.600 V    | ± 0.568 V                 |
| 1000 V    | 900.000 V         | 904.000 V       | 4.000 V    | ± 1.497 V                 |

ตารางที่ 2 ผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่มีใบรับรองการสอบเทียบ

| Range (V) | Applied Input (V) | UUC Reading (V) | Difference | Calibration Uncarts ± (V) |
|-----------|-------------------|-----------------|------------|---------------------------|
| 400 mV    | 360.000 mV        | 360.034 mV      | 0.034 mV   | ± 0.00488 mV              |
| 4.00 V    | 3.600 V           | 3.634 V         | 0.034 V    | ± 0.091 V                 |
| 40.000 V  | 36.000 V          | 36.300 V        | 0.300 V    | ± 0.122 V                 |
| 400.000 V | 360.000 V         | 362.200 V       | 2.200 V    | ± 1.415 V                 |
| 1000 V    | 900.000 V         | 903.800 V       | 3.800 V    | ± 1.827 V                 |



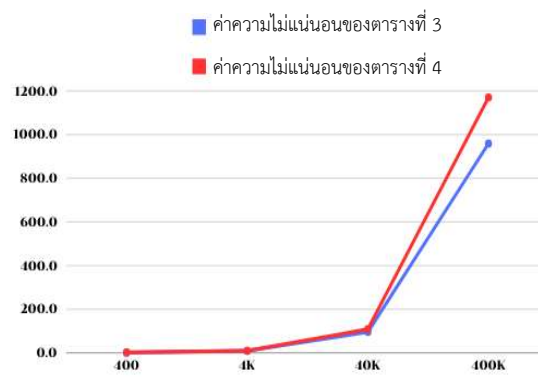
รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ภายใต้การสอบเทียบย่านแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ 3 ผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีใบรับรองผลการสอบเทียบ

| Range (V)  | Applied Input (V) | UUC Reading (V) | Difference | Calibration Uncerts $\pm$ (V) |
|------------|-------------------|-----------------|------------|-------------------------------|
| 400.000 mV | 360.000 mV        | 360.026 mV      | 0.026 mV   | 0.00025 mV                    |
| 4.000 V    | 3.600 V           | 3.630 V         | 0.030 V    | 0.0317 V                      |
| 40.000 V   | 36.000 V          | 36.200 V        | 0.200 V    | 0.317 V                       |
| 400.000 V  | 360.000 V         | 361.200 V       | 1.200 V    | 3.365 V                       |
| 1000.000 V | 900.000 V         | 904.40 V        | 4.400 V    | 9.60 V                        |

ตารางที่ 4 ผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ไม่มีใบรับรองผลการสอบเทียบ

| Range (V)  | Applied Input (V) | UUC Reading (V) | Difference | Calibration Uncerts $\pm$ (V) |
|------------|-------------------|-----------------|------------|-------------------------------|
| 400.000 mV | 360.000 mV        | 360.0212mV      | 0.012 mV   | 0.0098 mV                     |
| 4.000 V    | 3.600 V           | 3.606 V         | 0.06 V     | 0.0381 V                      |
| 40.000 V   | 36.000 V          | 36.122 V        | 0.122 V    | 0.425 V                       |
| 400.000 V  | 360.000 V         | 361.200 V       | 1.200 V    | 3.313 V                       |
| 1000.000 V | 900.000 V         | 904.200 V       | 4.200 V    | 9.526 V                       |



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ภายใต้การสอบเทียบ

ตารางที่ 5 ผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนย่านการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่มีใบรับรองผลการสอบเทียบ

| Range (V) | Applied Input (V) | UUC Reading (V) | Difference | Calibration Uncarts $\pm$ (V) |
|-----------|-------------------|-----------------|------------|-------------------------------|
| 4.000 mA  | 27.000 mA         | 27.022 mA       | 0.022 mA   | $\pm 0.00462$ mA              |
| 40.000 mA | 390.000 mA        | 391.400 mA      | 1.400 mA   | 0.774 mA                      |

ตารางที่ 6 ผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนย่านการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่มีใบรับรองผลการสอบเทียบ

| Range (V) | Applied Input (V) | UUC Reading (V) | Difference | Calibration Uncarts $\pm$ (V) |
|-----------|-------------------|-----------------|------------|-------------------------------|
| 4.000 mA  | 27.000 mA         | 27.024 mA       | 0.024 mA   | 0.00533 mA                    |
| 40.000 mA | 390.000 mA        | 391.600 mA      | 1.600 mA   | 0.848 mA                      |

ตารางที่ 7 ผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนย่านการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่มีใบรับรองผลการสอบเทียบ

| Range (V) | Applied Input (V) | UUC Reading (V) | Difference | Calibration Uncarts $\pm$ (V) |
|-----------|-------------------|-----------------|------------|-------------------------------|
| 0.400 mA  | 0.100 mA          | 1.000 mA        | 0.000 mA   | 0.00000898 mA                 |
| 0.440 mA  | 0.390 mA          | 391.400 mA      | 1.400 mA   | 0.488 mA                      |

ตารางที่ 8 ผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนย่านการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ไม่มีใบรับรองผลการสอบเทียบ

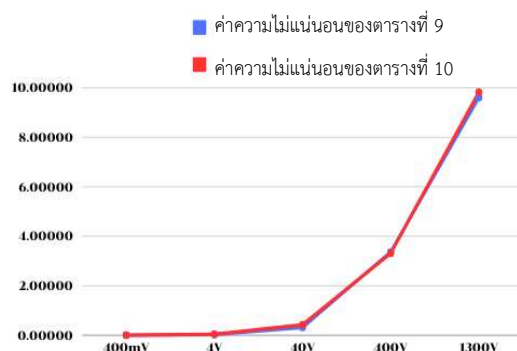
| Range (V) | Applied Input (V) | UUC Reading (V) | Difference | Calibration Uncarts $\pm$ (V) |
|-----------|-------------------|-----------------|------------|-------------------------------|
| 0.100 mA  | 0.100 mA          | 1.000 mA        | 0.000 mA   | 0.00000576 mA                 |
| 0.440 mA  | 0.390 mA          | 391.800 mA      | 1.8 mA     | 0.4 mA                        |

ตารางที่ 9 ผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนย่านการวัดความต้านทานที่มีใบรับรองการสอบเทียบ

| Range (V)         | Applied Input (V) | UUC Reading (V)   | Difference       | Calibration Uncarts $\pm$ (V) |
|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| 400.000 $\Omega$  | 360.000 $\Omega$  | 363.600 $\Omega$  | 3.600 $\Omega$   | 0.026 $\Omega$                |
| 4.000 k $\Omega$  | 3.600 k $\Omega$  | 3.630 k $\Omega$  | 0.030 k $\Omega$ | 9.537 k $\Omega$              |
| 40.000 k $\Omega$ | 36.000 k $\Omega$ | 36.300 k $\Omega$ | 0.300 k $\Omega$ | 108.48 k $\Omega$             |
| 400.00 k $\Omega$ | 360.00k $\Omega$  | 362.94 k $\Omega$ | 2.94 k $\Omega$  | 1170.59 k $\Omega$            |

ตารางที่ 10 ผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนย่านการวัดความต้านทานที่ไม่มีใบรับรองการสอบเทียบ

| Range (V)         | Applied Input (V) | UUC Reading (V)   | Difference       | Calibration Uncarts $\pm$ (V) |
|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| 400.000 $\Omega$  | 360.000 $\Omega$  | 363.340 $\Omega$  | 3.340 $\Omega$   | 1.4 $\Omega$                  |
| 4.000 k $\Omega$  | 3.600 k $\Omega$  | 3.626 k $\Omega$  | 0.026 k $\Omega$ | 9.5 k $\Omega$                |
| 40.000 k $\Omega$ | 36.000 k $\Omega$ | 36.260 k $\Omega$ | 0.260 k $\Omega$ | 95.8 k $\Omega$               |
| 400.00 k $\Omega$ | 360.00 k $\Omega$ | 360.16 k $\Omega$ | 0.16 k $\Omega$  | 959 k $\Omega$                |



รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ภายใต้การสอบเทียบ

ตารางที่ 11 ย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีใบรับรอง

| Rang   | Applied Input | UUC Reading | Error   | Uncertainty     | UUC+Ur+Unc | UUC-Ur-Unc | MPE (v) | Results |
|--------|---------------|-------------|---------|-----------------|------------|------------|---------|---------|
| 400 mV | 360 mV        | 360 mV      | 0.24mV  | $\pm 0.448$ mV  | 360.024    | 360.023    | 0.8 V   | Pass    |
| 4 V    | 3.6 V         | 3.624 V     | 0.024 V | $\pm 0.00761$ V | 3.6316     | 3.61639    | 0.4 V   | Pass    |
| 40 V   | 36 V          | 36.22 V     | 0.220 V | $\pm 0.043$ V   | 36.263     | 36.177     | 0.4 V   | Pass    |
| 400 V  | 360 V         | 362.6 V     | 2.600 V | $\pm 0.568$ V   | 363.168    | 362.032    | 4 V     | Pass    |
| 1000 V | 900 V         | 904.0 V     | 4.000 V | $\pm 1.149$ V   | 905.149    | 902.851    | 10 V    | Pass    |

ตารางที่ 12 ย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ที่ไม่มีใบรับรอง

| Rang   | Applied Input | UUC Reading | Error   | Uncertainty    | UUC+Ur+Unc | UUC-Ur-Unc | MPE (v) | Results |
|--------|---------------|-------------|---------|----------------|------------|------------|---------|---------|
| 400 mV | 360 mV        | 360 mV      | 0.34mV  | $\pm 0.488$ mV | 360.034    | 360.335    | 0.8 V   | Pass    |
| 4 V    | 3.6 V         | 3.634 V     | 0.034 V | $\pm 0.091$ V  | 3.6349     | 3.63309    | 0.4 V   | Pass    |
| 40 V   | 36 V          | 36.30 V     | 0.300 V | $\pm 0.122$ V  | 36.422     | 36.178     | 0.4 V   | Pass    |
| 400 V  | 360 V         | 362.2 V     | 2.200 V | $\pm 1.415$ V  | 363.615    | 360.785    | 4 V     | Pass    |
| 1000 V | 900 V         | 903.8 V     | 3.800 V | $\pm 1.827$ V  | 905.627    | 901.973    | 10 V    | Pass    |

ตารางที่ 13 ย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีใบรับรอง

| Rang   | Applied Input | UUC Reading | Error   | Uncertainty    | UUC+Ur+Unc | UUC-Ur-Unc | MPE (v) | Results |
|--------|---------------|-------------|---------|----------------|------------|------------|---------|---------|
| 400 mV | 360 mV        | 360 mV      | 0.26mV  | $\pm 0.025$ mV | 360.026    | 360.025    | 0.8 V   | Pass    |
| 4 V    | 3.6 V         | 3.630 V     | 0.030 V | $\pm 0.030$ V  | 3.6617     | 3.5983     | 0.1 V   | Pass    |
| 40 V   | 36 V          | 36.20 V     | 0.200 V | $\pm 0.200$ V  | 36.517     | 35.883     | 3.5 V   | Pass    |
| 400 V  | 360 V         | 361.2 V     | 1.200 V | $\pm 1.200$ V  | 364.565    | 357.835    | 10 V    | Pass    |
| 1000 V | 900 V         | 904.4 V     | 4.400 V | $\pm 4.400$ V  | 914.000    | 894.80     | 26 V    | Pass    |

ตารางที่ 14 ย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ไม่มีใบรับรอง

| Rang   | Applied Input | UUC Reading | Error   | Uncertainty   | UUC+Ur+Unc | UUC-Ur-Unc | MPE (v) | Results |
|--------|---------------|-------------|---------|---------------|------------|------------|---------|---------|
| 400 mV | 360 mV        | 360 mV      | 0.1 mV  | $\pm 0.9$ mV  | 360.298    | 360.011    | 0.18 V  | Pass    |
| 4 V    | 3.6 V         | 3.606 V     | 0.06 V  | $\pm 0.381$ V | 3.6441     | 3.5676     | 0.15 V  | Pass    |
| 40 V   | 36 V          | 36.12 V     | 0.122 V | $\pm 0.42$ V  | 36.546     | 35.697     | 3.05 V  | Pass    |
| 400 V  | 360 V         | 361.2 V     | 1.200 V | $\pm 3.31$ V  | 364.513    | 357.887    | 10.8 V  | Pass    |
| 1000 V | 900 V         | 904.2 V     | 4.200 V | $\pm 9.52$ V  | 913.726    | 894.674    | 26.3 V  | Pass    |

#### 4. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

##### 4.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการดำเนินการสอบเทียบผลที่ได้จากการทวนสอบยืนยันได้เป็นอย่างดีว่า สามารถนำกรอบแนวคิดที่นำเสนอไปใช้แก้ปัญหาของห้องปฏิบัติการที่ขาดแคลนงบประมาณสำหรับส่งเครื่องมือไปสอบเทียบกับหน่วยงานภายนอก และเป็นการยืนยันความใช้ได้ของเครื่องวัดก่อนนำไปใช้งานหรือหลังการสอบเทียบของอุปกรณ์ภายใต้การสอบเทียบ วิธีการสอบเทียบคือต้องกำหนดจุดสอบเทียบภายใต้ย่านการใช้งานสำหรับทำการวัดซ้ำให้ได้ ข้อมูลพื้นฐานในการประเมินค่าความไม่แน่นอน Type A โดยแบ่งย่านการวัดออกเป็น ย่านแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ย่านแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ย่านกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ย่านกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ย่านการวัดค่าความต้านทาน ผลที่ได้จากการทำซ้ำถูกนำไปหาค่าความไม่แน่นอน Type A สำหรับนำไปบันทึกไว้ในช่อง  $U_A$  ของตารางข้อมูล Type A ที่ระดับความเชื่อมั่น 68% จะพบว่าค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือภายใต้การสอบเทียบทั้งสองตัวมีค่าใกล้เคียงกันหรือมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยและสังเกตได้ว่า UUC ตัวที่ส่งไปสอบเทียบกับห้องมาตรฐาน (มีใบรับรอง) จะมีค่าน้อยกว่า UUC ตัวที่ไม่ได้ส่งไปสอบเทียบ (ไม่มีใบรับรอง) ในบางย่านการวัด กล่าวคือเป็นผลที่เกิดขึ้นได้เนื่องจากข้อจำกัดบางประการของห้องสอบเทียบจำลองอาจไม่ครอบคลุมเงื่อนไขที่ทำได้เมื่อเทียบกับห้องสอบเทียบมาตรฐานแต่อย่างไรก็ตามยังมีความใกล้เคียงกันอยู่พอสมควรจึงถือได้ว่าไม่มีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนต่อมาคือผลการประมาณค่าความไม่แน่นอน Type B คือประเมินค่าความไม่แน่นอนจากแหล่งต่างๆ ที่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาผลที่ได้คือ  $U_B$  คือผลรวมของแหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอนทั้งหมดก่อนนำไปรายงานผล ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 (ย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง) ตารางที่ 3 และตารางที่ 4 (ย่านการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ) ตารางที่ 5 และตารางที่ 6 (ย่านการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง) ตารางที่ 7 และตารางที่ 8 (ย่านการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ)

ตารางที่ 9 และตารางที่ 10 (ย่านการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากการรวม  $U_A$  และ  $U_B$  จึงถูกนำไปรายงานผลที่ค่าความเชื่อมั่น 95% พบว่ามีความใกล้เคียงกันและมีความแตกต่างกันเล็กน้อย (ดูจากกราฟความสัมพัทธ์ รูปที่ 8,9 และ 10 ) และสังเกตเห็นว่า UUC ที่ไม่มีใบรับรองซึ่งมีผลในลักษณะเดียวกันทุกย่านการวัด และสามารถยืนยันผลการใช้งานได้ของเครื่องมือเมื่อนำไปเทียบกับเกณฑ์การยอมรับจะพบว่า UUC ทั้งสองงานเกณฑ์การยอมรับทุกย่านและทุกช่วงดังแสดงตามตารางที่ 11,12,13,14 ตามลำดับ

##### 4.2 สรุปผลการทดลอง

การทวนสอบเครื่องมือวัดด้วยการประเมินความไม่แน่นอนของการวัด สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง เป็นแนวคิดที่นำเสนอเพื่อแก้ปัญหาเนื่องจากการขาดแคลนงบประมาณที่ต้องนำส่งเครื่องมือมาตรฐานไปสอบกลับมาตรฐานที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นข้อจำกัดของหน่วยงานที่ไม่ได้ดำเนินการเพื่อธุรกิจหรือเพื่อการค้า เช่น ในหน่วยงานราชการ หรือ สถานศึกษา เป็นต้น แนวทางที่นำเสนอนี้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการนำเครื่องมือมาตรฐานกลับมาใช้งานโดยที่เกิดความน่าเชื่อถือมากขึ้น สำหรับใช้ในการเรียนการสอน ทั้งนี้เพื่อยืนยันผลการวัดที่มีความน่าเชื่อถือและก่อให้เกิดความเชื่อมั่นในการนำผลการวัดไปใช้งานในกิจกรรมที่เกี่ยวข้องในเชิงมาตรฐาน โดยไม่ต้องใช้งบประมาณในการสอบกลับผลที่ได้คือได้ข้อมูลเชิงวิเคราะห์ มีขั้นตอนและวิธีการอ้างอิงกับมาตรฐานที่กำหนด และจัดการได้ภายใต้เงื่อนไขการดำเนินการของห้องสอบเทียบจำลองได้องค์ความรู้สำหรับการเรียนการสอน หรือประยุกต์ใช้กับงานอื่นที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนวางแผนเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือวัด เช่น การใช้งานเครื่องมือวัดต่อไป ปรับแต่ง ปรับแก้ ซ่อมแซมหรือลดเกรดการใช้งานรวมถึงยกเลิกการใช้งานเครื่องมือวัดนั้นต่อไป

## 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thai Industrial Standards Institute (TISI), TISI 17025-2017
- [2] National Institute of Metrology (Thailand), ISO/IEC 17025 : 2017
- [3] ISO/IEC 17025 : 2017 denial requirements for the competence of testing and calibration laboratories (Third edition) 2017-11 (English/version)
- [4] Thai Industrial Standards Institute (TISI), TISI GLA-23-00 (15/03/2562)
- [5] ISO Guide to Expression of Uncertainty in measurement (M 3003) United Kingdom Accreditation Service UKAS Edition 3 November 2012
- [6] National Institute of Metrology (Thailand) Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation (NIMT) Thailand website, [http:// www.nimt.or.th](http://www.nimt.or.th)
- [7] ISO Guide to the Expression of Uncertainty in measurement (GUM) Edition 5 September 2022
- [8] ISO international vocabulary of Metrology- Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM) GLA-26-00 (11/04/2564)
- [9] European Federation of national Associations of Measurement testing and Analytical Laborite Technical Report No. 1/2007 March 2007
- [10] ISO Guide to the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC-G8) Edition 3 September 2021
- [11] ISO 10012 Measurement management systems-requirement for measurement processes and measuring equipment
- [12] Fluke 5500A Multi-product Calibrator Operation Manual, Rev10, 4/03 ,Fluke Corporation, 2005

### รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Reader)

ต้นฉบับบทความวิจัยที่ตีพิมพ์วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 เดือน ตุลาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2567 ได้รับการตรวจสอบแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิดังรายนามต่อไปนี้

|     |                                               |                                                                                                                 |
|-----|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรารุณ สิริเกษมสุข      | สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล - ระบบราง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| 2.  | อาจารย์ ดร.อดิเทพ ศรีคงศรี                    | สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต                                                    |
| 3.  | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข       | สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ                                                        |
| 4.  | รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎางค์ ศุกระมูล           | สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์       |
| 5.  | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐศักดิ์ พรหมมาศ       | สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์                             |
| 6.  | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำพล วรดิษฐ์            | ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                                               |
| 7.  | ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพุกษ์                | คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ                          |
| 8.  | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์   | ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                                               |
| 9.  | รองศาสตราจารย์วิญญู แสงสิงนกสิกิจ             | สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต                                                   |
| 10. | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภูมิ สุวรรณภูมิ      | สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์                             |
| 11. | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เตชะวัชรภักย์กุล | ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี                                    |
| 12. | รองศาสตราจารย์ ดร.สมโพธิ อยู่ไว               | ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี                                     |

**คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความลงตีพิมพ์**  
**วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (วศ) เป็นวารสารที่ตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการ เพื่อเผยแพร่ความก้าวหน้าทางทฤษฎีและการทดลองในทุกสาขาวิศวกรรม ดัชนีบทความที่ส่งมายังกองบรรณาธิการ จะได้รับการประเมินโดยมีผู้ทรงคุณวุฒิ 3 คนตอบบทความ (Peer-review) และประเมินบทความในลักษณะเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความไม่ทราบชื่อผู้แต่งและผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ หรือ Double Blinded review วารสารตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี ในเดือน มีนาคม และ กันยายน เลขมาตรฐานสากลประจำวารสาร 2774-0269 (Online)

**1. การเตรียมต้นฉบับ**

- 1) เป็นบทความวิจัย หรือบทความวิชาการ ที่มีความยาวไม่ควรน้อยกว่า 7 หน้า และไม่ควรเกิน 10 หน้า กระดาษ A4 พิมพ์ห่างจากขอบกระดาษด้านซ้าย 1.25 นิ้ว ด้านอื่น ๆ 1 นิ้ว
- 2) เป็นบทความที่ไม่ได้อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของสื่อสิ่งพิมพ์อื่น ๆ และไม่เคยได้รับการตีพิมพ์ในวารสารใด ๆ มาก่อน
- 3) ต้องไม่มีการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น ไม่มีการลอกเลียน หรือดัดทอนผลงานวิจัยของผู้อื่นโดยที่ไม่ได้รับอนุญาตและมีการอ้างอิงที่เหมาะสม
- 4) ชนิดและขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun New ซึ่งขนาดตัวอักษร มีรายละเอียดดังนี้
  - 6.1) ชื่อบทความ ใช้ตัวอักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา
  - 6.2) ชื่อ-สกุลผู้เขียนบทความ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวปกติ
  - 6.3) หัวข้อหลัก ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา
  - 6.4) หัวข้อรอง ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวเอียง
  - 6.5) เนื้อเรื่องในหัวข้อหลักและหัวข้อรอง ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวปกติ
  - 6.6) เนื้อเรื่องในตาราง ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวปกติ

**รูปแบบการเขียนบทความ** ควรมีหัวข้อเรียงตามลำดับดังต่อไปนี้

**ชื่อเรื่อง** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยมีข้อความที่กระชับ ได้ใจความ และบ่งบอกบทความได้อย่างชัดเจน

**ชื่อผู้เขียน** ให้ระบุชื่อ นามสกุล ตำแหน่ง หน่วยงานและที่อยู่ของผู้เขียนทุกคน โดยหากบทความเป็นภาษาไทยให้ระบุชื่อผู้เขียนเฉพาะภาษาไทยเท่านั้น

**บทคัดย่อ** บทคัดย่อต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

**คำสำคัญ (Keyword)** คำสืบค้นที่เกี่ยวข้องกับบทความ ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

**บทนำ** กล่าวถึงความสำคัญของปัญหาและภูมิหลังของการวิจัย รวมไปถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

**ตัวเนื้อหา** อธิบายถึงอุปกรณ์ หรือวิธีการที่ใช้ในการวิจัย บรรยายผล และวิจารณ์ผล สามารถแตกออกเป็นหลายหัวข้อได้

**สรุป** บรรยายถึงบทสรุปของงานวิจัย

**กิตติกรรมประกาศ** ขอบขอบคุณสนับสนุน หรือบุคคล (ถ้ามี)

**เอกสารอ้างอิง** ให้เขียนเอกสารอ้างอิงโดยใช้วิธีเรียงตามลำดับก่อนหลังที่พบในบทความ ในรูปแบบตัวเลขในวงเล็บเหลี่ยม สำหรับรูปแบบการพิมพ์รายการเอกสารอ้างอิง ใช้รูปแบบ IEEE ดังรายละเอียดและตัวอย่างในไฟล์แม่แบบ (template) ซึ่งดาวน์โหลดได้ที่ <http://eng.swu.ac.th/re.html>

## 2. วิธีการส่งบทความ

- 1) ส่งต้นฉบับบทความ ไฟล์ Microsoft Word และ pdf พร้อมแนบไฟล์สแกนแบบเสนอผลงานวิชาการเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- 2) ส่งไฟล์ต้นฉบับทางออนไลน์ที่  
<https://www.tci-thaijo.org/index.php/sej/login>
- 3) ดูข้อมูลวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒเพิ่มเติม และดาวน์โหลดแบบฟอร์มประกอบการส่งบทความ ได้ที่ <http://eng.swu.ac.th/re.html>

## 3. ขั้นตอนการประเมินบทความ

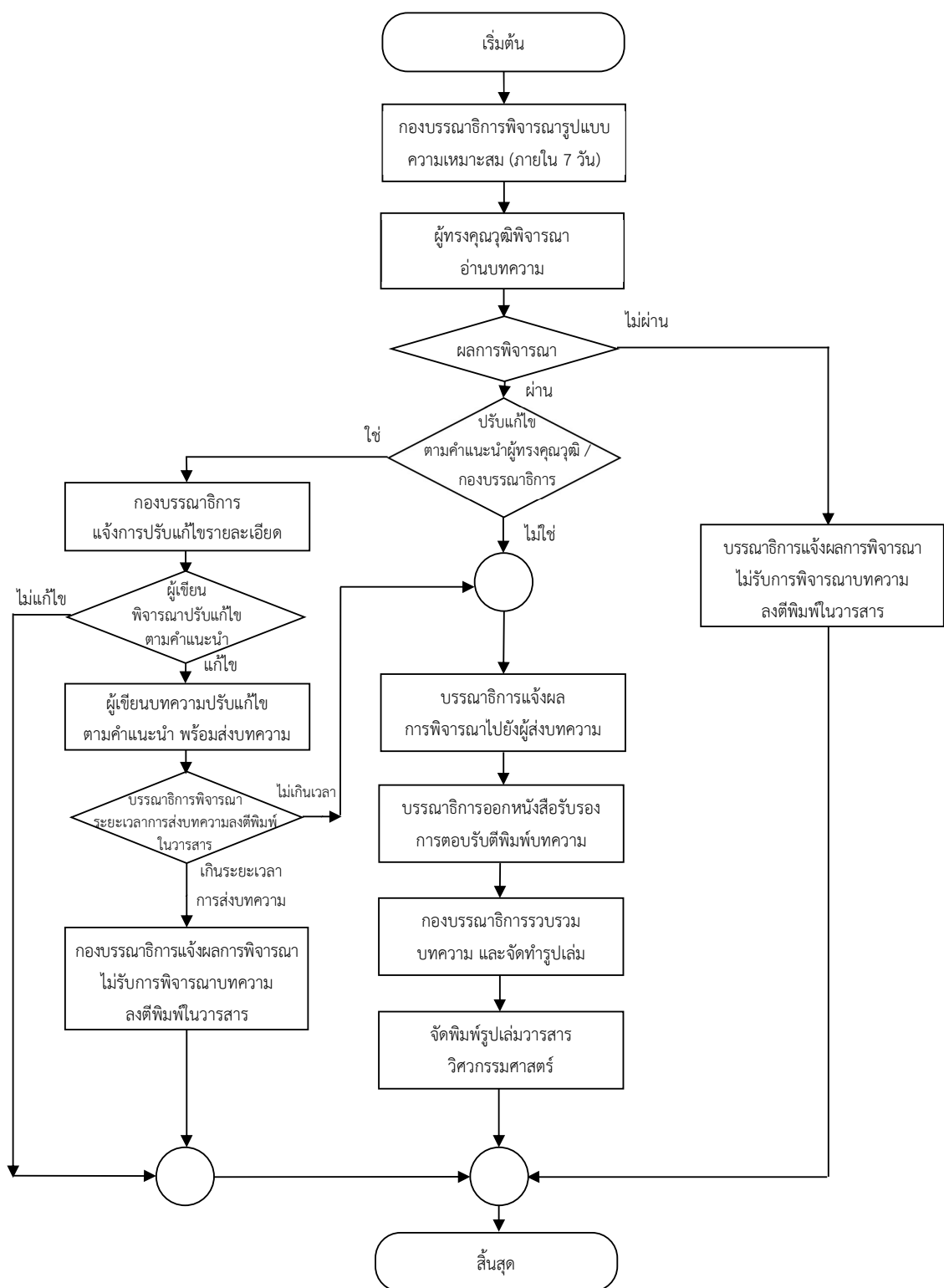
การประเมินบทความวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีขั้นตอนดังนี้

- 1) การทบทวนโดยผู้รู้เสมอกัน (peer review) โดยผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อยสองคนในสาขาที่เกี่ยวข้องแบบอำพรางฝ่ายเดียว (double-blind)
- 2) การเขียนตอบข้อซักถามและการแก้ไขปรับปรุงต้นฉบับตามข้อคิดเห็น (comments) ของผู้ทรงคุณวุฒิโดยผู้เขียน และการพิจารณาอีกครั้งโดยผู้ทรงคุณวุฒิคนเดิม หากผู้ทรงคุณวุฒิได้แจ้งความประสงค์ขอพิจารณาอีกครั้งไว้
- 3) การประชุมกองบรรณาธิการเพื่อพิจารณาผลการทบทวนโดยผู้รู้เสมอกันจากผู้ทรงคุณวุฒิ และการแก้ไขปรับปรุงต้นฉบับ เพื่อตัดสินใจว่าจะตอบรับหรือไม่ในขั้นสุดท้าย
- 4) สำหรับบทความที่ได้รับการตอบรับ กองบรรณาธิการจะพิจารณาความถูกต้องของรูปแบบเพื่อแจ้งผู้เขียนแก้ไข
- 5) บรรณาธิการออกหนังสือรับรองการเผยแพร่ให้ผู้เขียน โดยมอบไว้กับผู้เขียนหลัก

## 4. การเก็บค่าธรรมเนียม

ไม่มีค่าธรรมเนียม

ขั้นตอนการพิจารณาผลงานเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารคณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ





คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

# Srinakharinwirot University Engineering Journal

Vol. 20 No.1 (October - December 2024)

ISSN : 2774 - 0269 (Online)

## บทความวิจัย

- การศึกษาการรับรู้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานเสาเข็มตอกโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ลพบุรี-ปากน้ำโพ  
A Study of Awareness on Law Related to Pile Driving Work in the Construction of Track Doubling Project at Lop Buri - Pak Nam Pho section  
รัฐวัฒน์ จงไกรจักร, วรรณนที คงสง, ชัยวัฒน์ ภูวกรกุลชัย, บุญธรรม หาญพาณิขย์, ฤชดา พิศลยบุตร
- ระบบวิชั่นฝังตัวแบบเปิดเผยต้นฉบับสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม 4.0  
Open-Source Embedded Vision System for Industry 4.0 Applications  
ธนยศ อริสริยวงศ์, อีรพล คุ่มเสร็จ, อีรวัฒน์ พรหมเมือง
- การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์เล็กทำงานต่อเนื่องเทียบกับมาตรฐาน มอก.787-2551  
Study of Performance of Small Engine Running Continuously Compared to TIS 787-2551 Standards  
สมพจน์ คำแก้ว, ณัฐพงษ์ สุขสบาย, ศุภชัย แก้วพวง
- การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาดเล็กที่ทำงานขณะมีโหลดเกินกำลังเทียบกับมาตรฐาน มอก.787-2551  
Study of the Performance of Small-Sized Engines Operating under Overloaded Conditions Compared to TIS 787-2551  
สมพจน์ คำแก้ว, ศุภชัย แก้วพวง, ณัฐพงษ์ สุขสบาย
- การทวนสอบเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าด้วยการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด  
สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบจำลอง  
Verification of Measuring Electrical Instruments by Evaluating Measurement Uncertainty for Use in Simulated Calibration Laboratory  
ฉลอง โสตาบัน, ประสาน คำติผล, ธงชัย เพ็งจันทร์ดี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เลขที่ 63 หมู่ 7 ถนนรังสิต - นครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120

โทร 0 2649 5000 ต่อ 27560

<http://eng.swu.ac.th>