

ISSN : 2408-235X

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Volume 9 | Number 2 | July - December 2023

SAUJOURNAL.SAU.AC.TH



SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

เจ้าของ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

ที่ปรึกษา

ดร.ฉัททวุฒิ พิษผล

อธิการบดี

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ คั่งทองสุข

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

กองบรรณาธิการภายใน

รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ คั่งทองสุข

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นาวาเอกไชโย ธรรมรัตน์

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนินภา บริบูรณ์สุขศรี

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ โอธนาทรัพย์

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิรฐิติ บรรจงศิริ

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ดร.ภาณุวัฒน์ แตระกุล

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

กองบรรณาธิการภายนอก

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช อินต๊ะ

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา)

รองศาสตราจารย์ ดร.วรเชษฐ ภิรมย์ภักดี

กรรมการ (มหาวิทยาลัยบูรพา)

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิระ สายสร

กรรมการ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.จิระศักดิ์ ชาญุฒิธรรม

กรรมการ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ)

รองศาสตราจารย์ มนต์รี คำเงิน

กรรมการ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรรมการบริหาร

รองศาสตราจารย์ สิริวิษ ทัศวน

(มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิรฐิติ บรรจงศิริ

(มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วราธร แก้วแสง

(มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วีระพงษ์ กาญจนวงศ์กุล

(มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)



SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

ฝ่ายพัฒนา ดูแลและปรับปรุงเว็บไซต์

นางณัฐภาวี จิระภาพันธุ์

นางสาวชুমณูช แยมรู้การ

นางสาวรุ่งทิวา ลังกาพันธ์

ฝ่ายเลขานุการ

นางณัฐภาวี จิระภาพันธุ์

นางสาวชুমณูช แยมรู้การ

จัดพิมพ์โดย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

ที่ติดต่อ วารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160 โทร 0-2807-4500-27 ต่อ 404

เว็บไซต์ saujournalst.sau.ac.th อีเมล SAUJournalST@sau.ac.th

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นเอกสารเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยและบทความวิชาการ สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมอุตสาหการ อาชีวอนามัยและความปลอดภัย วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และวิศวกรรมเกษตร
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ใหม่ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระหว่างนักวิจัย นักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป
3. เพื่อเป็นเอกสารรวบรวมรายงานและบทความวิจัยที่น่าสนใจ และมีคุณค่าทางวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดองค์ความรู้ใหม่แก่นักวิจัยของมหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์ นักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป

ขอบเขต

เป็นเอกสารเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการ (บทความวิชาการปริทรรศน์ บทความวิชาการเทคนิค บทความวิชาการพิเศษ) ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วาระการเผยแพร่

วารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY มีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ โดยฉบับที่ 1 จะจัดพิมพ์ระหว่างเดือนมกราคม-มิถุนายน ฉบับที่ 2 จะจัดพิมพ์ระหว่างเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม ของทุกปี

ข้อคิดเห็นในบทความของวารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY เป็นทรัพย์สินส่วนตัวของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

Objectives

The main objectives of this journal are:

1. to publish research articles and academic articles in science and technology, Journal focus are Electrical Engineering, Electronics and communication Engineering, Computer Science, Computer Engineering, Civil Engineering, Mechanical Engineering, Industrial Engineering, Occupational Health and Safety, Environment Engineering and Agricultural Engineering;
2. to become a center for exchanging innovations in science and technology among researchers and interested persons;
3. to become a collection of interesting and valuable research papers and articles;
4. to promote and encourage Southeast Asia University researchers and interested persons to develop innovations.

Scope

To publish research articles and academic articles (Review articles, Technical article, Special Articles) in science and technology.

Schedule

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY is published two issues annually. The first volume is published between January and June and the second is published July and December in each year.

Comments on the article of the SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY is a personal opinion of the author. Editors boards may not necessarily agree.

บทบรรณาธิการ

วารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY ปีที่ 9 ฉบับที่ 2
ประจำเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2566 ปัจจุบันเป็นวารสารที่ได้รับรองให้อยู่ใน
ฐานข้อมูลของ TCI 2

จากผลการดำเนินงานของวารสารฉบับนี้มีบทความที่น่าสนใจทั้งหมด 8 บทความ เป็น
บทความวิจัย จำนวน 7 บทความ และ บทความวิชาการ จำนวน 1 บทความ ซึ่งกอง
บรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านจะได้รับความรู้จากงานวิจัยต่าง ๆ ในวารสารเล่มนี้เป็น
อย่างมาก

และในนามของ กองบรรณาธิการวารสาร ต้องขอขอบพระคุณ ผู้ประเมินบทความทุก
ท่าน ที่ยอมเสียสละเวลาอันมีค่าช่วยกลั่นกรองงานวิจัยให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น รวมถึง
คณาจารย์ นักศึกษา บุคคลทั่ว ๆ ไปทุกท่าน ที่ให้ความสนใจส่งบทความเพื่อเข้าสู่ขบวนการ
พิจารณาคุณภาพเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ ด้วยเหตุดังกล่าวนี้อีกกองบรรณาธิการทุกท่านมีกำลังใจ
เป็นอย่างมากในการพัฒนาวารสารฯ ให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น

บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
การออกแบบและพัฒนาเครื่องตรวจวัดคุณลักษณะกระแส-แรงดัน ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยบอร์ดอาดูอิโน้รูนานาโน Design and Development of Solar Panel Current-Voltage Characterization Instrument Using Arduino Nano Board โชคชัย ชื่นวัฒนา ^{ประเมธิ'} และ มัณฑนา รังสิโยภาส [*]	1
การรับรู้ความเสี่ยงและพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน ของพนักงานเก็บขยะมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร Risk Perception and Hazard Prevention Behaviors of Garbage Collector of the Sathon District พัศพิชชา ทองจีรอนันต์ ^{1,2} , ณิชภัทรา หริตวร ³ และ ลักษณา เหล่าเกียรติ ⁴	16
การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตก๊าซชีววมวลสำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก Design and Build of Biomass Machine for Small Engines วสวัตดี เสาวดี [*] , อโณทัย สุขแสงพนมรัง ¹ และ ชวิน จันทระเสนาวงศ์ ²	37
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแข็งตัวของเกลือไฮเดรตที่ติด คริบตามแนวยาวซึ่งมีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม Mathematical Model of Solidification of Hydrated Salts with a Longitudinal Fin of Rectangular Profile พีรวัชร มินตา ¹ และ วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี ^{2*}	52
การวิเคราะห์การพยากรณ์ตามการเรียนรู้ของเครื่อง สำหรับข้อตกลงระดับการให้บริการ กรณีศึกษา : บริษัท ธนารักษ์พัฒนาสินทรัพย์ จำกัด MACHINE LEARNING BASED PREDICTION ANALYSIS FOR THE SERVICE LEVEL AGREEMENT: A CASE STUDY OF DHANARAK ASSET DEVELOPMENT CO., LTD. ปาณิสรา เพ็ชรคง และ ชุตติมา เปี้ยวไข่มุก	66

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย	หน้า
การจัดการความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุในงานติดตั้งระบบไฟฟ้า ประกอบอาคารในงานก่อสร้างอาคารสูง Risk Management in the Electrical System Installations for Construction of High-Rise Buildings ธาดาพงษ์ ขาวปลื้ม ¹ , ศักดิ์ชาย รักรักร ² และ พจนีย์ ศรีวิเชียร ³	77
Review of Energy Saving Technologies for Urban Rail Vehicles <i>Jingjie Yan^{1,2*}, Wirogana Ruengphrathuengsuka²</i>	89
บทความวิชาการ	หน้า
Current Situation and Progress toward the 2030 Health-related Sustainable Development Goals (SDG 3): A Scoping Review in Thailand <i>Anunya Pradidthaprecha, Orawan Noiwat and Kultida Bunjongsiri*</i>	27

การออกแบบและพัฒนาเครื่องตรวจวัดคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผง เซลล์แสงอาทิตย์ด้วยบอร์ดอาดูอิโนรูนานาโน

Design and Development of Solar Panel Current-Voltage Characterization Instrument Using Arduino Nano Board

โชคชัย ชื่นวัฒนาประณีต¹ และ มณฑนา รังสิโยภาส^{2*}

Chokchai Chuenwattanapraniti¹ and Montana Rungsiyopas^{2*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

ผู้พิมพ์ประสานงาน : montana@eng.buu.ac.th

วันที่รับบทความ: 2 พฤษภาคม 2566 / วันที่แก้ไขบทความ: 25 มิถุนายน 2566 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 28 มิถุนายน 2566

บทคัดย่อ การตรวจวัดสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกติดตั้ง ณ สถานที่จริงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมหลายปัจจัย บทความนี้จึงนำเสนอการออกแบบและพัฒนาเครื่องตรวจวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความซับซ้อนน้อย ขนาดเล็ก ราคาถูก โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอิโนเป็นตัวควบคุมและประมวลสัญญาณ ร่วมกันกับวงจรชาร์จประจุคาปาซิเตอร์ที่ทำหน้าที่กวาดแรงดันที่ออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การแสดงผลของเครื่องบนหน้าจอแสดงผลแบบสัมผัส มี 2 รูปแบบ คือ กราฟกระแส-แรงดัน และตารางแสดงตัวแปรทางไฟฟ้าเพื่อใช้ในการตรวจวินิจฉัยระบบ ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบในสภาวะที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกัน รวมทั้งสภาวะที่แผงถูกบังเงาบางส่วน พบว่าเครื่องตรวจวัดที่นำเสนอสามารถทำงานได้เทียบเท่ากับเครื่องตรวจวัดที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ โดยให้ผลคลาดเคลื่อนระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองไม่เกิน 4 %

คำสำคัญ : คุณลักษณะกระแส-แรงดัน, โหลดอิเล็กทรอนิกส์, อาดูอิโน, ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

Abstract It is necessary to measure the generation performance of solar panels installed on site since the yield of electricity produced by solar panels depends on many environmental factors. Therefore, this paper presents the design and development of a simple, small, and low-cost instrument for measuring the electrical characteristics of solar panels. The proposed instrument is equipped with the Arduino microcontroller board responsible for controlling and signal processing in conjunction with the capacitor charging circuit that sweeps the panel output voltage. The instrument's display on the Human Machine Interface (HMI) screen has 2 formats including a current-voltage graph and a table showing electrical parameters for

the diagnosis purpose. The 4% of maximum discrepancy between the test results carried out from the proposed instrument and a commercial device under different solar irradiance and the partial shading conditions confirmed that the proposed instrument is comparable with the commercial one.

Keywords: I-V Characteristics, Electronic Loads, Arduino, Photovoltaic systems

1. บทนำ

สำหรับประเทศไทยด้วยสถานการณ์ราคาพลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้นทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์อาทิตย์ที่มีต้นทุนอุปกรณ์ลดลงเป็นอย่างมากในปัจจุบัน โดยมีการคาดการณ์ว่าระบบดังกล่าวจะมีมูลค่าทางการตลาดสูงถึง 137,000 ล้านบาทในอีก 10 ปีข้างหน้า [1]

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์อาทิตย์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิเช่น ทิศทางและตำแหน่งติดตั้งแผง ประสิทธิภาพของแผง อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ปัจจัยด้านเงาบังและคราบฝุ่นละอองบนแผง เป็นต้น [2-4] ในขั้นตอนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีความจำเป็นที่จะต้องอาศัยเครื่องมือในการตรวจวัดคุณลักษณะกระแส-แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจเลือกตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม นอกจากนี้เครื่องมือดังกล่าวยังสามารถใช้ในการตรวจวัดการเสื่อมสภาพและความสมบูรณ์ของระบบที่ได้ติดตั้งใช้งานไปเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว

หลักการที่ใช้ในการตรวจวัดคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะอาศัยการต่อแผงที่ต้องการทดสอบเข้ากับโหลดอิเล็กทรอนิกส์ที่แปรเปลี่ยนค่าได้ตลอดช่วงที่สนใจ ในระหว่างนั้นก็ทำการบันทึกค่าแรงดันและกระแส แล้วทำการส่งข้อมูลไปแสดงผลบนโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาบนคอมพิวเตอร์[5] การสร้างชุดโหลดอิเล็กทรอนิกส์วิธีหนึ่งที่ได้รับการ

นิยมคือการควบคุมมอสเฟตทรานซิสเตอร์ (MOSFET) ให้ทำงานในย่านการทำงานแบบแอคทีฟ (Active Region) [6-9] โดยรับคำสั่งการไบอัสจากรอบควบคุมแรงดันแบบวงปิดเพื่อกำหนดแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปที่ค่าต่างๆ [10] ซึ่งวิธีดังกล่าวมีความซับซ้อนของระบบควบคุมค่อนข้างมาก ทำให้มีต้นทุนสูง การขยายพิกัดจะต้องทำการต่อขนานเพิ่มมอสเฟตกำลังเพื่อรองรับกระแสที่สูงขึ้น

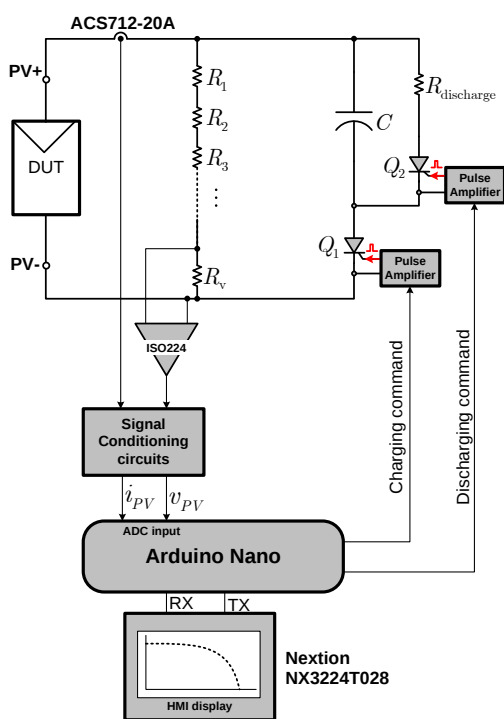
โหลดอิเล็กทรอนิกส์แบบที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า คือการใช้รีเลย์ตัดต่อชุดตัวต้านทานหลายระดับเพื่อต่อเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการทดสอบ โดยออกแบบให้ชุดตัวต้านทานประกอบด้วยตัวต้านทานย่อยๆ จำนวนมาก และทำการต่อสวิตช์เริ่มจากค่าความต้านทานน้อยๆ เกือบเป็นศูนย์จนกระทั่งถึงค่ามากๆ เข้าใกล้อินฟินิตี้ [11] วิธีดังกล่าวจะต้องใช้ช่วงเวลาในการสแกนต่อการตรวจวัดหนึ่งค่อนข้างยาวนาน ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องของกราฟกระแส-แรงดันที่ได้ หากสถานะของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ขณะทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็ว การเปลี่ยนไปใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิตช์แทนรีเลย์ [12] ช่วยให้ระบบตรวจวัดใช้เวลาในการทดสอบสั้นลง แต่ยังคงมีความซับซ้อนขนาดใหญ่และน้ำหนักรวมมาก [13]

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาเครื่องตรวจวัดกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมการทำงานด้วยบอร์ดอาดูอินโน (Arduino Nano) ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและมีราคาถูก เครื่องตรวจวัดจะทำการสวิตช์ค่าปาดเซอร์ไค์ต่อเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ที่ต้องการทดสอบ ทำให้เกิดการกวาดแรงดันขึ้น เนื่องจากการชาร์จประจุคาปาซิเตอร์ จึงสามารถสแกนเพื่อบันทึกกราฟกระแส-แรงดันได้ วิธีดังกล่าวมีการควบคุมที่ไม่ซับซ้อน ใช้เวลาในการสแกนน้อย นอกจากนี้บทความได้นำเสนอสมการอย่างง่ายสำหรับการเลือกค่าความจุของคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับวิธีทดสอบดังกล่าว

2. รายละเอียดของเครื่องตรวจวัด

2.1 แผนผังโดยรวมของระบบ



รูปที่ 1 แผนผังของเครื่องตรวจวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับงานวิจัยนี้ การสร้างชุดโหนดอิเล็กทรอนิกส์จะอาศัยการทำงานของเอสซีอาร์ร่วมกับคาปาซิเตอร์ความจุสูง ดังรูปที่ 1 โดยเมื่อสั่งให้เอสซีอาร์นำกระแสจะเกิดกระแสไหลจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ไหลเข้าไปชาร์จประจุคาปาซิเตอร์ ทำให้แรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ค่อยๆ เพิ่มขึ้น แรงดันที่คาปาซิเตอร์นี้จะมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันที่ขั้วของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาทดสอบ เนื่องจากแรงดันที่ตกเอสซีอาร์มีค่าน้อย (ประมาณ 1-2V) ในระหว่างนั้นกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกตรวจวัดผ่านเซ็นเซอร์ได้สัญญาณที่แปรผันตรงกับกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผ่านไปยังวงจรปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning Circuits) ก่อนส่งเข้าพอร์ตอินพุตแอนะล็อก (Analog Inputs) ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ชุดข้อมูลกระแสและแรงดันที่บันทึกไว้จะถูกกรองด้วยตัวกรองแบบดิจิทัลเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนก่อนนำค่าออกไปแสดงผลทั้งข้อมูลแบบเชิงตัวเลขและกราฟบนจอแสดงผลระบบสัมผัส (Human machine interface display) ยี่ห้อ Nextion รุ่น NX3224T028 ซึ่งสื่อสารกับบอร์ดอาคูโนผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยนอกจากจะใช้แสดงผลแล้วยังใช้ในการรับคำสั่งควบคุมจากผู้ใช้งานด้วย

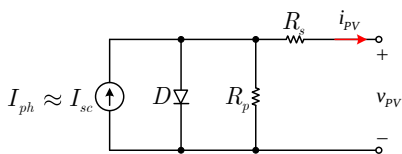
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้คือบอร์ดอาคูโนนาโนซึ่งติดตั้งชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต เบอร์ ATmega328 ความเร็วสัญญาณนาฬิกา 16 MHz เป็นบอร์ดที่มีขนาดเล็กกะทัดรัดและมีราคาถูก ประกอบไปด้วยพอร์ตอินพุตแบบแอนะล็อก 10 บิต 8 ช่อง และอินพุต-เอาต์พุตแบบดิจิทัลจำนวน 22 ช่อง [14] โดยพอร์ต A1 และ A2 จะถูกใช้เพื่อรับแรงดันจากเซ็นเซอร์ที่แปรตามกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามลำดับ ส่วนพอร์ตเอาต์พุตแบบดิจิทัล 2 ช่องจะถูกใช้เพื่อทำการส่งสัญญาณขับนำเอสซีอาร์ และอีก 2 ช่องใช้เป็นพอร์ตเพื่อติดต่อสื่อสารกับจอแสดงผลพร้อมแสดงผลระบบสัมผัส

2.3 การเลือกความจุคาปาซิเตอร์

การทดสอบหาคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการชาร์จประจุคาปาซิเตอร์ดังที่กล่าวมาข้างต้น การเลือกความจุของคาปาซิเตอร์ให้เหมาะสมมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยคาปาซิเตอร์จะต้องมีค่าความจุเพียงพอเพื่อให้สามารถใช้อัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) ที่ไม่สูงเกินความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเฉพาะเมื่อใช้วัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังผลิตสูงๆ ในทางตรงข้ามจะต้องมีความจุไม่มากจนเกินไป ขณะที่ระบบผลิตกำลังได้น้อย

การเลือกความจุของคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมจะต้องทำการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแสในช่วงเวลาทรานเซียนต์หลังจากที่สั่งให้เอสซีอาร์นำกระแสเพื่อเริ่มการชาร์จประจุคาปาซิเตอร์ โดยพิจารณาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีวงจรสมมูลแบบไดโอดตัวเดียว(one-diode model)[15] แสดงดังรูปที่ 2 ประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายกระแสที่แปรตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (I_{ph}) ไดโอด ความต้านทานขนาน (R_p) และความต้านทานอนุกรม (R_s)



รูปที่ 2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

สมการที่ (1) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (i_{PV}) และแรงดัน (v_{PV}) ของเซลล์แสงอาทิตย์

$$i_{PV} = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{v_{PV} + i_{PV} R_s}{V_T}} - 1 \right) - \frac{v_{PV} + i_{PV} R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

โดย I_0 คือกระแสไบอัสอิ่มตัวย้อนกลับของไดโอด(A) และ V_T คือความต่างศักย์เนื่องมาจากความร้อน (mV) ซึ่งมีค่าประมาณ 26 mV

เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์นำมาต่อเป็น โมดูล (Module) ที่ประกอบไปด้วยการอนุกรมจำนวน N_s เซลล์ จากนั้นนำมาขนานกัน N_p ชุด จะทำให้ได้กระแส (i_{PV}^M) และแรงดัน (v_{PV}^M) ที่ออกจากโมดูล ดังนี้

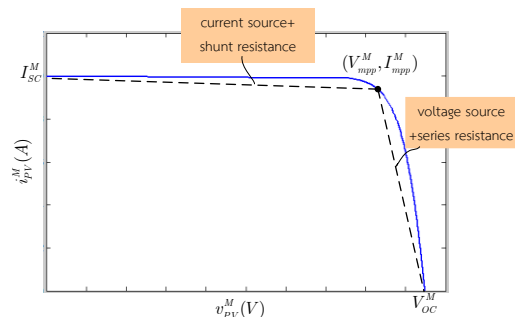
$$v_{PV}^M = N_s v_{PV}, \quad i_{PV}^M = N_p i_{PV} \quad (2)$$

เมื่อแทนสมการทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ตามสมการที่ (1) ลงในสมการที่ (2) จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (i_{PV}^M) และแรงดัน (v_{PV}^M) ของโมดูลได้ดังนี้

$$i_{PV}^M = I_{ph}^M - \left(I_{ph}^M - \frac{N_p V_{oc}^M}{N_s R_p} \right) e^{\frac{(v_{PV}^M + R_s i_{PV}^M - V_{oc}^M)/N_s}{V_T}} \quad (3)$$

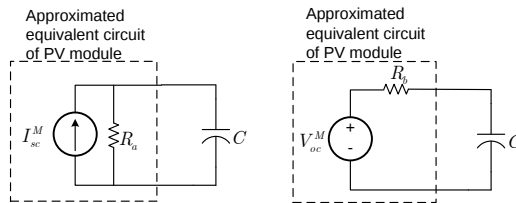
$$\text{โดย } R_s^M = \frac{N_s}{N_p} R_s$$

เมื่อทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง i_{PV}^M และ v_{PV}^M ตามสมการที่ (3) ที่สภาวะความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิเซลล์ค่าหนึ่ง จะได้ลักษณะกราฟที่ความไม่เป็นเชิงเส้นแสดงดังรูปที่ 3 ในการเลือกขนาดคาปาซิเตอร์ที่ไม่ได้ต้องการความถูกต้องสูงมากนักสามารถทำการประมาณความสัมพันธ์ดังกล่าวในลักษณะเชิงเส้นแบบเป็นช่วง (piecewise linear) ง่ายต่อการวิเคราะห์ (เส้นปะในรูปที่ 3)



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง i_{PV}^M และ v_{PV}^M

โดยช่วงที่ $0 \leq v_{PV}^M \leq V_{mpp}^M$ โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเสมือนแหล่งจ่ายกระแส I_{sc}^M ต่อขนานกับ R_a (รูปที่ 4 ก) และเมื่อ $V_{mpp}^M \leq v_{PV}^M \leq V_{oc}^M$ โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเสมือนแหล่งจ่ายแรงดัน V_{oc}^M ต่ออนุกรมกับ R_b (รูปที่ 4 ข)



(ก) ช่วง $0 \leq v_{PV}^M \leq V_{mpp}^M$ (ข) ช่วง $V_{mpp}^M \leq v_{PV}^M \leq V_{oc}^M$
รูปที่ 4 วงจรสมมูลโดยประมาณขณะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับคาปาซิเตอร์

ค่าความต้านทาน R_a และ R_b ในวงจรสมมูลที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน (Standard test conditions) สามารถคำนวณได้จากข้อมูลคุณลักษณะที่ได้จากผู้ผลิตดังนี้

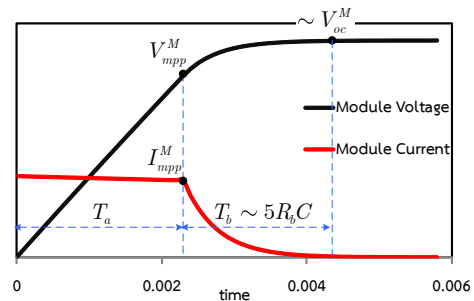
$$R_a = \frac{V_{mpp}^M}{(I_{sc}^M - I_{mpp}^M)} \quad (4)$$

และ

$$R_b = \frac{(V_{oc}^M - V_{mpp}^M)}{I_{mpp}^M} \quad (5)$$

สมการที่ (4) และ (5) สามารถอธิบายได้ว่า หาก I_{sc}^M กับ I_{mpp}^M มีความแตกต่างกันมากจะทำให้ค่า R_a มีค่าน้อย ทำให้กระแสจากแหล่งจ่ายกระแสสมมูลภายในถูกลดทอนลงมากก่อนที่จะจ่ายออกที่ขั้วของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนความแตกต่างระหว่าง V_{oc}^M กับ V_{mpp}^M จะส่งผลต่อโดยตรงกับ R_b ซึ่งเป็นปัจจัยลดทอนแรงดันที่ขั้วของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อพิจารณาวงจรสมมูลโดยประมาณดังรูปที่ 4 จะสามารถวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกทดสอบในช่วงเวลาทรานเซียนต์หลังจากสิ่งให้เกิดการชาร์จประจุคาปาซิเตอร์ ซึ่งตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแส แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสในช่วงการชาร์จประจุคาปาซิเตอร์

โดยช่วงเวลาแรก เริ่มจาก $t = 0$ และสิ้นสุดที่ $t = T_a$ วงจรสมมูลมีลักษณะดังรูปที่ 4(ก) การเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันมีสมการเป็นดังนี้

$$v_{pv}^M = I_{sc}^M R_a \left(1 - e^{-\frac{t}{R_a C}}\right), i_{pv}^M = I_{sc}^M e^{-\frac{t}{R_a C}} : 0 \leq t \leq T_a \quad (6)$$

ช่วงเวลาที่สองวงจรสมมูลเป็นดังรูปที่ 4(ข) เริ่มจาก $t > T_a$ ถึง $t = T_a + T_b$ การเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันเทียบกับเวลามีสมการเป็นดังนี้

$$v_{pv}^M = V_{oc}^M \left(1 - e^{-\frac{T_a - t}{R_b C}}\right) + V_{mpp}^M e^{-\frac{T_a - t}{R_b C}}, i_{pv}^M = \frac{V_{oc}^M - V_{mpp}^M}{R_b} e^{-\frac{T_a - t}{R_b C}} : T_a < t \leq \infty \quad (7)$$

จากสมการที่ (4), (5), (6) และ (7) สามารถคำนวณหาช่วงเวลา T_a และ T_b ได้ตามสมการที่ (8) และ (9) ตามลำดับ

$$T_a = C \frac{V_{mpp}^M}{I_{mpp}^M} \left[\frac{\ln \left(\frac{I_{sc}^M}{I_{mpp}^M} \right)}{\left(\frac{I_{sc}^M}{I_{mpp}^M} - 1 \right)} \right] \quad (8)$$

และ

$$T_b = 5R_b C = C \frac{V_{mpp}^M}{I_{mpp}^M} \left[5 \left(\frac{V_{oc}^M}{V_{mpp}^M} - 1 \right) \right] \quad (9)$$

เวลารวมในการชาร์จประจุ (T_{charge}) นับตั้งแต่แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มเปลี่ยนแปลงจาก 0 จนถึงแรงดันเปิดวงจร (V_{oc}^M) เท่ากับ

$$T_{charge} = T_a + T_b = C \frac{V_{mpp}^M}{I_{mpp}^M} \left\{ \left[\frac{\ln \left(\frac{I_{sc}^M}{I_{mpp}^M} \right)}{\left(\frac{I_{sc}^M}{I_{mpp}^M} - 1 \right)} \right] + \left[5 \left(\frac{V_{oc}^M}{V_{mpp}^M} - 1 \right) \right] \right\} \quad (10)$$

เทอมที่อยู่ในวงเล็บด้านขวามือของสมการที่ (10) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสัดส่วนระหว่างกระแสลัดวงจรต่อกระแส ณ จุดกำลังสูงสุด $\left(\frac{I_{sc}^M}{I_{mpp}^M} \right)$ และแรงดันเปิดวงจรต่อแรงดัน ณ จุดกำลังสูงสุด $\left(\frac{V_{oc}^M}{V_{mpp}^M} \right)$ สามารถพิจารณาให้เป็นค่าคงที่ เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละผู้ผลิตมีความแตกต่างกันไม่มากนัก เมื่อกำหนดให้ $\frac{I_{sc}^M}{I_{mpp}^M} \approx \frac{1}{0.90}$ [16] และ $\frac{V_{oc}^M}{V_{mpp}^M} \approx 0.8$ [17] ช่วงเวลา T_{charge} จะขึ้นอยู่กับ V_{mpp}^M และ I_{mpp}^M ดังสมการที่ (11)

$$T_{charge} \approx 2.22 C \frac{V_{mpp}^M}{I_{mpp}^M} \quad (11)$$

ในกรณีที่พิจารณาระบบที่มีการต่ออนุกรมโมดูลหลายๆ โมดูลเข้าด้วยกันเป็นสตริง ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในสมการที่ (10) และ (11) ต้องถูกเปลี่ยนให้เป็น

ค่าพารามิเตอร์ของสตริงนั้นๆ ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าเมื่อสตริงที่มีจำนวน โมดูลที่ต่ออนุกรมมากขึ้น (แรงดัน ณ จุดกำลังสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น) ช่วงเวลาในการทดสอบจะยาวนานขึ้น ในทางตรงข้ามกระแส ณ จุดกำลังสูงสุดซึ่งขึ้นกับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผง เมื่อมีค่ามากจะทำให้ช่วงเวลาในการทดสอบสั้นลง

เมื่อความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงจะทำให้ I_{mpp}^M เปลี่ยนแปลงตาม ในขณะที่ V_{mpp}^M จะค่อนข้างคงที่ (แต่จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของเซลล์) เมื่อพิจารณาตามสมการที่ (10) หากความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าสูง จะส่งผลให้เวลารวมในการชาร์จประจุสั้นลง ดังนั้นจึงต้องเลือกความจุของคาปาซิเตอร์ให้สูงพอ เพื่อให้สามารถใช้อัตราการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) ที่สามารถให้ค่าการแปลงแอนะล็อก-ดิจิทัลที่ถูกต้อง การคำนวณหาขนาดความจุของคาปาซิเตอร์จะอาศัยสมการที่ (11) โดยเมื่อกำหนดพิกัดสูงสุดของแผงหรือสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV String) ที่สามารถนำมาทดสอบด้วยเครื่องตรวจวัดฯ ดังตารางที่ 1 และแทนค่า V_{mpp} และ I_{mpp} ลงในสมการที่ (11) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างเวลารวมที่ใช้ในการชาร์จประจุกับความจุของคาปาซิเตอร์ดังสมการที่ (12)

$$T_{charge} \approx 50.74 C \quad (12)$$

ตารางที่ 1 พิกัดสูงสุดของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาทดสอบกับเครื่องตรวจวัดคุณลักษณะกระแส-แรงดันที่นำเสนอ

แผงที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน (Standard Test Conditions, STC) อุณหภูมิเซลล์ 25°C ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ 1000 W/m ² AM 1.5	
V_{oc}	400 V
V_{mpp}	320 V
I_{sc}	15 A
I_{mpp}	14 A

สมการที่ (12) จะถูกนำไปใช้เพื่อเลือกความจุคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมให้สอดคล้องกับช่วงเวลาในการทดสอบที่ต้องการ ซึ่งจะได้ออกมาในหัวข้อที่ 3 ต่อไป

2.4 พิกัดของเอสซีอาร์ (SCR)

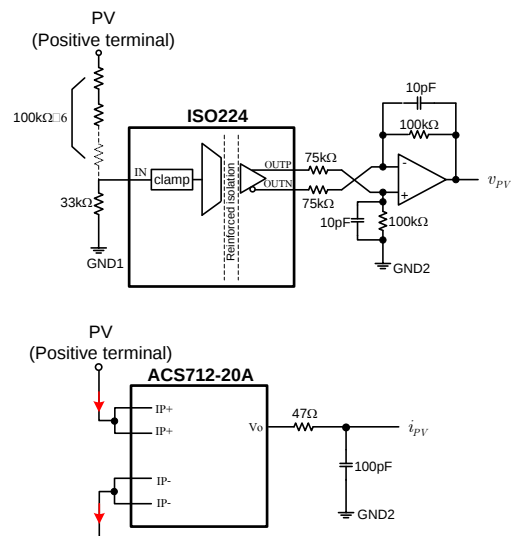
เอสซีอาร์เป็นสวิตช์สารกึ่งตัวนำที่มีราคาถูกหาง่ายในท้องตลาด และมีพิกัดกระแส/แรงดันสูง ทำให้เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นสวิตช์สำหรับควบคุมการชาร์จและดิสชาร์จคาปาซิเตอร์ในชุดโหลดจำลองเพื่อทดสอบหาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การเริ่มต้นการชาร์จและดิสชาร์จคาปาซิเตอร์จะถูกควบคุมผ่านสัญญาณจุดชนวนเอสซีอาร์ โดยเมื่อจุดชนวนเอสซีอาร์ด้วยพัลส์สั้นๆ จะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ต่อไป หากกระแสนี้มีค่าสูงกว่ากระแสแลตช์ของเอสซีอาร์ (Latching Current) และเอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสเมื่อกระแสที่ตัวมัน ลดต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง (Holding Current) [18] จากคุณสมบัติของเอสซีอาร์ดังกล่าวจะทำให้สะดวก ไม่จำเป็นต้องจ่ายสัญญาณขับนำตลอดช่วงเวลาในการทดสอบ

สำหรับพิกัดแรงดันและกระแสของเอสซีอาร์ที่เลือกใช้จะต้องสามารถบล็อกรั้งแรงดันได้เท่ากับแรงดันเปิดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V_{oc}) และทนกระแสไหลผ่านได้มากกว่าค่ากระแสลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I_{sc}) จากพิกัดสูงสุดของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ในตารางที่ 1 จึงเลือกใช้เอสซีอาร์เบอร์ TN4015 ที่มีพิกัด 40 A 600 V และมีค่ากระแสโฮลดิ้ง และกระแสแลตช์สูงสุดที่ 60 mA และ 80 mA ตามลำดับ [19]

2.5 วงจรวัดกระแสและแรงดันแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การวัดกระแสที่ไหลออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เลือกใช้เซ็นเซอร์วัดกระแส ACS712-20A ที่ใช้หลักการฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall Effect) ทำให้ความสามารถในการวัดได้ทั้งกระแสสลับและกระแสตรง

โดยเซ็นเซอร์ให้เป็นแรงดันเอาต์พุตที่สัมพันธ์โดยตรงกับกระแสที่ไหลผ่านตัวมันด้วยค่าความไว (Sensitivity) 100mV/A และมีความสามารถในการแยกโดด (Isolation) ได้ถึง 2.1 kV_{rms} [20] ทำให้ปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



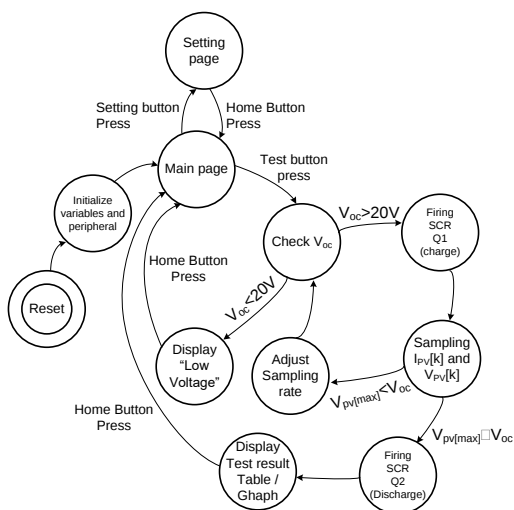
รูปที่ 6 วงจรวัดกระแสและแรงดันแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การวัดแรงดันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้หลักการแบ่งแรงดันด้วยตัวต้านทาน (Resistive Divider) (รูปที่ 6) เพื่อลดทอนแรงดันสูงให้เป็นแรงดันต่ำก่อน โดยแรงดัน 400 V จะถูกลดทอนเหลือ 10.42 V จากนั้นจะส่งให้กับไอซีแอมพลิฟายเออร์ที่มีการแยกโดด (Isolated Amplifier) เบอร์ ISO224 [21] ซึ่งจะลดทอนสัญญาณลงอีก 1/3 เท่า และทำการเปลี่ยนสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Signal) เป็นสัญญาณแบบปลายเดียว (Single-ended Signaling) ด้วยออปแอมป์ดิฟเฟอเรนเชียลที่มีการขยายสัญญาณ 1.3 เท่า

สัญญาณที่สัมพันธ์กับกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านวงจรปรับสภาพสัญญาณตามที่อธิบายข้างต้นจะถูกส่งให้เข้าพอร์ตแอนะล็อกของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีความละเอียดของการวัดเป็น 49 mA/bit และ 0.42 V/bit ตามลำดับ

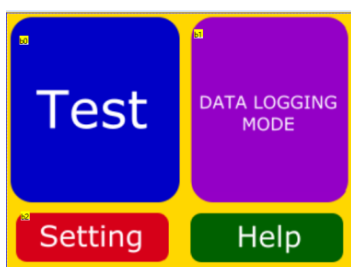
3. โปรแกรมควบคุมการทำงาน

โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสามารถอธิบายได้ด้วยแผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะ (State Machine Diagram) ดังรูปที่ 7



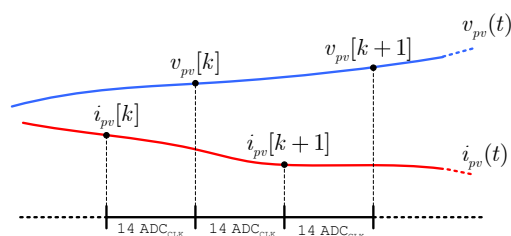
รูปที่ 7 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะของโปรแกรมควบคุมเครื่องตรวจวัดที่นำเสนอ

โปรแกรมเริ่มจากสภาวะรีเซ็ตและทำการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรและรีจิสเตอร์ควบคุมที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์รอบข้าง (Peripheral Control Register) อาทิเช่น พอร์ตดิจิทัล พอร์ตแอนะล็อก-ดิจิทัล เป็นต้น หลังจากนั้นจะเข้าสู่การแสดงผลหน้าจอหลักส่วนแสดงผลดังรูปที่ 8 ซึ่งจะมีปุ่มสัมผัสหน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้งานเลือก



รูปที่ 8 ปุ่มสัมผัสรับคำสั่งหน้าจอแสดงผลหลัก

เมื่อกดปุ่ม Test ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการอ่านแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งคือค่า V_{oc} ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะนั้น หากค่า V_{oc} นี้ต่ำกว่า 20 V ซึ่งเป็นเงื่อนไขขั้นต่ำของเครื่อง หน้าจอแสดงผลจะแจ้งเตือนด้วยข้อความ “Low Voltage” ค้างไว้ แต่หากว่า V_{oc} สูงกว่า 20 V จะเริ่มมีการส่งพัลส์จุกจนวนเอสซีอาร์ Q1 เพื่อให้เกิดการนำกระแสทำให้เกิดการชาร์จคาปาซิเตอร์ ระหว่างนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสุ่มสัญญาณ (Sampling) กระแส ($i_{pv}(t)$) และแรงดัน ($v_{pv}(t)$) ที่ออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเก็บไว้ในตัวแปรชนิดอาร์เรย์คือ $i_{pv}[k]$ และ $v_{pv}[k]$ จำนวน 120 จุด โดยการสุ่มสัญญาณจะกระทำสลับกันระหว่างกระแสกับแรงดันดังแสดงในไดอะแกรมเวลารูปที่ 9



รูปที่ 9 ไดอะแกรมเวลาการทำงานช่วงการสุ่มสัญญาณ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 มีขีดจำกัดในการสุ่มสัญญาณได้ที่ละช่องสัญญาณ จึงต้องพยายามกำหนดช่วงเวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลให้สั้นที่สุด เพื่อให้เกิดการสุ่มสัญญาณกระแสกับแรงดันเกิดขึ้นในเวลาใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยเวลาในการสุ่มและโฮลด์ (Sample and Hold) รวมกับการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิตจะต้องใช้เวลาประมาณ 14 ขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาสำหรับหน่วยแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (ADC_{CLK}) [14] ที่ได้มาจากการลดทอน (ปรีสเกล) สัญญาณนาฬิกาของชิพยู (CPU Clock) ที่มี

ความถี่ 16 MHz ลงมา โดยอัตราการปรีสเกลความถี่จะถูกกำหนดโดยบิตที่ 1-3 ของรีจิสเตอร์ ADCSRA

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 ADC_{CLK} ที่สามารถทำให้วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลทำงานได้อย่างถูกต้องควรอยู่ระหว่าง 50-200 kHz [14] ในที่นี้จึงกำหนดค่าเริ่มต้นของปรีสเกลเท่ากับ 64 ทำให้สามารถคำนวณเวลาในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล $56 \mu s$ หรือ $17.86 kS/s$ ต่อช่องสัญญาณ

เมื่อสิ้นสุดช่วงการสุ่มสัญญาณ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าแรงดันค่าสุดท้ายที่รับเข้ามาใกล้เคียง V_{oc} หรือไม่ หากค่าสุดท้ายต่ำกว่า V_{oc} แสดงว่าช่วงเวลาการสุ่มสัญญาณมีค่าน้อยเกินไปทำให้ไม่ครอบคลุมช่วงของแรงดัน ดังนั้นจะต้องทำการปรับเพิ่มค่าปรีสเกลเป็น 128 ประกอบกับการใช้คำสั่ง delay เพื่อทำให้ช่วงเวลาในการสุ่มสัญญาณยาวนานขึ้น หลังจากนั้นจะเริ่มสั่งให้เริ่มการทดสอบซ้ำอีกครั้งหนึ่งแบบอัตโนมัติ โดยจะต้องทำการคิซาร์จคาปาซิเตอร์ด้วยการตั้งสัญญาณจุดชนวนเอสซีอาร์ Q_2 ก่อนทุกครั้ง

ค่าจากการสุ่มสัญญาณที่เก็บไว้ในตัวแปรชนิดอาร์เรย์ $i_{pv}[k]$ และ $v_{pv}[k]$ จำนวน 50 จุด จะถูกนำมากรอง เพื่อลดสัญญาณรบกวน โดยการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบสมมาตร (Symmetrically Moving Average) ดังสมการที่ (13) และ (14) ก่อนจะนำค่าที่ได้ไปแสดงผล (กราฟกระแส-แรงดัน และพารามิเตอร์ที่สำคัญ)

$$i_f[k] = \frac{i[k-1] + i[k] + i[k+1]}{3} \quad (13)$$

และ

$$v_f[k] = \frac{v[k-1] + v[k] + v[k+1]}{3} \quad (14)$$

โดย $i_f[k]$ และ $v_f[k]$ คือ สัญญาณกระแสและแรงดันที่ผ่านตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

จากที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.3 ความจุของคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมต้องพิจารณาจากช่วงเวลาชาร์จ์ประจุที่ต้องการ โดยจะต้องสัมพันธ์กับอัตราการสุ่มสัญญาณที่เป็นไปได้ คาปาซิเตอร์จะต้องมีความจุสูงพอที่จะทำให้สามารถเก็บจำนวนจุดของข้อมูลกระแสและแรงดันได้ครบ (ในที่นี้กำหนดไว้สัญญาณละ 50 จุด) สำหรับค่าปรีสเกลเท่ากับ 64 คำนวณเป็นช่วงเวลาทดสอบสั้นที่สุดได้เท่ากับ $100 \times 56 \mu s$ หรือ $5.6 ms$ เมื่อนำค่าเวลาดังกล่าวไปคำนวณหาค่าความจุของคาปาซิเตอร์ตามสมการที่ (11) จะได้ค่าความจุขั้นต่ำเท่ากับ $110 \mu F$ ดังนั้นเพื่อในช่วงการสุ่มสัญญาณครอบคลุมตลอดช่วงเวลา T_{charge} จึงเลือกใช้คาปาซิเตอร์ขนาด $220 \mu F$ ซึ่งได้จากการอนุกรมคาปาซิเตอร์ $220 \mu F$ 250V สองตัว แล้วจึงนำมาขนานกันจำนวน 2 ชุด

4. ผลการทดสอบ

เครื่องตรวจวัดคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ (รูปที่ 10) ถูกนำมาใช้ทดสอบกับสตริงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยโมดูลยี่ห้อ Suntech รุ่น STP290-24/Vd อนุกรมกัน 3 โมดูล โดยคุณลักษณะจำเพาะของแต่ละโมดูลเป็นไปตามตารางที่ 2



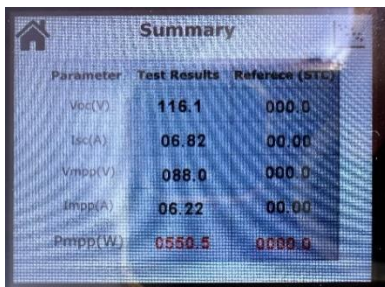
รูปที่ 10 ภาพถ่ายจริงเครื่องตรวจวัดคุณลักษณะกระแส-แรงดันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเสนอ

ตารางที่ 2 คุณลักษณะจำเพาะของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น STP290-24/Vd [22]

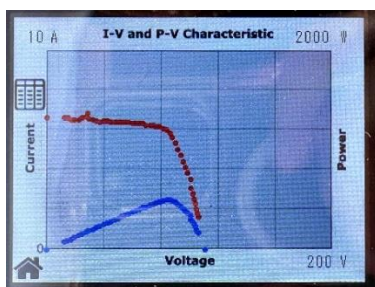
คุณลักษณะทางไฟฟ้าที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน
(Standard Test Conditions)

V_{oc}	44.1 V
V_{mpp}	35.4 V
I_{sc}	8.65 A
I_{mpp}	8.20 A
P_{mpp}	290 W

การแสดงผลการทดสอบของเครื่องตรวจวัดฯ ที่นำเสนอ จะมี 2 รูปแบบคือการแสดงในรูปแบบตารางแสดงตัวแปรทางไฟฟ้าที่สำคัญ และลักษณะกราฟกระแส-แรงดัน (I-V) และ กำลัง-แรงดัน (P-V) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 11



(ก) ตารางแสดงตัวแปรทางไฟฟ้าที่สำคัญ



(ข) กราฟกระแส-แรงดัน ที่แสดงบนหน้าจอ HMI

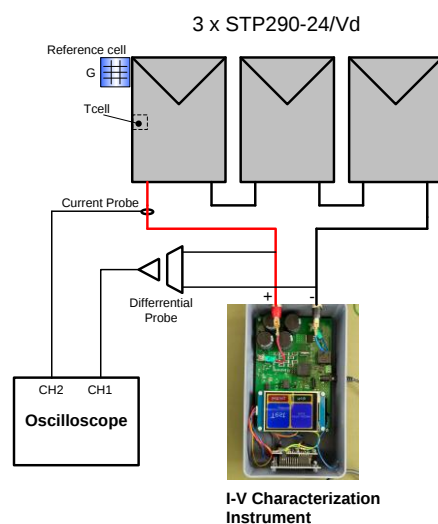
รูปที่ 11 ตัวอย่างการแสดงผลการทดสอบวัดกระแสแรงดันและกำลังไฟฟ้าของสตริงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากเครื่องตรวจวัดฯ ที่นำเสนอ

4.1 การทดสอบพล็อตกราฟ กระแส-แรงดัน

การทดสอบนี้จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของกราฟ กระแส-แรงดัน โดยทำการติดตั้งระบบทดสอบดังรูปที่ 12 และทำการทดสอบที่สภาวะแตกต่างกัน ชุดข้อมูลที่ได้จากการสุ่มสัญญาณของเครื่องตรวจวัดฯ จะถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยออสซิลโลสโคป ที่รับค่ากระแสและแรงดันจากโพรบวัดกระแส (current probe) ยี่ห้อ Hameg รุ่น HZC50 และโพรบวัดแรงดันแบบผลต่าง (voltage differential probe) ยี่ห้อ Micsig รุ่น DP10013 ตามลำดับ

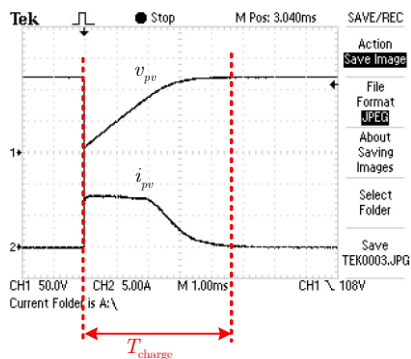
ขณะทดสอบได้ติดตั้งโพรบวัดอุณหภูมิ (Metrel A1400) และเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐาน (Metrel A1427) เพื่อทำการวัดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบบนระนาบของแผงทดสอบ ตามลำดับ

โดยเงื่อนไขการทดสอบที่ 1 เป็นกรณีทั้ง 3 โมดูลได้รับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบบนแผง (G) อย่างสม่ำเสมอ โดยวัดค่า G ที่ตกกระทบบนแผงขณะนั้นได้เท่ากับ 950 W/m^2 ขณะที่อุณหภูมิเซลล์ (T_{cell}) วัดได้ 62°C



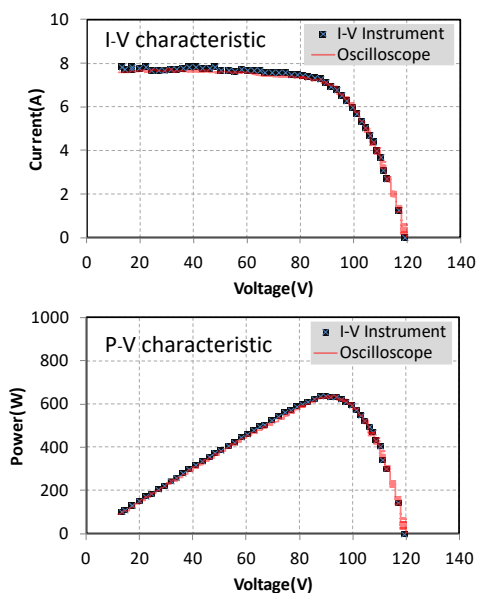
รูปที่ 12 แผนผังการต่อระบบทดสอบเครื่องตรวจวัด

เมื่อทำการกดปุ่ม Test เพื่อสั่งให้เริ่มการทดสอบ จะได้รูปคลื่นกระแสและแรงดันที่ตรวจวัดได้ โดยออสซิลโลสโคปดังรูปที่ 13



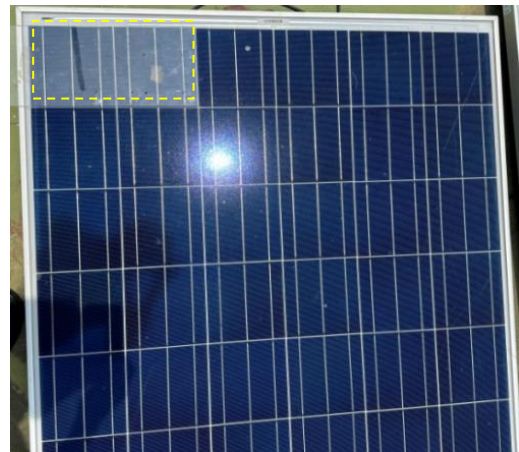
รูปที่ 13 รูปคลื่นกระแสและแรงดันเทียบเวลา ในช่วงเวลา T_{charge} (เงื่อนไขการทดสอบที่ 1)

ชุดข้อมูลกระแส-แรงดัน และกำลัง-แรงดัน ที่บันทึกไว้ในออสซิลโลสโคปและเครื่องตรวจวัดฯ ถูกนำมาพล็อตเปรียบเทียบกัน แสดงดังรูปที่ 14

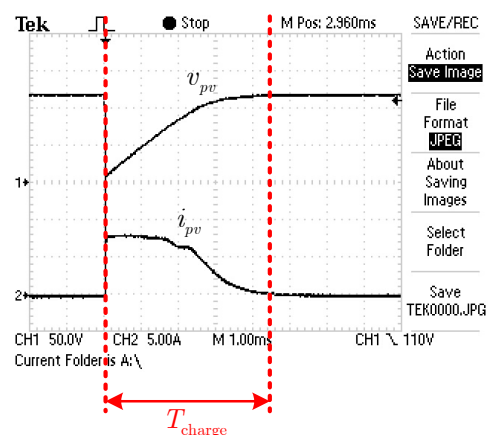


รูปที่ 14 เปรียบเทียบกราฟที่พล็อตจากข้อมูลที่บันทึกได้จากออสซิลโลสโคปกับเครื่องตรวจวัดฯ (เงื่อนไขการทดสอบที่ 1)

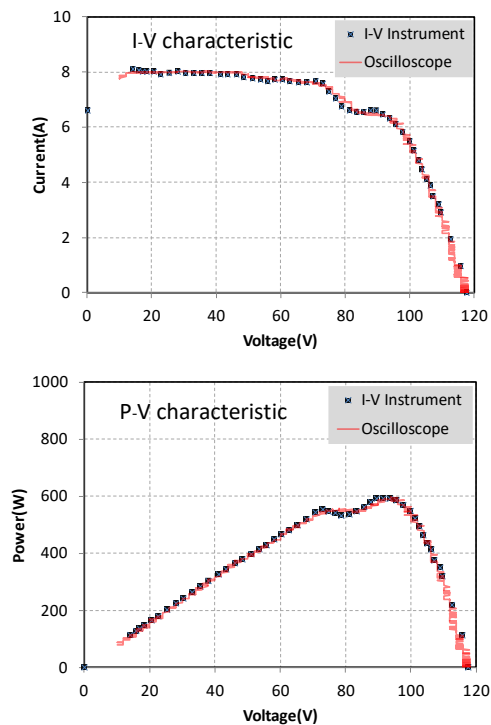
เงื่อนไขการทดสอบที่ 2 ทำการทดสอบในสภาวะการบังเงาบางส่วน โดยนำแผ่นอะคลิลิกใสมาบัง 2 เซลล์ของโมดูลที่ 1 ดังรูปที่ 15 ส่วนที่ถูกบังนี้วัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ได้เท่ากับ 830 W/m^2 ในขณะที่ส่วนอื่นที่ไม่ถูกบังวัดได้ 980 W/m^2 อุณหภูมิเซลล์ (T_{cell}) เท่ากับ 68°C ผลการทดสอบที่สภาวะตามเงื่อนไขที่ 2 แสดงดังรูปที่ 16 และ 17



รูปที่ 15 ภาพถ่ายการทดสอบขณะบางส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกบังด้วยแผ่นอะคลิลิกใส



รูปที่ 16 รูปคลื่นกระแสและแรงดันเทียบเวลา ในช่วงเวลา T_{charge} (เงื่อนไขการทดสอบที่ 2)



รูปที่ 17 เปรียบเทียบกราฟที่พล็อตจากข้อมูลที่บันทึกจากออสซิลโลสโคปกับเครื่องตรวจวัดฯ (เงื่อนไขการทดสอบที่ 2)

ผลการทดสอบทั้ง 2 กรณีข้างต้นแสดงให้เห็นว่าวงจรการชาร์จประจุ วงจรวัดกระแสและแรงดันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมทั้งโปรแกรมควบคุมการจดชววนเอสซีอาร์และการสุ่มสัญญาณทำงานได้อย่างถูกต้อง ทั้งในกรณีที่แผงได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ

4.2 การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องตรวจวัดที่พัฒนากับเครื่องตรวจวัดที่ขายเชิงพาณิชย์

ผลการวัดตัวแปรทางไฟฟ้าที่สำคัญซึ่งได้จากเครื่องตรวจวัดกระแส-แรงดันที่นำเสนอถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากเครื่องตรวจวัดที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ยี่ห้อ METREL รุ่น MI 3109 (รูปที่ 18)



รูปที่ 18 เครื่องตรวจวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อ METREL รุ่น MI 3109



รูปที่ 19 ภาพถ่ายการทดสอบขณะบางส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกเงาบัง 100% ด้วยแผ่นทึบ

ปริมาณทางไฟฟ้าที่สำคัญที่อ่านได้จากเครื่องมือตรวจวัดที่พัฒนาเปรียบเทียบกับเครื่องตรวจวัดที่ขายเชิงพาณิชย์ แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าที่วัดได้น้อยกว่า 4% ในทุกกรณีที่ทดสอบ ถ้าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงขึ้น เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนจะลดลง และหากบางส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกเงาบัง 100% (รูปที่ 19) จะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าที่วัดมากขึ้น เนื่องจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันในช่วงทรานเซียนด์จะมีลักษณะที่ซับซ้อนขึ้น ดังรูปที่ 16 ทำให้กระแสและแรงดันที่ได้จากการสุ่มสัญญาณอาจมีความถูกต้องลดน้อยลง โดยข้อมูลท้ายสุดของตารางแสดงให้เห็นว่าการถูกบดบังจากวัสดุทึบแสง (รูปที่ 15) จะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการวัดเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องตรวจวัดฯ กับเครื่องตรวจวัดที่ขายเชิงพาณิชย์

สภาวะการทดสอบ	ตัวแปร	เครื่องตรวจวัดฯ	METREL รุ่น MI 3109	Error
$G = 458 \text{ W/m}^2$ $T_{\text{cell}} = 53^\circ \text{C}$	V_{oc} (V)	116.8	114.7	+1.83 %
	V_{mpp} (V)	92.1	92.5	-0.43 %
	I_{sc} (A)	3.61	3.75	-3.73 %
	I_{mpp} (A)	3.51	3.39	+3.50 %
	P_{mpp} (W)	324	313	+3.51 %
$G = 738 \text{ W/m}^2$ $T_{\text{cell}} = 63^\circ \text{C}$	V_{oc} (V)	116.1	114.1	+1.75 %
	V_{mpp} (V)	88	87.3	+0.80 %
	I_{sc} (A)	6.82	6.81	+0.14 %
	I_{mpp} (A)	6.22	6.16	+0.97 %
	P_{mpp} (W)	547	538	+1.67 %
$G = 715 \text{ W/m}^2$ $T_{\text{cell}} = 62^\circ \text{C}$ และมี 1 เซลล์ถูกเงาบัง 100%	V_{oc} (V)	117.0	114.9	+1.82 %
	V_{mpp} (V)	76.7	79.2	-3.16 %
	I_{sc} (A)	6.42	6.46	-0.62 %
	I_{mpp} (A)	6.07	5.81	+4.47 %
	P_{mpp} (W)	466	461	+1.08 %
$G = 692 \text{ W/m}^2$ $T_{\text{cell}} = 61^\circ \text{C}$ และมี 4 เซลล์ถูกเงาบัง 100%	V_{oc} (V)	115.5	113.6	+1.67 %
	V_{mpp} (V)	64.9	67.5	-3.85 %
	I_{sc} (A)	6.22	6.30	-1.26 %
	I_{mpp} (A)	5.72	5.73	+0.17 %
	P_{mpp} (W)	372	387	-3.86 %
$G = 980 \text{ W/m}^2$ $T_{\text{cell}} = 67^\circ \text{C}$ และมี 2 เซลล์ถูกเงาบัง ทำให้ $G=870 \text{ W/m}^2$	V_{oc} (V)	115.2	113.2	+1.76 %
	V_{mpp} (V)	89.5	90	-0.56 %
	I_{sc} (A)	8.32	8.33	-0.12 %
	I_{mpp} (A)	6.72	6.71	+0.15 %
	P_{mpp} (W)	602	603	-0.17 %

5. สรุปผล

บทความนี้ได้นำเสนอรายละเอียดการออกแบบและพัฒนาเครื่องตรวจวัดคุณลักษณะกระแส-แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การออกแบบได้ใช้ส่วนประกอบและไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมที่มีราคาไม่สูง แต่สามารถตรวจวัดตัวแปรทางไฟฟ้าที่สำคัญของแผงเซลล์อาทิตย์ขณะติดตั้งใช้งานจริงได้

ผลลัพธ์เทียบเท่าเครื่องมือที่นำเข้าจากต่างประเทศแต่มีต้นทุนต่ำกว่าหลายสิบเท่า เครื่องตรวจวัดที่นำเสนอมีประโยชน์ในการนำไปใช้เพื่อตรวจวัดความสมบูรณ์ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และยังสามารถใช้งานในการตรวจวัดและบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เมื่อระบบถูกใช้งานไปช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้วในอนาคตสามารถพัฒนาให้สามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อใช้ประโยชน์ข้อมูลการตรวจวัดได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Krungthai (2023, April 30). "Solar Rooftop Household sector, an additional source of income for real estate developers" [Online] (in Thai). Available: https://krungthai.com/Download/economyresources/EconomyResourcesDownload_457Solar_Rooftop_ภาคครัวเรือน_แหล่งรายได้เสริมของผู้พัฒนาอสังหาฯ_31_03_64.pdf
- [2] M. A. Cluintana, D. L. King, T. J. McMahon and C. R. Osterwald "Commonly observed degradation in field-aged photovoltaic modules," in Proc. *Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, USA, 19-24 May 2002 , pp. 1436 – 1439.
- [3] Y. Hishikawa and K. Morita "Initial drop in I_{sc} of the field test c-Si PV modules in Japan," in Proc. *3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, Japan, 11-18 May 2003, pp. 2916-2920.
- [4] U. Schwabe and P. M. Jansson, "Performance measurement of amorphous and monocrystalline silicon PV modules in Eastern U.S. Energy production versus ambient and module temperature," in Proc. *2009 IEEE Instrumentation*

- and Measurement Technology Conference, Singapore, 5-7 May 2009, pp. 1636-1641.
- [5] V.J. Leite, J. Batista, F. Chenlo and J.L. Afonso, "Low-cost instrument for tracing current-voltage characteristics of photovoltaic modules," *Renewable Energy and Power Quality Journal*, vol.1, no.10, pp.1012-1017, Apr. 2012.
- [6] E.E. Van Dyk, A.R. Gxasheka and E.L. Meyer, "Monitoring current-voltage characteristics and energy output of silicon photovoltaic modules," *Renewable Energy*, vol. 30, no.3, pp. 399-411, Mar. 2005.
- [7] V. Leite, F. Chenlo, "An improved electronic circuit for tracing the I-V characteristics of photovoltaic modules and strings", in Proc. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREQP'10)*, Spain, 23-25 Mar. 2010.
- [8] A. Garrigós and J.M. Blanes, "Power MOSFET is core of regulated-DC electronic load," *EDN*, vol.50, pp.92-93, Mar. 2005.
- [9] Yingying Kuai and S. Yuvarajan, "An electronic load for testing photovoltaic panels," *Journal of Power Sources*, vol.154, no.1, pp. 308-313, Mar. 2006.
- [10] P. Papageorgas, D. Piromalis, T. Valavanis, S. Kambasis, T. Iliopoulou and G. Vokas, "A low-cost and fast PV I-V curve tracer based on an open source platform with M2M communication capabilities for preventive monitoring," *Energy Procedia*, vol.74, pp.423-438, Aug. 2015.
- [11] E. E. Van Dyk, A. R. Gxasheka and E. L. Meyer, "Monitoring current-voltage characteristics of photovoltaic modules," in Proc. 2002 the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, USA, 19-24 May 2002, pp. 1516-1519.
- [12] H. Amiry, M. Benhmida, R. Bendaoud, C. Hajjaj, S. Bounouar, S. Yadir, K. Raïs and M. Sidki, "Design and implementation of a photovoltaic I-V curve tracer: Solar modules characterization under real operating conditions," *Energy Conversion and Management*, vol. 169, pp. 206-216, 2018.
- [13] Y. Zhu, W. Xiao, "A comprehensive review of topologies for photovoltaic I-V curve tracer," *Solar Energy*, vol. 196, pp. 346-357, 2020.
- [14] Microchip. (2023, Apr. 30). "ATmega328P datasheet" [Online]. Available: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- [15] T. Selmi, M. Bouzguenda, A. Gastli and A. Masmoudi, "MATLAB/Simulink based modelling of solar photovoltaic cell," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 2, no.2, pp. 213-218, Feb. 2012.
- [16] S. M. Alghuwainem, "Matching of a DC motor to a photovoltaic generator using a step-up converter with a current-locked loop," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 9, no. 1, pp. 192-198, March 1994, doi: 10.1109/60.282492.
- [17] S. Salman, X. Ai and Z. Wu, "Design of a P-&-O algorithm based MPPT charge controller for a stand-alone 200W PV system," *Protection and Control of Modern Power Systems*, vol.3, no.25, pp.1-8, Aug. 2018.
- [18] M. Ned, U. M. Tore and R. P. William, *Power Electronic*, John Wiley and sons, 1995.

- [19] ST. (2023, Apr. 30). “TN4015H-6T datasheet” [Online]. Available:
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/tn4015h-6t.pdf>
- [20] Allegro MicroSystems. (2023, Apr. 30). “ACS712 datasheet” [Online]. Available:
<https://www.es.co.th/Schematic/PDF/ACS712-ALLEGRO.PDF>
- [21] Texas Instruments. (2023, Apr. 30). “ISO224 datasheet” [Online]. Available:
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/iso224.pdf>
- [22] Suntech. (2023, Apr. 30). “STP290-24/Vd datasheet” [Online]. Available:
https://selasenergy.gr/technical%20data/solar-panels/suntech/STP_285-290.pdf

ประวัติผู้ประพันธ์ :



ผศ.ดร. โชคชัย ชื่นวัฒนาประณิธิ
 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยบูรพา
 งานวิจัยที่สนใจ: ระบบผลิต
 ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และ
 การประยุกต์ใช้วงจร
 อิเล็กทรอนิกส์กำลัง



ผศ.ดร. มณฑนา รังลิโยภาส
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยบูรพา
 งานวิจัยที่สนใจ: เทคโนโลยี
 พลังงานและระบบทางความร้อน

การรับรู้ความเสี่ยงและพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานของพนักงานเก็บขยะมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร

Risk Perception and Hazard Prevention Behaviors of Garbage Collector of the Sathon District

พัศพิชชา ทองจิราอนันต์^{1,2}, นิภัตรา หริตวร³ และ ลักษณา เหล่าเกียรติ³

Patpischar Tongjeera-anunt^{1,2}, Nipattra Haritavorn³ and Laksana Loakiat³

¹หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอนามัยสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

²ฝ่ายสิ่งแวดล้อมและสุขาภิบาล สำนักงานเขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร

³คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : laksana.loakiat@gmail.com

วันที่รับบทความ: 15 พฤษภาคม 2566 / วันที่แก้ไขบทความ: 13 กรกฎาคม 2566 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 21 กรกฎาคม 2566

บทคัดย่อ การวิจัยครั้งนี้เป็นศึกษาเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการรับรู้ความเสี่ยงและพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานของพนักงานเก็บขยะมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร กลุ่มตัวอย่างเป็นพนักงานเก็บขยะมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร จำนวน 130 คน เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามและสัมภาษณ์ผู้บริหาร วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ การทดสอบไคสแควร์ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน โดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการวิจัยพบว่าพนักงานเก็บขยะมูลฝอย มีการรับรู้ความเสี่ยงจากการทำงานโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี เพียงร้อยละ 38.5 แต่กลับพบว่าพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี ถึงร้อยละ 53.1 ปัจจัยส่วนบุคคล สุขภาพและความปลอดภัย ที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ รอบเวลาการปฏิบัติงาน ($p=0.042$) ระยะเวลาการปฏิบัติงานในรอบวัน ($p<0.001$) และอุบัติเหตุ/เจ็บป่วยจากการทำงาน ($p=0.001$) และพบว่าการรับรู้ความเสี่ยงจากการทำงานมีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานในระดับปานกลาง ($r=0.498, p<0.01$) จากการสัมภาษณ์ผู้บริหาร พบว่า สำนักงานเขตสาทรใช้วิธีทางด้านการบริหารจัดการเพื่อการป้องกันควบคุมอันตรายจากการทำงาน ได้แก่ การประกาศนโยบายของหน่วยงาน การจัดอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากการทำงาน การจัดทำข้อปฏิบัติหรือแนวทางมาตรฐานการปฏิบัติงาน รวมทั้งการสนับสนุนอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ดังนั้นสำนักงานเขตสาทรควรมีการเสริมสร้างพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานของพนักงานเก็บขยะมูลฝอยให้คงอยู่ในระดับดีอย่างต่อเนื่อง โดยเสริมสร้างให้มีพฤติกรรมในด้านการปฏิบัติตามกฎระเบียบ ข้อบังคับ ใ้หมากขึ้น เช่น การกำหนดบทลงโทษที่ชัดเจน และการให้ข้อมูลเกี่ยวกับการปฏิบัติหน้าที่ถูกต้องในการทำงาน ซึ่งจะช่วยให้การทำงานเก็บขยะมูลฝอยมีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การรับรู้ความเสี่ยง, พฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน, พนักงานเก็บขยะมูลฝอย

Abstract The objectives of this cross-sectional descriptive research were to study the risk perception and hazard prevention behaviors of garbage collectors in the Sathon district office. The data were collected among 130 garbage collectors who had worked in this office at least 6 months by using a questionnaire and interviewed the executive officers related to occupational safety management. Descriptive statistics used for analysis were frequency, percentage, mean, and standard deviation, while inferential statistics were Chi-square and Pearson's product-moment correlation coefficient at the statistical significance level of 0.05. The result showed that garbage collectors had a risk perception at a good level of only 38.5%, but the overall occupational hazard prevention behavior was at a good level of 53.1%. Personal factors, health and safety factors that had statistically significant correlation with occupational hazard prevention behaviors, were work cycle ($p=0.042$), working time in the day ($p<0.001$), and work-related accidents/illnesses ($p<0.001$). There was a moderate positive correlation between risk perception and occupational hazard prevention behavior ($r=0.498$, $p\text{-value}<0.01$). In addition, the interview results revealed that the Sathon district office had administrative control for occupational hazard prevention such as organizational safety policy, preventive training program, and supported personal protective equipment. Therefore, the Sathon district office should enhance the garbage collectors' occupational hazard prevention behaviors at a good level continually by setting compliance with rules or regulations about occupational hazard prevention behaviors, such as establishing a clear penalty and providing information about correct occupational practices which will help workers collecting waste more efficient and safer.

Keywords: Risk perception, Occupational hazard prevention behaviors, The garbage collector

1. บทนำ

ขยะเป็นปัญหาที่รัฐบาลให้ความสำคัญในการแก้ไขอย่างต่อเนื่อง ทั้งในแง่ของปริมาณและการกำจัด มติคณะรัฐมนตรีในการประชุมเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2559 เห็นชอบกับแผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศ (พ.ศ. 2559-2564) เพื่อแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยตามนโยบายรัฐบาลที่กำหนดให้เป็นวาระแห่งชาติ เมื่อแผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศฉบับแรกได้สิ้นสุดลง กรมควบคุมมลพิษจึงดำเนินการจัดทำแผนแม่บทฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2565-2570) เพื่อเป็นกรอบและแนวทางในการขับเคลื่อนการแก้ไขปัญหา

ภาวะมลพิษจากขยะที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความเดือดร้อน และสุขภาพอนามัยของประชาชน

สถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทยพบว่า ปี 2564 มีขยะมูลฝอยเกิดขึ้น 24.98 ล้านตัน ลดลงร้อยละ 1.54 จากปี 2563 ที่มีปริมาณ 25.37 ล้านตัน เช่นเดียวกันกับสถานการณ์ขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานครที่พบว่า ปี 2564 มีปริมาณขยะ 8,674.73 ตัน/วัน ลดลงจากปี 2563 ที่มีปริมาณ 9,520 ตัน/วัน [1] เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา (COVID-19) ภายใต้มาตรการล็อกดาวน์และการจำกัดการใช้ชีวิตประจำวัน และกิจกรรมของประชาชน ทำให้มูลฝอยในภาพรวม

ของกรุงเทพมหานครลดลง แต่ในทางกลับกันพบว่าปริมาณขยะพลาสติกและมูลฝอยติดเชื้อเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการใช้พลาสติกครั้งเดียวทิ้งและจำนวนผู้ติดเชื้อที่มีเป็นจำนวนมาก [2]

สำนักงานเขตสาทรเป็น 1 ใน 50 เขตการปกครองของกรุงเทพมหานคร เป็นเขตศูนย์กลางธุรกิจการค้า การศึกษาและการทูต มีประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น ส่งผลให้เกิดการอุปโภคบริโภคอุปกรณ์และสิ่งของเครื่องใช้ต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก และเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้วกลายเป็นขยะมูลฝอยจำนวนมากมหาศาล ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งจากปัญหาขยะมูลฝอยล้นเมืองและขยะมูลฝอยตกค้างในหลายพื้นที่ สถิติปริมาณขยะมูลฝอยที่สำนักงานเขตสาทรจัดเก็บได้ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 มีปริมาณ 46,730.30 ตัน/ปี เฉลี่ย 128.03 ตัน/วัน โดยพนักงานประจำรถเก็บขนมูลฝอย ฝ่ายรักษาความสะอาด และสวนสาธารณะ สำนักงานเขตสาทร จะดำเนินการเก็บขนมูลฝอยตามบ้านเรือน ชุมชน อาคาร สถานที่ต่าง ๆ รวมถึงในถนนสายหลักและสายรอง ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 9.326 ตารางกิโลเมตร มีพนักงานเก็บขนมูลฝอยจำนวน 130 คน เป็นลูกจ้างประจำ จำนวน 59 คน และลูกจ้างชั่วคราว จำนวน 71 คน มีรถเก็บขนมูลฝอยทั้งหมดจำนวน 35 คัน โดยรถเก็บขนมูลฝอย 1 คัน ประกอบด้วยพนักงานขับรถ 1 คน และพนักงานเก็บขนมูลฝอย 2-4 คน ขึ้นอยู่กับประเภทและขนาดของรถเก็บขนมูลฝอย มีการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบในการเก็บขนมูลฝอยออกเป็น 3 โซน ได้แก่ โซนแขวงทุ่งวัดดอน จำนวน 48 คน โซนแขวงทุ่งมหาเมฆ จำนวน 47 คน และโซนแขวงยานนาวา จำนวน 35 คน ซึ่งในแต่ละวันจะแบ่งการออกปฏิบัติงานเป็น 4 รอบ คือ รอบที่ 1 เวลา 00.00-08.00 น. รอบที่ 2 เวลา 05.00-13.00 น. รอบที่ 3 เวลา 16.00-24.00 น. และรอบเร่งด่วน เวลา 08.00-16.00 น. ปฏิบัติงานต่อเนื่องกัน 6 วันต่อสัปดาห์ มีวันหยุด 1 วันคือวันอาทิตย์

การทบทวนวรรณกรรมพบว่าพนักงานเก็บขนมูลฝอยต้องเผชิญกับลักษณะงานที่อาจก่อให้เกิดอันตราย

และความเสี่ยงไม่ว่าจะเป็นการปฏิบัติงานในเวลา กลางคืน ซึ่งมีแสงสว่างในการเก็บขยะไม่เพียงพอ [3] การทำงานบนท้องถนนที่มีการสัญจร อาจเกิดอุบัติเหตุจากยานพาหนะและได้รับบาดเจ็บจากรถเฉี่ยวชน [4] การสัมผัสขยะติดเชื้อรวมถึงอันตรายจากเชื้อโรคในขยะประเภทกระดาษชำระ ถุงยางอนามัย ผ้าอนามัย เศษอาหารเน่าบูด และซากสัตว์ หากสัมผัสโดยตรงในขณะที่ผิวหนังมีรอยเปิดเป็นแผลหรือรอยถลอก อาจทำให้เกิดเชื้อที่ก่อโรคต่าง ๆ ได้ อันตรายจากของมีคมบาด ทิ่มแทง จนอาจเกิดแผลติดเชื้อและบาดเจ็บ [5]

ส่วนสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการทำงานและก่อให้เกิดความเสี่ยงของพนักงานเก็บขนมูลฝอย ได้แก่ เสียงดังจากเครื่องจักร รถบรรทุกขยะ อาจเป็นเหตุให้พนักงานเก็บขนมูลฝอยหูตึง เสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน ความสั่นสะเทือนที่ทำให้ระบบประสาทผิดปกติ อีกทั้งฝุ่นละออง ควั่น ที่ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ [6] ด้านตัวบุคคลยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดโรคและการบาดเจ็บอันเนื่องมาจากการทำงาน กล่าวคือ พนักงานเก็บขยะส่วนมากจะเลหย ขาดความตระหนักในเรื่องของการป้องกันตนเองและการดูแลสุขภาพ ไม่สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายในขณะที่ทำงาน มีท่าทางการปฏิบัติงานที่ไม่ถูกต้อง อีกทั้งยังมีพฤติกรรมเสี่ยงที่ไม่เหมาะสม เช่น สูบบุหรี่ ดื่มสุราขณะปฏิบัติงาน ขาดความรู้และทักษะในการปฏิบัติตนเพื่อให้เกิดความปลอดภัยจากการทำงาน [7]

อันตรายและความเสี่ยงที่เกิดขึ้นได้กับพนักงานเก็บขนมูลฝอยดังกล่าวข้างต้นนั้น ในเชิงทฤษฎีสามารถป้องกันได้หากพนักงานมีการรับรู้ภาวะเสี่ยงอันตราย ซึ่งหมายถึงการที่พนักงานมีความรู้สึกรับรู้ถึงอันตรายหรือมีความเข้าใจเกี่ยวกับโอกาสที่ตนจะได้รับอันตราย ซึ่งเป็นจุดกระตุ้นของการเกิดพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงอันตรายเหล่านั้น [8] ฉะนั้น การรับรู้ภาวะเสี่ยงอันตรายของพนักงานเก็บขนมูลฝอยจึงมีความสำคัญมาก เพราะเป็นสิ่งบ่งบอกความตระหนักของพนักงานเก็บขนมูลฝอยต่อความเสี่ยงการเกิดปัญหาสุขภาพจากการ

ทำงาน และจะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานที่ปลอดภัย ดังนั้น การศึกษาการรับรู้ความเสี่ยงและพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร จะทำให้ได้ข้อมูลเพื่อให้เจ้าหน้าที่และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหามาตรการป้องกันอันตรายจากการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอยให้มีความปลอดภัย เพื่อลดความเสี่ยงและการเกิดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงาน รวมถึงการส่งเสริมการจัดสวัสดิการดูแลสุขภาพของพนักงานเก็บขนมูลฝอยให้เหมาะสม เพื่อลดการะคายรักษาพยาบาลของกรุงเทพมหานคร และคงไว้ซึ่งภาวะสุขภาพที่ดีของพนักงานเก็บขนมูลฝอยต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาการรับรู้ความเสี่ยง และพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย

2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ความเสี่ยง และระดับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย

3. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive research) กลุ่มตัวอย่างเป็นพนักงานเก็บขนมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร จำนวน 130 คน เลือกแบบเจาะจงตามเกณฑ์คัดเข้า (Inclusion criteria) ได้แก่ 1) เป็นพนักงานเก็บขนมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร ที่ปฏิบัติงานมาแล้ว 6 เดือนขึ้นไป 2) อายุระหว่าง 18-60 ปี และยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย และสัมภาษณ์กลุ่มผู้บริหาร ในประเด็นเกี่ยวกับการจัดการด้านสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย

3.1 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้การวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นจากทฤษฎีแนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

1) แบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคล ซึ่งเป็นข้อมูลทั่วไปของพนักงานเก็บขนมูลฝอย ลักษณะของข้อคำถามเป็นแบบการตรวจรายการ (Checklist)

2) แบบสอบถามเกี่ยวกับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน ลักษณะของข้อคำถามมีทั้งเชิงบวกและเชิงลบ โดยใช้มาตรวัดประมาณค่าการปฏิบัติ (Rating scale) 5 ระดับ คือ ทุกครั้ง เกือบทุกครั้ง บางครั้ง นาน ๆ ครั้ง และไม่เคย การแปลผลพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ พฤติกรรมดี (120 คะแนนขึ้นไป) พฤติกรรมปานกลาง (105-119 คะแนน) และพฤติกรรมต่ำ/ควรปรับปรุง (น้อยกว่า 105 คะแนน)

3) แบบสอบถามเกี่ยวกับการรับรู้ความเสี่ยงหรืออันตรายจากการทำงาน ลักษณะของข้อคำถามมีทั้งเชิงบวกและเชิงลบ โดยใช้มาตรวัดประมาณค่าการรับรู้ (Rating scale) 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด การแปลผลการรับรู้ความเสี่ยงหรืออันตรายจากการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ การรับรู้มาก (80 คะแนนขึ้นไป) การรับรู้ปานกลาง (70-79 คะแนน) และการรับรู้น้อย (น้อยกว่า 70 คะแนน) และ

4) แบบสอบถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ ลักษณะข้อคำถามเป็นแบบสอบถามปลายเปิด โดยเปิดโอกาสให้พนักงานเก็บขนมูลฝอย ได้แสดงความคิดเห็นมีข้อคำถาม จำนวน 4 ข้อ ซึ่งครอบคลุมรายละเอียดเกี่ยวกับการรับรู้ความเสี่ยงและพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน

ส่วนการสัมภาษณ์ผู้บริหารสำนักงานเขตสาทร ใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-structured Interviews form) ข้อคำถามแบบปลายเปิด (Open-Ended) ที่ได้กำหนด

ไว้แน่นอน ในประเด็นเกี่ยวกับการจัดการด้านสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัย โดยการทดสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) ด้วยการนำแบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์ทั้งโครงสร้าง ส่งให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านตรวจสอบ แล้วนำผลคะแนนที่ได้มาคำนวณหาค่า IOC (Index of item objective congruence) โดยพบว่าข้อคำถามทุกข้อมีค่า $IOC \geq 0.5$ ขึ้นไป แสดงว่าข้อคำถามนั้นสามารถนำไปใช้ได้ การทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability) ดำเนินการภายหลังที่ได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัยในคน โดยการนำแบบสอบถามไปทดลองใช้ (Try out) กับกลุ่มพนักงานเก็บขนมูลฝอยที่ปฏิบัติงานในสำนักงานเขตอื่นจำนวน 30 คน และทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค พบว่าแบบสอบถามทั้งฉบับได้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) เท่ากับ 0.761 แสดงว่าแบบสอบถามมีระดับความเชื่อมั่นอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้ได้

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

โดยทำหนังสือขออนุญาตเก็บข้อมูลถึงผู้อำนวยการเขตสาทร เมื่อได้รับอนุญาตแล้ว มีการนัดหมายวันและเวลาเพื่อที่จะชี้แจงวัตถุประสงค์และขอความยินยอมเข้าร่วมในการวิจัย เมื่อได้รับการยินยอมแล้วจึงแจกแบบสอบถามให้กับพนักงานเก็บขนมูลฝอยตอบแบบสอบถามด้วยตนเอง ส่วนการสัมภาษณ์ผู้บริหารเขตมีการนัดหมายวันและเวลาก่อนที่จะเข้าพบและดำเนินการสัมภาษณ์

3.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 20, IBM, USA วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของพนักงานเก็บขนมูลฝอยด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าความถี่ ร้อยละ

ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้สถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ ไคสแควร์ (Chi-square) ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายในการปฏิบัติงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย และใช้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's product moment correlation coefficient) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ความเสี่ยงกับพฤติกรรมป้องกันอันตรายจากการทำงาน of พนักงานเก็บขนมูลฝอย โดยกำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p\text{-value} < 0.05$)

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัยในคนจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ชุดที่ 3 สาขาวิทยาศาสตร์ รหัสโครงการที่ 141/2563 เมื่อวันที่ 29 พฤศจิกายน 2563

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามและการสัมภาษณ์ผู้บริหารเกี่ยวกับการจัดการด้านสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอยนำเสนอประเด็นสำคัญได้ดังนี้

4.1 ผลการวิจัย

4.1.1 ลักษณะส่วนบุคคลของพนักงานเก็บขนมูลฝอย

พนักงานเก็บขนมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร ส่วนใหญ่ร้อยละ 42.3 มีอายุอยู่ในช่วง 40-59 ปี โดยมีอายุเฉลี่ย 41.6 ปี ร้อยละ 58.5 มีสถานภาพสมรส ร้อยละ 44.6 มีการศึกษาสูงสุดระดับมัธยมศึกษา ร้อยละ 50.0 มีรายได้ต่อเดือน 9,001-15,000 บาท ร้อยละ 60.0 เป็นลูกจ้างประจำ ร้อยละ 49.2 มีรอบเวลาการปฏิบัติงานเป็นรอบที่ 3 เวลา 16.00-24.00 น. ร้อยละ 81.6 มีระยะเวลาการปฏิบัติงานในรอบวัน ไม่เกิน 8 ชั่วโมง มีระยะเวลาที่ปฏิบัติงานในตำแหน่งพนักงานเก็บขนมูลฝอยเฉลี่ย 10.6 ปี และไม่เคยเกิดอุบัติเหตุ/เจ็บป่วยจากการทำงาน

การอบรมให้ความรู้ด้านความปลอดภัยในการทำงาน พบว่า ร้อยละ 76.2 ได้รับการอบรมการป้องกันโรคและอันตรายที่มาจากขยะมากที่สุด รองลงมา ร้อยละ 75.4 ได้รับการอบรมเรื่องการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล และเพียงร้อยละ 30.0 ได้รับการอบรมน้อยที่สุดเรื่องการจัดการความเครียด สุขภาพจิต

อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล ที่ได้รับจากหน่วยงาน พบว่า ร้อยละ 90.8 ได้รับถุงมือมากที่สุด รองลงมา ร้อยละ 88.5 ได้รับผ้าปิดปาก/จมูก และเสื้อกั๊กสะท้อนแสง และเพียงร้อยละ 5.4 ได้รับผ้าปิดคลุมศีรษะจากหน่วยงานน้อยที่สุด

4.1.2 การรับรู้ความเสี่ยงจากการทำงาน

การรับรู้ความเสี่ยงจากการทำงานของพนักงานเก็บขยะมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร โดยภาพรวม ร้อยละ 38.5 อยู่ในระดับดี รองลงมา ร้อยละ 33.8 อยู่ในระดับปานกลาง และร้อยละ 27.7 อยู่ในระดับต่ำ (ควรปรับปรุง) โดยมีคะแนนเฉลี่ย 69.5 คะแนน เมื่อจำแนกการรับรู้ความเสี่ยงจากการทำงานของพนักงานเก็บขยะมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร รายด้าน พบว่า ด้านการรับรู้โอกาสที่จะทำให้เกิดอันตรายจากการทำงาน ร้อยละ 36.2 มีการรับรู้ในระดับปานกลาง รองลงมา ร้อยละ 35.3 อยู่ในระดับดี และร้อยละ 28.5 อยู่ในระดับต่ำ (ควรปรับปรุง) ด้านการรับรู้ความรุนแรงของอันตรายจากการทำงาน ร้อยละ 36.9 มีการรับรู้ในระดับดี รองลงมา ร้อยละ 32.3 อยู่ในระดับปานกลาง และร้อยละ 30.8 อยู่ในระดับต่ำ (ควรปรับปรุง)

4.1.3 พฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน

พนักงานเก็บขยะมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร โดยภาพรวม ร้อยละ 53.1 มีพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานอยู่ในระดับดี รองลงมา ร้อยละ 45.4 อยู่ในระดับปานกลาง และร้อยละ 1.5 อยู่ในระดับต่ำ (ควรปรับปรุง) โดยมีคะแนนเฉลี่ย 121.9 คะแนน เมื่อจำแนกพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานของ

พนักงานเก็บขยะมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร รายด้าน พบว่า ด้านการปฏิบัติตามกฎระเบียบ ข้อบังคับ ร้อยละ 50.0 มีการปฏิบัติอยู่ในระดับปานกลาง รองลงมา ร้อยละ 48.5 อยู่ในระดับดี และร้อยละ 1.5 อยู่ในระดับต่ำ (ควรปรับปรุง) ด้านการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ร้อยละ 64.6 อยู่ในระดับดี รองลงมา ร้อยละ 33.1 อยู่ในระดับปานกลาง และร้อยละ 2.3 อยู่ในระดับต่ำ (ควรปรับปรุง) ด้านความพร้อมของร่างกาย ร้อยละ 50.0 อยู่ในระดับระดับปานกลาง รองลงมา ร้อยละ 46.9 อยู่ในระดับดี และร้อยละ 3.1 อยู่ในระดับต่ำ (ควรปรับปรุง)

4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ความเสี่ยงจากการทำงานและพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ความเสี่ยงจากการทำงานกับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน พบว่า การรับรู้ความเสี่ยงหรืออันตรายจากการทำงานมีความสัมพันธ์ทางบวกในระดับปานกลางกับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน ($r=0.498$) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ความเสี่ยงหรืออันตรายจากการทำงานรายด้าน กับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน พบว่า ด้านการรับรู้โอกาสที่จะทำให้เกิดอันตรายมีความสัมพันธ์ทางบวกในระดับปานกลางกับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน ($r=0.472$) และด้านการรับรู้ความรุนแรงของอันตราย มีความสัมพันธ์ทางบวกในระดับปานกลางกับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน ($r=0.374$) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ความเสี่ยงจากการทำงานกับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน

พฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน	r	p-value
การรับรู้ความเสี่ยงหรืออันตรายจากการทำงาน	0.498*	.000
ด้านการรับรู้โอกาสที่จะเกิดอันตราย	0.472*	.000
ด้านการรับรู้ความรุนแรงของอันตราย	0.374*	.000

*p < 0.01

4.1.5 แนวทางการจัดการด้านสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงาน

จากการสัมภาษณ์ (Interview) ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key information) จำนวน 7 คน ในประเด็นเกี่ยวกับการจัดการด้านสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร ประกอบด้วยผู้บริหาร ได้แก่ หัวหน้าหน่วยงาน (ผู้อำนวยการเขต) 1 คน ผู้ช่วยผู้อำนวยการเขต 2 คน หัวหน้าฝ่ายรักษาความสะอาดและสวนสาธารณะ 1 คน และหัวหน้างานเก็บขนมูลฝอย 3 คน สามารถสรุปแนวทางการจัดการด้านสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร ดังนี้

1) การบริหารจัดการ สำนักงานเขตสาทร แบ่งการบริหารจัดการด้านสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านนโยบายความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน โดยมีการประกาศนโยบายด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานของหน่วยงานเป็นหนังสือเวียนแจ้งให้ข้าราชการพร้อมทั้งลูกจ้างรับทราบข้อปฏิบัติ มีการประชุมมอบนโยบายให้ทุกฝ่ายดำเนินการส่งเสริมสุขภาพ และดูแลการปฏิบัติงานของผู้ได้บังคับบัญชาอย่างใกล้ชิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานภาคสนามของฝ่ายรักษาความสะอาดและสวนสาธารณะ ฝ่ายสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ และฝ่ายโยธา จะมีการประชุมเพื่อซักซ้อมการปฏิบัติให้ถูกต้อง มอบหมายหัวหน้างานติดตามผลการนำข้อปฏิบัติไปใช้ เพื่อที่จะได้รับทราบปัญหาและประเมินความเสี่ยงในการปฏิบัติงาน

ด้านคณะกรรมการหรือผู้รับผิดชอบงานด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน สำนักงานเขตสาทร ได้มีคำสั่งแต่งตั้งคณะกรรมการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน ซึ่งมอบหมายให้ฝ่ายสิ่งแวดล้อมและสุขภาพเป็นผู้รับผิดชอบหลัก โดยฝ่ายอื่น ๆ จะส่งเจ้าหน้าที่มาร่วมเป็นคณะกรรมการฯ

ส่วนด้านแผนงาน/โครงการ เกี่ยวกับความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน มีการจัดทำแผนการประเมินความเสี่ยงและนำมาจัดลำดับความเสี่ยงของงานในแต่ละฝ่าย จัดทำโครงการสนับสนุนโดยเน้นงานที่มีความเสี่ยงสูง ตามลำดับก่อนหลัง การเก็บบันทึกข้อมูลสถิติการเจ็บป่วย การได้รับบาดเจ็บ อันตราย หรือการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน จัดกิจกรรมสนับสนุนในการตรวจสุขภาพประจำปีให้แก่ข้าราชการ และลูกจ้างในหน่วยงาน จัดทำแผนการคุ้มครองการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล การฝึกอบรมให้ความรู้เรื่องการป้องกันอันตรายจากการปฏิบัติงาน โดยมีการประเมินความรู้ก่อนและหลังการอบรม

2) การจัดการความเสี่ยง แบ่งการจัดการออกเป็นด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านข้อปฏิบัติ แนวทาง หรือมาตรฐานการปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัยในการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย ยังไม่มีการจัดทำข้อปฏิบัติแนวทางมาตรฐานการปฏิบัติงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย เนื่องจากพบว่างานอื่นที่มีความเสี่ยงสูงกว่า ได้แก่ การเกิดอุบัติเหตุจากการตัดกิ่งไม้ แต่มีการแจ้งนโยบายเรื่องความปลอดภัยในการทำงานในการประชุมประจำเดือนของฝ่ายรักษาความสะอาดและสวนสาธารณะ ทั้งนี้เพื่อให้พนักงานเก็บขนมูลฝอยได้รับทราบ โดยให้หัวหน้างานเป็นผู้ควบคุม ตรวจสอบ และกวดขัน เพื่อป้องกันอุบัติเหตุและอันตรายจากการทำงาน

ด้านการประเมินความเสี่ยงอันตรายจากกิจกรรมการเก็บขนมูลฝอย แม้พบว่าความเสี่ยงไม่อยู่ในระดับสูง แต่มีการสนับสนุนอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลเพิ่มเติมให้มีปริมาณเพียงพอและเหมาะสม จัดอบรมให้ความรู้ด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานอย่างสม่ำเสมอ มีการติดตามและประเมินผล โดยกำหนดผลลัพธ์ของการจัดการความเสี่ยงในการทำงาน/อุบัติเหตุจากการทำงานให้เท่ากับ 0 เพื่อใช้ในการติดตามและประเมินผล สุดท้ายเผยแพร่

ประชาสัมพันธ์การดำเนินโครงการและผลสำเร็จของการดำเนินงานไปยังหน่วยงานภายนอก

3) ประเด็นปัญหา อุปสรรคของการดำเนินงานจัดการด้านสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร พบว่า ผู้ปฏิบัติงานยังขาดความตระหนักและไม่เห็นความสำคัญของการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลในการปฏิบัติงาน ต้องมีการกำกับ ควบคุม อย่างใกล้ชิด เครื่องมือในการปฏิบัติงานไม่เพียงพอ มีสภาพชำรุด ผู้ปฏิบัติงานจำนวนไม่เพียงพอกับพื้นที่รับผิดชอบ โดยเฉพาะมีอัตราว่างของลูกจ้างสูง จึงทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีภาระงานมากขึ้น ต้องทำงานแข่งกับเวลา และทำงานหนักเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ ผู้ปฏิบัติงานจะมีความปลอดภัยจากโรคอันตรายและอุบัติเหตุจากการทำงานหากมีการนำข้อปฏิบัติแนวทาง หรือมาตรฐานการทำงานของหน่วยงานที่มีผลสำเร็จไปใช้อย่างจริงจัง

ส่วนด้านสิ่งสนับสนุน มีปัญหา อุปสรรคเกี่ยวกับการจัดหางบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลที่มีคุณภาพดีและเหมาะสมในการใช้งานและให้มีจำนวนเพียงพอ ปัญหาเกี่ยวกับการจัดหาชุดปฐมพยาบาลเบื้องต้น ปัญหาเกี่ยวกับค่าเสี่ยงภัยสำหรับบุคลากร

4.2 อภิปรายผล

การศึกษานี้พบว่า พนักงานเก็บขนมูลฝอยสำนักงานเขตสาทร มีการรับรู้ความเสี่ยงจากการทำงานโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี เพียงร้อยละ 38.5 โดยมีคะแนนอยู่ในระดับปานกลาง และในระดับต่ำ (ควรปรับปรุง) ถึงร้อยละ 33.8 และ 27.7 ซึ่งจากข้อมูลส่วนบุคคลพบว่า พนักงานส่วนใหญ่ไม่เคยเกิดอุบัติเหตุหรือเจ็บป่วยจากการทำงาน จึงเป็นไปได้ว่าพนักงานจึงยังไม่เห็นความสำคัญและความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นตามมา ซึ่งเห็นได้จากคะแนนการรับรู้ด้านโอกาสที่จะทำให้เกิดอันตราย และด้านความรุนแรงที่มีคะแนนอยู่ในระดับดีเพียงร้อยละ

36.2 และ 36.9 แต่กลับพบว่าพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอยสำนักงานเขตสาทร โดยภาพรวมอยู่ในระดับดี ถึงร้อยละ 53.1 ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของวิราภรณ์ ทองยัง [9] ที่พบว่าพฤติกรรมการป้องกันโรคและการบาดเจ็บจากการทำงานของพนักงานเก็บขยะในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง และไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของนพรัตน์ เทียงคำดี [10] ที่พบว่าพฤติกรรมการป้องกันอุบัติเหตุจากการทำงานของพนักงานเก็บขยะ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี ในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง

เมื่อพิจารณาในรายละเอียดพบว่าพนักงานเก็บขนมูลฝอย มีพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานด้านการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ มากที่สุด ร้อยละ 64.6 และมีเพียงร้อยละ 2.3 เท่านั้นที่มีคะแนนในระดับต่ำ แสดงให้เห็นได้ว่าพนักงานเก็บขนมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร ส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานได้อย่างปลอดภัย มีการปฏิบัติงานตามข้อกำหนดของหน่วยงาน และมีการดูแลตนเองให้มีความพร้อมในการทำงานอย่างดี โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาพร้อมกับด้านการปฏิบัติตามกฎระเบียบ ข้อบังคับ และด้านความพร้อมของร่างกาย ที่พบว่ามีความเหมาะสมในระดับต่ำเพียงร้อยละ 1.5 และ 3.1 ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าพฤติกรรมการป้องกันในระดับดีนี้เกิดจากการที่พนักงานได้รับการอบรมการป้องกันโรคและอันตรายที่มาจากขยะ (ร้อยละ 76.2) และได้รับการอบรมเรื่องการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (ร้อยละ 75.4) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของภูไทย กมลวารินทร์ [11] ที่พบว่ากลุ่มพนักงานเก็บและขนมูลฝอยติดเชื่อที่เคยผ่านการฝึกอบรมจะมีค่าคะแนนเฉลี่ยพฤติกรรมการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองอันตรายส่วนบุคคลสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เคยผ่านการฝึกอบรม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลยังชี้ให้เห็นว่า การรับรู้ความเสี่ยงจากการทำงานมีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานในระดับ

ปานกลาง ($r=0.498$) โดยพนักงานเก็บขนมูลฝอยสำนักงานเขตสาทร มีการรับรู้โอกาสที่จะทำให้เกิดอันตรายจากการทำงาน มากที่สุดจากการสวมรองเท้าและขณะปฏิบัติงาน การไม่สวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลขณะปฏิบัติงาน และการปฏิบัติงานที่เร่งรีบแข่งกับเวลา นอกจากนั้นพนักงานเก็บขนมูลฝอยยังมีการรับรู้ระดับความรุนแรงจากการสูญเสียอวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย การสูญเสียชีวิต และการได้รับความพิการ ทุพพลภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศิริขวัญ ศรีสมศักดิ์ [12] ที่พบว่าการรับรู้ความรุนแรงของการเกิดอันตรายและอุบัติเหตุจากการทำงานมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมป้องกันอันตรายจากการทำงาน และสอดคล้องกับงานวิจัยของจุฑามาศ ศุภโคตร และศิราณี อินทรหนองไผ่ [13] ที่พบว่าการรับรู้ความเสี่ยงเกี่ยวกับอุบัติเหตุในการทำงานมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมป้องกันอุบัติเหตุในการทำงานของพนักงานโรงงานอุตสาหกรรม จังหวัดมหาสารคาม ($r=0.230$)

การศึกษานี้มีการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ (Interview) ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key information) ในประเด็นเกี่ยวกับการจัดการด้านสุขภาพและความปลอดภัยในการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย พบว่าสำนักงานเขตสาทร มีการประกาศนโยบายด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานของหน่วยงานเป็นลายลักษณ์อักษร และส่งหนังสือแจ้งเวียนเพื่อรับทราบข้อปฏิบัติ อีกทั้งมีการมอบนโยบายให้ทุกฝ่ายดำเนินการส่งเสริมสุขภาพและดูแลการปฏิบัติงานของผู้ได้บังคับบัญชาอย่างใกล้ชิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานภาคสนาม มีการประชุมเพื่อซักซ้อมการปฏิบัติให้ถูกต้อง ตลอดจนมีการประชุมติดตามผลการนำข้อปฏิบัติไปใช้เพื่อที่จะได้รับทราบปัญหาและประเมินความเสี่ยงในการปฏิบัติงาน ดังนั้น จะเห็นได้ว่าสำนักงานเขตสาทร ได้มีการดำเนินการป้องกันควบคุมอันตรายจากการทำงานด้วยวิธีทางด้านการบริหารจัดการ (Administrative control) โดยการประกาศนโยบายของหน่วยงานอย่างชัดเจน ซึ่ง

สอดคล้องกับงานวิจัยของนพรัตน์ เทียงคำดี [14] ที่พบว่านโยบายของหน่วยงาน ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมกรรมการป้องกันอุบัติเหตุจากและปัจจัยด้านนโยบายของหน่วยงานสามารถร่วมกันทำนายพฤติกรรมกรรมการป้องกันอุบัติเหตุจากการทำงานของพนักงานเก็บขยะได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของศุภวรรณ รัตนภิรมย์ [15] ที่พบว่า กลุ่มบริษัทบี.เอ.เอส.เอฟ.ในประเทศไทย มีการบริหารจัดการความปลอดภัยขององค์กร โดยมีการกำหนดมาตรการความปลอดภัยที่มีความชัดเจนและส่งเสริมให้พนักงานทุกคนในองค์กรปฏิบัติในทิศทางเดียวกัน ทำให้พนักงานได้รับความรู้ ความเข้าใจในการปฏิบัติงาน อีกทั้งมีความเคร่งครัดเรื่องความปลอดภัย และมีการสื่อสารด้านความปลอดภัยอย่างสม่ำเสมอ ทำให้พฤติกรรมกรรมการป้องกันอุบัติเหตุในการปฏิบัติงานของพนักงานระดับปฏิบัติการ กลุ่มบริษัทบี.เอ.เอส.เอฟ.ในประเทศไทยอยู่ในระดับมาก

นอกจากนั้นยังพบว่า สำนักงานเขตสาทร ได้มีจัดอบรมให้ความรู้ด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานอย่างสม่ำเสมอ อีกทั้งมีการประเมินความรู้ก่อนและหลังการอบรม ซึ่งถือได้ว่าเป็นกระบวนการทางปัญญา (Cognition process) เกิดการพัฒนาและนำไปสู่กระบวนการแสดงออก (Spatial behavior process) หลังจากผ่านขั้นตอนการรับรู้ โดยจะเห็นได้จากเมื่อผู้ปฏิบัติงานมีความรู้เกี่ยวกับอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานก็จะทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนทัศนคติ และสามารถปฏิบัติตนในการป้องกันอันตรายได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวิราภรณ์ ทองยัง [16] ที่พบว่าความรู้เกี่ยวกับการป้องกันโรคและการบาดเจ็บจากการทำงาน และการได้รับข้อมูลข่าวสารด้านสุขภาพ มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมกรรมการป้องกันโรคและการบาดเจ็บจากการทำงานของพนักงานเก็บขยะ

ข้อค้นพบจากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร โดยภาพรวมอยู่ในระดับดี

และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงาน คือ การรับรู้ความเสี่ยงจากการทำงาน และอาจได้รับอิทธิพลจากการดำเนินการป้องกันควบคุมอันตรายจากการทำงานด้วยวิธีทางด้านการบริหารจัดการ (Administrative control) โดยการประกาศนโยบาย มอบนโยบายให้ทุกฝ่ายดำเนินการ ประชุมเพื่อซักซ้อมการปฏิบัติให้ถูกต้อง ตลอดจนมีการประชุมติดตามผลการนำข้อปฏิบัติไปใช้ อีกทั้งจัดอบรมให้ความรู้ด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน อย่างสม่ำเสมอ มีการประเมินความรู้ก่อนและหลังการอบรม ซึ่งเป็นกระบวนการทางปัญญาและนำไปสู่กระบวนการแสดงออก โดยสะท้อนออกมาให้เห็นว่า พนักงานเก็บขนมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร มีพฤติกรรมกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานระดับดี

ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้วางแผน กำหนดแนวทางในการป้องกันอันตรายจากการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร และอาจเป็นแนวทางให้กับเขตอื่น ๆ ที่มีบริบทคล้าย ๆ กัน โดยสร้างการรับรู้ความเสี่ยงจากการทำงาน เพื่อให้เกิดพฤติกรรมกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานอยู่ในระดับดีอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะช่วยลดความสูญเสียและอุบัติเหตุจากการปฏิบัติงานได้

5. สรุปผล

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า พฤติกรรมกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานของพนักงานเก็บขนมูลฝอย สำนักงานเขตสาทร โดยภาพรวมอยู่ในระดับดี แม้ว่าพนักงานส่วนใหญ่จะมีการรับรู้ความเสี่ยงอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง เนื่องจากสำนักงานเขตสาทร ได้มีการดำเนินการป้องกันควบคุมอันตรายจากการทำงานด้วยวิธีทางด้านการบริหารจัดการ (Administrative Control) โดยการประกาศนโยบายของหน่วยงานอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานภาคสนาม มีการประชุมเพื่อซักซ้อมการปฏิบัติให้ถูกต้อง ตลอดจนมีการประชุมติดตามผลการนำ

ข้อปฏิบัติไปใช้ ซึ่งมาตรการดังกล่าวจะช่วยให้การทำงานเก็บขนมูลฝอยมีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น รวมทั้งสนับสนุนให้พนักงานเก็บขนมูลฝอยมีพฤติกรรมกรรมการป้องกันอันตรายจากการทำงานคงอยู่ในระดับดีอย่างต่อเนื่อง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ลักขณา เหล่าเกียรติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร. ณัฏฐา หริตวร กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนตรวจสอบข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณนายพันธ์ศักดิ์ เจริญสุข ผู้อำนวยการเขตสาทร นายธวัชชัย แพงไทย และนางสาวสุวิษญา นสมทรง ผู้ช่วยผู้อำนวยการเขตสาทร ขอขอบพระคุณนายสรนพ กนกฤทัยพันธ์ หัวหน้าฝ่ายรักษาความสะอาดและสวนสาธารณะ รวมทั้งหัวหน้างานเก็บขนมูลฝอย และขอขอบคุณพนักงานเก็บขนมูลฝอยฝ่ายรักษาความสะอาดและสวนสาธารณะ สำนักงานเขตสาทร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bureau of Environment Bangkok. "Solid waste volume statistics" (2021, May. 25). [Online]. Available: <https://webportal.bangkok.go.th/environmentbma/page/ssub/7405>.
- [2] Bureau of Environment Bangkok. (2021, May. 25). "Annual report. [Online]. Available: <https://webportal.bangkok.go.th/environmentbma/page/sub/8545>.

- [3] S. Sirasukol, "Health Condition of Garbage Collectors: the case study of municipalities in Nakhon Pathom Province." M.S. Thesis, Silpakorn Univ., 2011 (in Thai).
- [4] P. Pijadee, "Prevalence and risk factors associated with occupational injuries and disorders among garbage collectors in Bang Pa-in District, Ayutthaya." M.S. Thesis, Thammasat Univ., 2012 (in Thai).
- [5] S. Lakdee, "Investigation, knowledge, attitude, and behavior concerning infectious waste disposal by the staff of private health centers in municipal area, Ubon Ratchathani." M.S. Thesis, Ubon Ratchathani Univ., 2008 (in Thai).
- [6] M. Nanok and L. Chareerntanyarak, "Occupational hazard prevention behaviors of garbage collector in Khon Kaen Municipality," KRU Journal for Public Health Research, Vol. 13, no. 1, pp.48-59, Jan-Mar. 2020. (in Thai).
- [7] [9] [16] V. Thongyoung, "Factors related to the disease and occupational injuries of garbage collectors and their preventive behavior," M.S. Thesis, Mahidol Univ., 2009 (in Thai).
- [8] Wiedemann, P. M. & Schütz, H. (2005). The Precautionary Principle and Risk Perception: Experimental Studies in the EMF Area. Environmental Health Perspectives, 113: 402-405.
- [10] [14] N. Thiangkhamdee, "Factors influencing work-related accidental prevention behaviors of garbage collectors in Banglamung District Chonburi," M.N.S. Thesis, Burapha Univ., 2013 (in Thai).
- [11] P. Kamolwarin, "Knowledge and Health prevention Behaviors form Infected Waste Collection Staff in the Company and the Local Government Organization in Pathum Thani Province." Regional Health Promotion Center 9 Journal Vol. 15 No. 36 January-April 2021. (in Thai).
- [12] S. Srisomsak, "Relationship between Health Beliefs and Occupational Hazard Prevention Behaviors of Employees at Automobile Parts Factory in Rayong Province." M.S. Thesis, Borapha Univ., 2014 (in Thai).
- [13] J.Kochakot and S. Intaranongpai, "Workplace accidental preventing behavior of factory workers in Mahasarakham province," Journal of Humanities and Social Sciences Mahasarakham University, Vol.36, no.5, pp.12-20, Sep-Oct. 2017. (in Thai).
- [15] S. Rattanapirom, "Accident prevention behaviors of the operational employees of BASF Group Company in Thailand," M.S. Thesis, Silpakorn Univ., 2015 (in Thai).

ประวัติผู้ประพันธ์ :



พัศพิชชา ทองจิราอนันต์ นักวิชาการ
สุขาภิบาลชำนาญการพิเศษ หัวหน้า
ฝ่ายสิ่งแวดล้อมและสุขาภิบาล
สำนักงานเขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร
มีความสนใจงานวิจัยด้าน

การจัดการอนามัยสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย

Current Situation and Progress toward the 2030 Health-related Sustainable Development Goals (SDG 3): A Scoping Review in Thailand

Anunya Pradidthaprecha, Orawan Noiwat and Kultida Bunjongsiri*

School of Health Science, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi, Thailand

Corresponding author: Kultida73@gmail.com

Received: 28 March 2023 / Revised: 17 July 2023 / Accepted: 5 August 2023

Abstract By adopting the Sustainable Development Goals (SDGs) in 2015, all of the goals are interconnected, even if only SDG 3 focuses on ensuring healthy lives and promoting wellbeing for all people at all ages. The United Nation member set a number of audacious and ambitious health-related goals that must be accomplished by 2030. While one of the SDGs is “health”, several other “health-related” goals also included. Health-related objectives can serve to direct efforts to promote health, direct health policy, and evaluate progress. A goals-setting process almost always results in a higher focus on illness prevention and health promotion. For Agenda 2030 to be realized, integrated implementation across Goals is required. A multistakeholder, multi-actor response is necessary to implement the 2030 Agenda. In addition to discussion between governments, the commercial sector, civil society organizations, and nongovernmental organizations, innovations and advancement in policy, technology, and research are required. Most significantly, a committed community is required. It is essential to comprehend Thailand’s development toward these goals if population health for 70 million citizens is to be improved. While the body of literature already in existence is replete with normative suggestions for potentially helpful measures, there is less evidence of national implementation plans.

Keywords: Sustainable Development Goals, SDG 3, Health-related, Health and Well-Being, Thailand 4.0

1. Introduction

A series of audacious and ambitious health-related goals were defined by the Sustainable Development Goals (SDGs), which were adopted by all UN member states in 2015. The SDGs of the United Nations (UN), which took their place after the Millennium Development Goals (MDGs), which were already completed in 2015, represent the new development

agenda through 2030. Only target 3, “guarantee healthy lives and promote well-being for all at all ages,” specifically mentions health among the 17 SDGs, however 10 other goals make use of health-related indicators [1]. The Inter-Agency and Expert Group on SDGs Indicators released a total of 232 monitoring indicators, 50 of which are connected to health, to track and assess the advancement of member nations

[2]. Monitoring Health for the SDGs [3], Atlas of the SDGs [4], Index and Dashboards [5], and Global Burden of Disease (GBD). Study are just a few of the projects that have been created to monitor worldwide progress toward the health-related Goals [6].

According to the Department of Mental Health's research from 2019, Thailand has the 32nd-highest suicide rate in the world, with an average rate of 14.4 per 100,000 persons [7]. Additionally, it was shown that only 28% of the 1.5 million Thai people aged 15 and older who suffered from depression had access to treatment. In Thailand, there have been almost six attempts at suicide every hour over the previous few years. Depression is regarded as a major cause of death and is responsible for more than 70% of suicides. Thai people who should have had longer lives as a result of this circumstance pass away too soon. Additionally, empirical data suggests that the COVID-19 situation has resulted in a rise in suicide rates since 2020. According to reports, stress levels were higher among Thai people, which increased the prevalence of depression. Additionally, the long-lasting effects of the COVID-19 epidemic have left the general public in a condition of constant exhaustion, mental fatigue, and emotional vulnerability, which has diminished their capacity for resilience in the face of adversity [8]. Additionally, research has shown that older people with a history of COVID-19 infection had lower quality of life and a higher prevalence of depression than those without a history of infection. Therefore, the elderly's mental health should be given priority in effective planning and health policy actions aimed at lowering health-related concerns [9,10].

Thailand's 20-year sustainable development plans will be in line with the SDGs. The SDGs' 15-year plan will be covered by the strategies, which will also protect the nation's sustainable

development from political upheaval. According to the new constitution, the nation must have national policies and budgets that support those policies. The "Thailand 4.0" paradigm is another step along the Thai path to the SDGs. The nation must progress through its agricultural, industrial, and technical stages in order to build a creative, "smart" economy with a diverse culture that strives for sustainability. It must now move into its phase of development known as 4.0, which is characterized by a digital economy, increased quality of life for all people, and sustainable use of natural resources. The 12th National Economic and Social Development Plan, which covers the years 2017 through 2021, promotes conformity with the Paris Agreement and 20-year national strategies. To improve population health for Thailand's 70 million citizens [11], it is essential to comprehend the progress toward these goals. According to the most recent report from 2022, Thailand has an overall SDGs Index score of 74.1 and is ranked 44th out of 163 countries [12]. This indicates that Thailand has covered 75 percent of the distance. Nonetheless, a comparison of the SDGs Index for 2021 and 2022 would show a decline in Thailand's ranking. Thailand's score increased in 2022 as a result of the approach that saw new indicators added and the calculation methods modified. Since its beginning in 2002, Thailand's policy on universal health coverage (UHC) has advanced significantly. At all phases of life, every Thai citizen is now entitled to necessary preventive, curative, and palliative healthcare treatments. But the policy has issues, just like its counterparts abroad. In a country where a sizable segment of the population lives in poverty, a system that is primarily tax-financed will always try to keep expenses from rising. There are differences between the various health insurance plans that cover Thai citizens.

Government funding for national health care is significant, primarily to lower access costs for the underprivileged. Along with the development of Thai people's lifestyles, the population is aging, and the illness profiles of the population are changing [13].

In this article, we provide an overview of Thailand's current condition and development efforts in relation to the 2030 Sustainable Development Goals for Health. The main research questions of the study are: What is the present SDGs scenario in Thailand with regard to health issues? What are the drivers and inhibitors of the current SDGs environment in Thailand? What specific factors might need to be taken into account in future guidance?

2. Methodology

Using databases from PubMed, ISI Web of Science, Embase, Scopus, and ProQuest, a comprehensive examination of papers was conducted without regard to time constraints. A scoping examination of the grey literature was conducted in addition to the search using the official report depositories of the World Bank, United Nations, World Health Organization (WHO), and SDG Progress. After that, factors affecting the development of the SDGs and their pertinent indicators were discovered by an inductive content analysis. Finally, an evaluation instrument was created from a thorough set of indicators.

3. Determinants of health, and the global context

A paradigm shift in global health strategy is necessary to implement the SDGs, especially SDG 3, which aims to ensure healthy lives and promote wellbeing for all people, regardless of age. In order to accomplish the SDGs, there have been no noteworthy institutional, structural, or financial reforms to the governance of global health, and donors have not changed the way

they finance projects. The Global Finance Fund, which addresses the continuum of maternal, child, and adolescent health, was the only major effort established at the time of the SDGs in July 2015, although it still does not address the underlying social, political, and economic determinants of health [14]. To achieve this, it would be necessary to look at SDG 3 as a whole rather than as a collection of specific conditions, targets, or programs, and to go well beyond the constrained MDG health agenda. Significant reforms must be made to current financial institutions and tools, as well as possible repurposing [15]. For the SDGs to be implemented nationally, three major governance difficulties must be overcome, and they are particularly important for the health and health-related SDGs. Making difficult trade-offs while concentrating on equity, justice, and fairness; (1) cooperation between actors across scales, in multiple contexts, and throughout time is essential for implementing the SDGs. This can be done by creating inclusive decision spaces for stakeholder interaction across various sectors and scales; (2) ensuring that accountability systems are in place to hold societal actors responsible for decisions, investments, actions, and results that are responsible for commitments made by countries, communities, organizations, and other parties to SDG-related agreements; and (3) there will unavoidably be many tensions between equity, justice, and fairness, thus it's important to make sure that difficult trade-offs are made while concentrating on these concepts. This raises the urgent need to identify these trade-offs and solutions to them. When two things cannot be fully accomplished at the same time, a trade-off is giving up one component of the goal in exchange for gains in the other [16]. Climate change and the part that unchecked urbanization and shifting habitats play in raising the danger of infectious illnesses are undoubtedly two

topics of global significance that have emerged given their influence on populations and health. All health professionals should be involved in this problem since it is well acknowledged that there is a connection between climate change and environmental health on a global scale and how it impacts health outcomes. A threat to sustainable development is the negative impact of climate change on human potential and economic production [17]. Risks associated with climate change, such as droughts, extreme weather events, shifting disease patterns, water scarcity, and air pollution, require active mitigation and adaptation, as well as the necessary skills, resources, and funding. In the articles found, a variety of projects and suggestions regarding potential responsibilities for healthcare professionals were provided [18]. There are a number of suggested measures and modifications targeted at enhancing healthcare professionals' pre-, post-, and ongoing education regarding climate and environmental change, its effects, and its present and potential future effects on human health. Healthcare workers' awareness and readiness are meant to be increased by these efforts. Better evidence should be provided about how changing one's lifestyle can also improve one's health and the environment. Reduced meat consumption and, when possible, walking or bicycling instead of using a vehicle that contributes to climate change and environmental pollution are two examples of individual and group behaviors that healthcare professionals should actively encourage. However, healthcare professionals have a professional public health obligation to support the evaluation and application of effective interventions, to raise the level of knowledge among their peers, and to continue to inform and alert various audiences through potentially effective communication interventions

[19]. In actuality, the link between health problems and environmental and climatic change may serve as a powerful change agent.

Sustainable development is at risk due to climate change's negative effects on human capacity and economic production. Droughts, extreme weather events, shifting disease patterns, water scarcity, and air pollution are just a few examples of dangers associated to climate change that require active mitigation and adaptation, as well as the necessary skills, resources, and funding. A sustainable food systems approach, which promotes locally available, inexpensive, diversified nutritious foods as a method supporting environmental sustainability as well as the prevention of overweight and obesity, can also be used to effectively address the global nutrition issue [20]. SDG 3's primary global health target areas can be summed up as follows [2], [5], [21] : end the global epidemics of HIV/ AIDS, TB, Malaria, and other communicable diseases; reduce premature non-communicable disease mortality by one-third; lower infant and under-five mortality rates; lower maternal mortality rates; and promote universal access to life-saving medicines and vaccines that are high-quality, affordable, safe, and effective for everyone.

4. Overview of the current Situation of the health-related SDG indicators

The Sustainable Development Goals were released in 2015 and will have been in effect for seven years by 2023, when all 193 United Nations member nations will have ratified them. The "Sustainable Development Report" (SDR), a study report and assessment of progress in advancing the SDGs of each country. The Sustainable Development Solutions Network (SDSN), which is an assessment of SDGs performance that is recognized globally, is regarded as the most

up- to- date report on the SDGs and is accompanied by the yearly SDGs Index rankings [22] . Thailand's SDGs Index dropped from 43rd to 44th in the year 2022 SDR report. The score has been dropping since the COVID-19 crisis, and it is currently heading in the same negative direction as the global SDGs Index as a whole. Thailand is first among ASEAN members for the fifth consecutive year and is third overall in Asia on the SDGs Index, behind only Japan (19th) and South Korea (27th), and first in East and South Asia (2019 - 2022). While Thailand has the highest SDG Index ranking among its neighbors, it has only ever maintained one Goal in an achievable state (green), namely SDG 1 (Eradicate Poverty). The five targets, which include social (SDG 2 and SDG 3), environmental (SDG 14 and SDG 15), and peace (SDG 16) challenges, are still in the most challenging situation (red) and have not changed from the previous year.

The main focus of SDG 3 is mortality from noncommunicable diseases (NCDs) , with heart disease being one of the NCDs issue (SDG 3. 4) . It has continued to be Thailand's leading cause of death in recent years, along with diabetes, asthma, and high blood pressure [3] . Furthermore, greater numbers frequently occur. This is caused by a variety of factors, including deteriorating urban environmental problems, shifting lifestyles, and health-related activities. The death rate from suicide has also increased over the previous five years. The greatest rate of 48.9 cases per 100,000 people in 2019 was caused by cerebrovascular illness. In addition, the suicide death rate has grown during the past five years [23].

Road traffic accidents are the second largest cause of death among non-communicable diseases (SDG 3.6). Thailand has the ninth-worst global road fatality rate and the highest rate in Southeast Asia, according to the World Health Organization's 2018 Global Status Report on Road Safety [24] . According to the 2018 WHO report,

Thailand has the highest road death rate in Southeast Asia at 32.7 deaths per 100,000 population. 2020 will be significant due to the halt in a number of activities brought on by the epidemic condition. Yet, the death toll was still quite high [24] . When compared to the World Health Organization's (WHO) standard of 2.8 doctors per 1,000 people, there is a dearth of medical workers per unit of population in several parts of Thailand [25] . As a result, there exist disparities in access to public health services between urban and rural communities due to the concentration of available, qualified medical staff in major metropolitan centers. Patients in rural and isolated places may therefore find it challenging to frequently receive necessary medical care, particularly those with chronic illnesses or who are bedridden, elderly, those with disabilities, and low- income patients. Table 1 displays the SDG Dashboards and Trends for Thailand as determined by the 2022 report.

Table. 1 SDG Dashboards and Trends: Thailand (report 2022) [12]

No	Indicators	Dash boards	Trends
3.1.1	Maternal mortality ratio	●	↑
3.2.1	Mortality rate, under-5	●	↑
3.2.2	Neonatal mortality rate	●	↑
3.2.2	Life expectancy at birth	○	→
3.3.1	New HIV infections	●	↑
3.3.2	Incidence of tuberculosis	○	→
3.4.1	Age-standardized death rate due to cardiovascular disease, cancer, diabetes, or chronic respiratory disease in adults aged 30-70 years	●	↑
3.6.1	Traffic deaths	○	→
3.7.2	Adolescent fertility rate	●	↑

3.8.1	Universal health coverage (UHC) index of service coverage	●	↑
3.9.1	Age-standardized death rate attributable to household air pollution and ambient air pollution	○	••
3.b.1	Surviving infants who received 2 WHO-recommended vaccines	●	↑
3.c	Births attended by skilled health personnel	●	••
-	Subjective well-being	○	↓

Note: Dashboards: ● SDG achieved, ○ Challenges remain, ○ Major challenges remain
Trends: ↑ On track or maintaining SDG achievement, → Stagnating, ↓ Decreasing, •• Trend information unavailable

Thailand has achieved respectable progress on its objectives in the first five years (2016–2020). Yet, it should be recognized that some issues still need for quicker solutions. The Sustainable Development Goals Assessment found that nine subgoals, including three indicators of SDG 3, are not moving forward at a rate that is 50% of the target value: SDG 3.4 by 2030, reduce by one third premature mortality from non-communicable diseases through prevention and treatment and promote mental health and well-being, SDG 3.6 by 2020, halve the number of global deaths and injuries from road traffic accidents, and SDG 3.9 by 2030, substantially reduce the number of deaths and illnesses from hazardous chemicals and air, water and soil pollution and contamination.

5. Future attainment of the health-related SDG indicators

By preventing and treating chronic diseases, fostering mental health, and boosting overall wellbeing, it is possible to

reduce the number of premature deaths from non-communicable diseases (SDG 3.4). Currently, nurses at all levels of healthcare facilities play a vital role in providing care for healthy individuals, at-risk populations, and patients with chronic non-communicable diseases [26]. They also promote disease prevention by helping people change unhealthy habits that put them at risk for developing a number of chronic diseases. It is significant that the SDGs can be connected to primary care nurses' case management responsibilities for chronic noncommunicable disease groups at the individual, family, community, and national levels. The existing circumstances must be taken into account while determining the best way to provide individuals with as much access to reliable health information as feasible. So that individuals are equipped with the information to take care of themselves in order to prevent disease or to recognize signs in order to start receiving treatment. One of the key tools that the Ministry of Public Health uses in collaboration with universities and other organizations to carry out practical work at the national level is health literacy. In order to organize for accuracy and dependability, the Ministry of Digital has enforced the rule on online sharing of health information.

Enforcement of rules that control significant behavioral risk factors from road traffic accidents (SDG 3.6), such as speed limits, prohibitions against drunk driving, requirements for the usage of seat belts, helmets, and harnesses, or child safety seats. It is essential to preventing fatalities in car accidents. Thailand's traffic restrictions, according to this WHO assessment, are at a "good" level, complying with WHO requirements. Laws requiring the use of seat belts and helmets for motorcyclists both exist. It is the only country in Southeast Asia with "excellent" levels of drunk driving legislation, albeit, according to WHO standards for usage of traffic regulations that are not at a good level. The population of the world is

growing yearly. Also, the number of drivers is rising quickly. While current initiatives to increase road safety from all sectors may assist to ameliorate the problem, progress toward the SDG 3 - Health and Well-Being Sustainable Development Goals - should be taken into account. Current efforts might not be sufficient to meet Target 3.6, which asks for a 50% decrease in traffic fatalities by 2030 [24].

According to the situation with hazardous compounds (SDG 3.9) in both the industrial and agricultural sectors, toxic chemicals may not necessarily reflect each other and result in pollution issues. Knowing which chemicals are initially utilized in high quantities in Thailand is merely knowledge, though. This suggests a higher danger of hazardous and chemical hazards if they are not appropriately managed [27]. At the moment, lead poisoning can be diagnosed by determining the general lead levels in the blood. The Ministry of Public Health data system is used to collect the data. Lead poisoning can be identified by occupational medicine departments at hospitals, who can also record data in the HDC system. There is no verification, which is a drawback of this approach. For this reason, it is crucial to provide environmental medicine services by the public health service unit in order to provide surveillance and health screening from environmental contamination.

As data for some metrics differs from the indicators and techniques used by the UN, it is still challenging to monitor and evaluate Thailand's progress toward achieving the SDGs. Due to Thailand's continued prohibitions on the storage of private information and environmental statistics, which necessitate expertise and access to a variety of data sources, including satellite data. However, not all of the aforementioned indicators can totally and accurately represent the context of the

country's success, including geospatial and ecological data [28].

6. Conclusions

In Thailand, sustainable development is feasible across the board. People in society must adopt a new consciousness in order to focus on the demands of the general public and alter their thinking. At the same time, the functions of the public sector must be harmonized. Members of the neighborhood and community ought to participate in and work together to build a learning process. However, the government should take specific action right away, in particular, to address indicators like traffic deaths (3.6.1) and tuberculosis incidence (3.3.2) that have not yet been reached. In order to achieve the 17 Sustainable Development Goals by 2030, Thailand is boosting up efforts across the board. The Ministry of Public Health has created Roadmap Target 3 in accordance with the 20-Year National Strategy (Public Health) to guarantee that people live healthy lives and that health promotion is made accessible to all people of all ages. Thailand's public, private, and subordinate government entities should work together to achieve the Sustainable Development Goals in order to define the direction of the Ministry of Public Health, which is largely accountable for attaining SDG 3.

References

- [1] International Council for Science, International Social Science Council, (2023, Mar. 9). "Review of targets for the sustainable development goals: the science perspective. Paris, France: International Council for Science; 2015" [Online]. Available: <http://staging.icsu.org/publications/review-of-targets-for-the-sustainable->

- development- goals- the- science- perspective-2015.
- [2] United Nations Economic and Social Council, (2023, Mar. 9). “Report of the inter-agency and expert group on sustainable development goal indicators. New York: United Nations; 2020” [Online]. Available: <https://tcg.uis.unesco.org/wp-content/uploads/sites/4/2020/10/TCG-7-REF-1.pdf>.
- [3] World Health Organization, (2023, Mar. 9). “World health statistics 2022: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals” [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240051157>.
- [4] The World Bank Group, (2023, Mar. 9). “Atlas of sustainable development goals 2020: From world development indicators. Washington, DC: World Bank; 2020” [Online]. Available: <https://datatopics.worldbank.org/sdga/tlas/>.
- [5] The Sustainable Development Report, (2023, Mar. 9). “Sustainable Development Report 2022 From Crisis to Sustainable Development: the SDGs as Roadmap to 2030 and Beyond” [Online]. Available: <https://dashboards.sdindex.org/>.
- [6] Lozano, R., Fullman, N., Abate, D., Abay, S. M., Abbafati, C., Abbasi, N., ... & Beghi, E., “Measuring progress from 1990 to 2017 and projecting attainment to 2030 of the health-related Sustainable Development Goals for 195 countries and territories: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017”, *The lancet*, vol. 392, no. 10159, pp. 2091-2138, 2018.
- [7] Department of Mental Health, Ministry of Public Health, (2023, July 15). “Report of suicide rate per 100,000 population divided by province for the year 2019” [Online]. Available: https://dmh.go.th/report/suicide/stat_province.asp.
- [8] Department of Mental Health, Ministry of Public Health, (2023, July 15). “Revealing the Statistics of Depression in Thai Society: The Silent Epidemic of Emotional Distress Among New Generation.” [Online]. Available: <https://dmh.go.th/news-dmh/view.asp?id=31459>.
- [9] Tipayatikumporn, U. U., “Mental Health Service Access For The Individuals With Depression: Evidence In Thailand.” *Journal of Namibian Studies: History Politics Culture*, vol.33, pp.839-851, 2023.
- [10] Boustani, A., Torabizadeh, C., & Najafi Kalyani, M., “Comparison of the Quality of Life and Depression in the Elderly with and without a History of COVID-19 Infection in Shiraz, Iran.” *Depression Research and Treatment*, 2023.
- [11] Worldometer, (2023, Mar. 9). “Thailand Population (LIVE)” [Online]. Available: <https://www.worldometers.info/world-population/thailand-population/>.
- [12] The Sustainable Development Report, (2023, Mar. 9). “Thailand East and South Asia” [Online]. Available: <https://dashboards.Sdindex.org/profiles/thailand>.
- [13] Sumriddetchkajorn, K., Shimazaki, K., Ono, T., Kusaba, T., Sato, K., & Kobayashi, N., “Universal health coverage and primary care, Thailand.” *Bulletin of the World Health Organization*, vol.97, no.6, pp.415, 2019.
- [14] Claeson, M., “The Global Financing Facility—towards a new way of financing for development.”, *The Lancet*, vol. 389, no. 10079, pp. 1588-1592, 2017.

- [15] Marten, R., Kadandale, S., Nordström, A., & Smith, R. D., “Shifting global health governance towards the sustainable development goals. ” , *Bulletin of the World Health Organization*, vol. 96, no. 12, pp. 798-798A, 2018.
- [16] Bowen, K. J., Cradock-Henry, N. A., Koch, F., Patterson, J., Häyhä, T., Vogt, J. , & Barbi, F. , “ Implementing the Sustainable Development Goals: towards addressing three key governance challenges— collective action, trade-offs, and accountability.”, *Current opinion in environmental sustainability*, vol.26, pp.90-96, 2017.
- [17] Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., ... & Murray, C. J., “Food in the Anthropocene: the EAT– Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems.”, *The lancet*, vol.393, no.10170, pp.447-492, 2019.
- [18] Dupraz J, Burnand B., “Role of Health Professionals Regarding the Impact of Climate Change on Health- An Exploratory Review.” *Int J Environ Res Public Health*. , vol. 18, no. 6, pp. 3222, 2021.
- [19] Barteit, S., Sié, A., Yé, M., Depoux, A. , Louis, V. R. , & Sauerborn, R. , “Lessons learned on teaching a global audience with massive open online courses (MOOCs) on health impacts of climate change: a commentary. ” , *Globalization and Health*, vol. 15, no. 1, pp.1-5, 2019.
- [20] Abarca-Gómez, L. , Abdeen, Z. A. , Hamid, Z. A. , Abu-Rmeileh, N. M. , Acosta-Cazares, B. , Acuin, C. , ... & Cho, Y. , “Worldwide trends in body-mass index, underweight, overweight, and obesity from 1975 to 2016: a pooled analysis of 2416 population- based measurement studies in 128· 9 million children, adolescents, and adults.”, *The lancet*, vol. 390, no. 10113, pp. 2627-2642, 2017.
- [21] United Nations, (2023, Mar. 9) . “Sustainable development goals: about the sustainable development goals” [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>.
- [22] GLOBAL COMPACT NETWORK THAILAND, (2023, Mar. 10). “SDSN Thailand Update Releases Sustainable Development Report 2022 and SDG Index 2022 ” [Online]. Available: <https://globalcompact-th.com/news/detail/918> (in Thai).
- [23] Natetida Bunnag, (2023, Mar 10) , “SDG Updates | Summary of 9 critical sub-goals (summary) from the 5-year report on the status of Thailand SDGs by NESDB. ” [Online] . Available: <https://www.sdgmovement.com/2021/10/21/sdg-updates-9-sdg-targets-major-challenges-in-nesdc-thailand-sdg-report-2016-2020/> (in Thai).
- [24] World Health Organization, (2023, Mar. 9). “Global Status Report on Road Safety 2018. ” [Online] . Available: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/277370/WHO-NMH-NVI-18.20-eng.pdf?ua=1>.
- [25] United Nations Development Programme in Thailand, (2023, Mar. 14) . “ SDG Investor Map Thailand 2022. ” [Online] . Available: <https://www.sec.or.th/TH/Documents/Seminar/s/seminar-060765-08-en.pdf>.
- [26] Pannee Pantaewan, “Nursing Role and Sustainable Development Goal (SDGs)”, *Journal of The Royal Thai Army Nurses*, vol. 20, no. 2, pp. 33- 43, 2019 (in Thai).
- [27] Ministry of Public Health. (2023, Mar. 16) , “ Roadmap to drive Sustainable Development Goal 3. ” [Online] . Available: http://www.nbhospital.go.th/10704nbh/images/download/SDGs_Moph.pdf (in Thai).

[28] Thailand's SDG Progress Report 2016-2020: Executive Summary (2023, Mar. 16) . [Online] . Available: https://www.doe.go.th/prd/assets/upload/files/1mi_ratchaburi_th/27d5601d1c88fb7bf56c58c9f291409e.pdf (in Thai).

Authors' biography:



Dr. Anunya Pradidthaprecha: In 2009, 2011, and 2021, respectively, she earned her bachelor's, master's, and doctorate in public health from Khon Kean University in Thailand. Her main areas of expertise are in parasitology, nutrition, epidemiology, and community health. She has received the UK Professional Associated fellowship recognition from the Higher Education Academy in 2022 (UKPSF).



Assist. Prof. Dr. Kultida Bunjongsiri: She earned a B.Eng. and an M.Eng. in environmental engineering from Chulalongkorn University in Thailand in 1992 and 1997, respectively. From Griffith University in Australia, she received a Ph. D. in environmental engineering in 2017. Her primary area of competence is environmental engineering in compliance with occupational health and safety, particularly with regard to the SDGs and the expansion of the eco-industrial sector. She was named a fellow by the Higher Education Academy in accordance with the UK Professional Standards Framework as of 2019 (UKPSF).



Assist.Prof. Orawan Noi-wat: In 2001, she graduated with a B.Sc. in Health Education from Burapha University in Thailand. In 2004, she graduated with an M.Sc. in Preventive and Social Medicine from Chulalongkorn University in Thailand. She is currently pursuing her D.Sc. in Health research and Management at the Chulalongkorn University School of Medicine's Department of Preventive and Social Medicine. Her primary contribution is on how elderly people's health behaviors are affected by health promotion programs.

การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตก๊าซชีวมวลสำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก

Design and Build of Biomass Machine for Small Engines

วสวัตดี เสาวดี^{1*}, อโนทัย สุขแสงพนมรุ่ง¹, ชวิน จันทรเสนาวงศ์²

Wasawat Saowadee^{1*}, Anotai Suksangpanomrung¹, Chawin Chantharasenawong²

¹กองวิศวกรรมเครื่องกล ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จังหวัดนครนายก 26001

²สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด เขตทุ่งครุ กทม. 10140

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : wasawat.sa@crma.ac.th

วันที่รับบทความ: 18 เมษายน 2566 / วันที่แก้ไขบทความ: 22 สิงหาคม 2566 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 31 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ เครื่องผลิตก๊าซชีวมวลทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์เป็นการจำกัดออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ให้น้อยกว่าการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ 30 - 40 % โดยก๊าซชีวมวลที่ได้จากกระบวนการการเผาไหม้แบบแก๊สซิฟิเคชันมีส่วนประกอบหลักคือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซไฮโดรเจน (H₂), ก๊าซมีเทน (CH₄), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และก๊าซอื่น ๆ ที่สามารถติดไฟได้ โดยในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาออกแบบเครื่องผลิตก๊าซชีวมวลสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ ขนาด 7 แรงม้า ความจุกระบอกสูบ 208 ซีซี ของเครื่องข่อกิ่งไม้ยี่ห้อแพนด้า SZ-76 เพื่อใช้ข่อกิ่งไม้ในพื้นที่การเกษตร โดยการใช้พลังงานชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์นั้น ในขั้นแรกได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยของก๊าซชีวมวลในแต่ละสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ โดยมีการปรับเปลี่ยนค่าปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ ความเร็วของก๊าซชีวมวลที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์, อุณหภูมิของก๊าซชีวมวลบริเวณก่อนเข้าห้องเผาไหม้และอัตราส่วนผสมระหว่างก๊าซชีวมวลกับอากาศ จากนั้นเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลกับน้ำมันเบนซิน (แก๊สโซฮอล์ 95) ซึ่งผลที่ได้พบว่าอัตราเฉลี่ยในการใช้น้ำมันเบนซินในการเดินเครื่องยนต์เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมงใช้ปริมาณน้ำมัน 722.67 ซีซี คิดเป็นเงิน 15.72 บาท และเมื่อเปลี่ยนเป็นการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการเดินเครื่องยนต์เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมงใช้ถ่านไม้กระถินณรงค์ไปจำนวน 975.50 กรัม คิดเป็นเงิน 9.75 บาท เชื้อเพลิงทั้งสองประเภทอ้างอิงราคาน้ำมันเบนซิน เมื่อวันที่ 9 กันยายน 2563 โดยราคาดิถิลละ 21.75 บาท และถ่านไม้กระถินณรงค์ราคา กิโลกรัมละ 10 บาท จากนั้นเดินเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลร่วมกับน้ำมันเบนซิน พบว่าสามารถลดการใช้น้ำมันเบนซินได้ 7.86 บาทต่อหนึ่งชั่วโมง และจากต้นทุนการสร้างเครื่องผลิตก๊าซชีวมวลต้นแบบดังกล่าว ต้องใช้งานเครื่องผลิตก๊าซชีวมวลนี้ที่ประมาณ 47 สัปดาห์ถึงจะเกิดความคุ้มค่า

คำสำคัญ : เครื่องผลิตก๊าซชีวมวล, พลังงานชีวมวล, แก๊สซิฟิเคชัน , เชื้อเพลิงชีวมวล

Abstract Biomass machines cause incomplete combustion because of the limited amount of oxygen used in combustion, which is 30–40% less than complete combustion. Biomass gas derived from the gasification combustion process contains such main components as carbon monoxide (CO), hydrogen (H₂), methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂), and other combustible gases. This research aims to study the design of a biomass generator for 4-stroke gasoline engine, size 7 horsepower, displacement: 208 cc. of the Panda SZ-76 wood chipper by using biomass as its fuel. Initially, experiments were conducted to determine the biomass gas factors in each operating condition of the engine. Several parameters were adjusted, namely the speed of biomass entering the engine, the temperature of biomass in the combustion chamber, and the ratio of ingredients between biomass gas and air.

Subsequently, the use of biomass fuel was compared with benzene gasohol (95 benzene). The results indicated that the average rate of using the gasohol 95 in running the engine for one hour used an amount of 722.67 cc, equivalent to 15.72 THB. On the contrary, changing to biomass fuel to run the engine for one hour is equal to using 975.50 grams of charcoal from Krathin-Narong trees, all of which are worth 9.75 THB. The prices of both types of fuel are referred to as the one of gasohol 95 on September 9, 2020, at 21.75 baht per liter and another of Krathin-Narong Charcoal at 10 THB per kilogram. Operating an engine using biomass fuel together with gasohol 95 could reduce benzene consumption by 7.86 THB per hour. In return for the cost of constructing a traditional biomass generator, it takes approximately 47 weeks for operation to become cost-effective.

Keywords: biomass machine, biomass energy, gasification, biomass fuel

1. บทนำ

ประเทศไทยมีประชากรส่วนใหญ่อยู่ในภาคการเกษตรและปลูกพืชหลากหลายชนิดตามสภาพภูมิอากาศในแต่ละภาค ทำให้แต่ละปีมีเศษวัสดุเหลือใช้จากการเก็บเกี่ยว หรือจากการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรจำนวนมาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ประเมินว่าในแต่ละปีจะมีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือที่เรียกว่าชีวมวล (Biomass) ประมาณปีละ 60 ล้านตัน ซึ่งเป็นปริมาณมหาศาลที่ต้องกำจัดทิ้งไป มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ จากกระแสนอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และลดการใช้พลังงานจากฟอสซิล เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกลับมาใช้ใหม่ โดยการแปรรูปพลังงานที่ถูกกักเก็บไว้ตามธรรมชาติ ในเศษวัสดุเหล่านี้ ซึ่งเรียกเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยรวมว่า ชีวมวลซึ่งหมายถึงสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ และสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่าง ๆ เช่น เศษไม้ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บพลังงานของพืช ที่ต้องอาศัยแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโต จากนั้นจะแปรเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง หรือแปรสภาพ

เป็นของเหลว ที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนแทนพลังงานจากฟอสซิลได้

ชีวมวล (Biomass) จึงจัดเป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ที่สำคัญชนิดหนึ่ง โดยมีการนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงาน โดยมีแหล่งที่มาได้ 2 แหล่ง คือ เศษวัสดุจากการเกษตร และการแปรรูปอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงพลังงาน ชีวมวลที่เกิดขึ้นในพื้นที่หลังจากการเก็บเกี่ยว หรือโค่นต้น เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ยอดอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ยอดใบข้าวโพด ลำต้นข้าวโพด ใบปาล์ม ทางปาล์ม ยอดใบและลำต้นถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วลิสง ทะลายมะพร้าว ทางมะพร้าว ใบมะพร้าว ลำต้นปาล์มน้ำมัน ปาล์มไม้ ตอ ราก และกิ่งก้านไม้ยางพารา

นอกจากนี้ยังมีชีวมวล ที่เกิดขึ้นในกระบวนการของโรงงานอุตสาหกรรม หลังแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น แกลบ ชานอ้อย ชังข้าวโพด เปลือกมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง ทะลายปาล์มเปล่า เส้นใยปาล์ม กะลาปาล์ม ปีกไม้ยางพารา ขี้เลื่อยไม้ยางพารา เศษไม้ยางพารา เปลือกมะพร้าว กาบมะพร้าว และกะลามะพร้าว จากปริมาณ ชีวมวลที่เกิดขึ้นแต่ละปี ที่มีจำนวนมหาศาล ได้มีการนำ ชีวมวลเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้าและนำชีวมวลบางประเภทไปใช้เป็นส่วนผสมน้ำมันเชื้อเพลิง หรือไบโ

ดีเซล ซึ่งกระบวนการแปรรูปไปเป็นพลังงาน มีหลายรูปแบบ

1. การเผาไหม้โดยตรง (Combustion) เป็นการนำชีวมวลมาเผา จะได้ความร้อนที่แตกต่างกันตามชนิดของชีวมวล ความร้อนที่ได้สามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิ และความดันสูงไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ชีวมวลประเภทนี้ คือ เศษวัสดุทางการเกษตร และเศษไม้

2. การผลิตก๊าซ (Gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็ง หรือชีวมวลด้วยกระบวนการเผาแบบอัดอากาศได้ก๊าซเชื้อเพลิง เรียกว่า ก๊าซชีวมวลมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ก๊าซ

3. การหมัก (Fermentation) เป็นการนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ ชีวมวลจะถูกย่อยสลาย และแตกตัวได้ก๊าซชีวภาพ ที่มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน นำก๊าซมีเทนใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า

4. การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช โดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ ย่อยสลายแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ให้เป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เบนซิน หากนำไปผ่านกระบวนการทางฟิสิกส์และเคมี โดยสกัดน้ำมันออกจากพืช น้ำมัน น้ำมันปาล์ม แล้วนำไปผ่านกระบวนการ Transesterification ก็จะผลิตเป็นไบโอดีเซลออกมา เป็นต้น

การนำชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิงมีข้อดี คือ การเผาไหม้ชีวมวลแม้จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากการเผาไหม้ แต่จะถูกหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่โดยพืชเพื่อสังเคราะห์แสง จึงไม่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก และมีกำมะถัน หรือก๊าซซัลเฟอร์ต่ำ ซึ่งไม่สร้างปัญหาเรื่องฝนกรด จีเอ็มที่ได้จากการเผา สามารถนำไปเพาะปลูก หรือปรับสภาพดินที่เป็นกรดได้ ในด้านเศรษฐกิจ การเผาชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้า ช่วยลดภาระในการกำจัดเศษวัสดุ



รูปที่ 1 เครื่องย่อยกิ่งไม้ ยี่ห้อแพนด้า SZ-76

ใช้เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ 7 แรงม้า ความจุระบอบสูบ 208 ซีซี [3]

2.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายวัชรกร ใจตรงและคณะ[4] ทำการพัฒนาเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและการทดลองหาประสิทธิภาพเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวล ซึ่งมีวัตถุประสงค์ศึกษากระบวนการเกิดก๊าซจากเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจาก ชีวมวลและพัฒนาเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวล โดยนำก๊าซที่ได้จากเครื่องผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาด 4.5 แรงม้า ทดลองเผา เชื้อเพลิงแข็ง 3 ชนิดได้แก่ถ่านไม้ ฟืนและ

ใบไม้ โดยเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการเผาและระยะเวลาในการเดินเครื่องยนต์ ถ่านไม้ น้ำหนัก 20 กิโลกรัม ระยะเวลาในการเผาไหม้หนึ่งชั่วโมงสามารถเดินเครื่องยนต์ได้เวลา 36 นาที ฟืน น้ำหนัก 20 กิโลกรัม ระยะเวลาในการเผาไหม้ 50 นาที สามารถเดินเครื่องยนต์ได้เป็นเวลา 20 นาที และใบไม้ น้ำหนัก 20 กิโลกรัม ระยะเวลาในการเผาไหม้ 40 นาที ไม่สามารถเดินเครื่องยนต์ได้จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าถ่านไม้เหมาะสำหรับการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากชีวมวลมากที่สุด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองเผาไหม้ [4]

ชนิดเชื้อเพลิง	น้ำหนัก (kg)	ระยะเวลาเผาไหม้ (นาที)	ระยะเวลาเครื่องยนต์เดินด้วยแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลโดยไม่ต่อโหลด (นาที)	ระยะเวลาเครื่องยนต์เดินด้วยแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลโดยต่อโหลด (นาที)
ถ่านไม้	20	60	36	31
ฟืน	20	60	20	15
ใบไม้	20	40	0	0

พงษ์ศักดิ์ ทรัพย์สารและคณะ[5] ทำการวิจัยถึงองค์ประกอบที่ได้จากการผลิตของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันด้วยชุดแก๊สซิไฟเออร์แบบการไหลลง (Downdraft Gasifier) โดยใช้กะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงและใช้ช่วงความเร็วอากาศที่ 7, 10 และ 14 เมตรต่อวินาที ซึ่งผลการศึกษาพบว่าองค์ประกอบก๊าซเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดและถ่านจากกะลามะพร้าวมีร้อยละองค์ประกอบก๊าซหลัก คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

15.64, 17.39 ก๊าซไฮโดรเจน (H₂) 15.89, 8.47 ก๊าซมีเทน (CH₄) 4.77, 2.36 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 16.09 และ 18.17 ตามลำดับ โดยช่วงความเร็วอากาศที่ดีที่สุดคือช่วงความเร็วอากาศเข้า 10 เมตรต่อวินาที ให้ร้อยละประสิทธิภาพของเตาแก๊สซิไฟเออร์สูงสุดเท่ากับ 57.45, 84.59 ค่าความร้อนของก๊าซที่ได้ 6,307 4,441 kJ/m³ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 2.58 และ 2.86 kg/h ดังตารางที่ 2, 3 และ 4

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าว [5]

เชื้อเพลิง	ความเร็ว อากาศ (m/s)	ความชื้น มาตรฐานแห้ง (%)	เถ้า (%)	สารระเหย (%)	ถ่าน (%)	HHV _{fuel} * (kJ/kg)
กะลามะพร้าวสด	7	11.87	66.93	99.04	1.63	20,208.72
	10		58.77	99.16	1.89	
	14		64.27	99.08	1.65	
ถ่านกะลามะพร้าว	7	10.23	63.26	99.10	1.43	31,212.64
	10		48.12	99.31	1.46	
	14		45.63	99.35	1.50	

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน [5]

เชื้อเพลิง	ความเร็วอากาศ (m/s)	องค์ประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊ส (%)			
		CO	H ₂	CH ₄	CO ₂
กะลามะพร้าวสด	7	15.62	14.55	4.82	15.21
	10	16.54	15.12	5.09	16.48
	14	16.79	14.45	4.27	17.97
ถ่านกะลามะพร้าว	7	17.18	8.22	2.46	7.84
	10	17.67	8.07	2.52	8.67
	14	17.32	8.08	2.11	8.89

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาแก๊สซิไฟเออร์และคุณสมบัติที่เกี่ยวข้อง [5]

เชื้อเพลิง	ความเร็วอากาศ (m/s)	ประสิทธิภาพ (%)	A/F Ratio	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/h)	HHV _{gas} (kJ/m ³)
กะลามะพร้าวสด	7	26.67	17.51	2.43	5,996
	10	50.97	23.57	2.58	6,307
	14	47.96	29.35	2.90	5,906
ถ่านกะลามะพร้าว	7	12.01	17.00	2.50	4,373
	10	19.40	21.26	2.86	4,441
	14	18.64	27.33	3.11	4,223

จากผลการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่า นักวิจัยคนแรกได้เลือกใช้เชื้อเพลิงแข็ง 3 ชนิดได้แก่ถ่านไม้ ฟืนและใบไม้ และพบว่าถ่านไม้น้ำหนัก 20 กิโลกรัม ระยะเวลาในการเผาไหม้หนึ่งชั่วโมงสามารถเดินเครื่องยนต์ได้เวลา 36 นาที ส่วนนักวิจัยท่านต่อมาได้ผลิตของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันด้วยชุดแก๊ส ซีไฟเออร์แบบการไหลลง (Downdraft Gasifier) โดยใช้กะลามะพร้าวสดและถ่านกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิงพบว่ากะลามะพร้าวสดสามารถให้ประสิทธิภาพการเดินเครื่องยนต์สูงที่สุด ซึ่งข้อมูลจากงานวิจัยดังกล่าวสามารถนำมาต่อยอดประยุกต์ใช้เพื่อสร้างเครื่องผลิตก๊าซชีวมวลในลักษณะอื่น ๆ ได้ในอนาคต ผู้วิจัยยังไม่พบการออกแบบและจัดสร้างเครื่องผลิตก๊าซชีวมวลขนาดกลางที่เบาและโครงสร้างไม่ซับซ้อนที่สามารถนำเคลื่อนย้ายเข้าไปยังพื้นที่ห่างไกล และมีท่อส่งก๊าซแบบอ่อนที่สามารถต่อเข้ากับเครื่องยนต์ทางการเกษตรได้ง่าย เพื่อรองรับกับการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ และในอนาคตยังสามารถพัฒนาให้สามารถต่อยอดให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเพื่อเหมาะกับการใช้งานต่าง ๆ ได้

3. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษาการใช้พลังงานชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนให้กับเครื่องยนต์ส่วนที่เป็นหัวใจหลักคือ เครื่องผลิตก๊าซชีวมวล ซึ่งจากการสืบค้นงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเครื่องผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลลง (Downdraft Gasifier) [6-8] เหมาะสมสำหรับการทำการวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากในกระบวนการก่อให้เกิดคราบเขม่าและน้ำมันดินในปริมาณที่น้อยและยังมีขั้นตอนการออกแบบและจัดสร้างที่ไม่ซับซ้อน โดยขั้นตอนทั้งหมดที่ผู้วิจัยทำการจัดสร้างนั้นแบ่งขั้นตอนต่าง ๆ ออกได้เป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการออกแบบและสร้างส่วนของเตาเผา

ออกแบบเตาเผาที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง ผนังของเตาเผาหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 25 เซนติเมตร ความสูง

ประมาณ 120 เซนติเมตร โดยภายในเตาบริเวณห้องเผาไหม้ทำเป็นคอคอดและด้านนอกเตาทางช่องด้านบนสุดสามารถเปิด-ปิด เพื่อเติมชีวมวลได้ โดยมีขนาดความจุเตา 0.4 ลูกบาศก์เมตร ท่อทรงกระบอกด้านบนเป็นท่อทางเข้าของอากาศ ท่อตรงกลางเป็นช่องที่ไว้สำหรับจุดไฟในตอนเริ่มต้น ซึ่งช่องนี้คือบริเวณห้องเผาไหม้ของเตาเผา และท่อด้านล่างสุดเป็นช่องทางที่ก๊าซชีวมวลไหลออกจากเตาเพื่อต่อไปยังชุดกรองหยاب ดังรูปที่ 2

2. ขั้นตอนการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตัวกรองแบบหยاب

อุปกรณ์ตัวกรองนี้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 12 เซนติเมตรและมีความสูง 40 เซนติเมตร โดยมีลักษณะการทำงานเป็นแบบไซโคลน(Cyclone) โดยก๊าซชีวมวลไหลผ่านเข้ามาในระบบกรองจากทางด้านข้าง เศษวัสดุที่มีความแหลมคม, ที่ติดไฟอยู่หรือที่มีน้ำหนักมากจะแยกตกลงสู่ด้านล่างและก๊าซก็จะไหลไปทางท่อด้านบนไปยังขั้นตอนต่อไป บริเวณด้านล่างสุดของตัวกรองมีท่อเป็นเกลียวพร้อมฝาที่สามารถเปิดและปิดเพื่อทำความสะอาดนำเอาเศษฝุ่นหรือถ่านออกมาได้ ดังรูปที่ 3

3. ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ทำการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิของก๊าซ โดยใช้ท่อเหล็กทรงกลมกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ความยาวแต่ละท่อน 30 เซนติเมตร จำนวน 6 ท่อน เชื่อมต่อเข้ากับเหล็กกล่องขนาดกว้าง 5 เซนติเมตรและสูง 5 เซนติเมตร เชื่อมต่อกันทำเป็นท่อทางเดินของก๊าซในระบบ โดยมีพัดลมขนาด 10 นิ้ว 12 โวลต์เปิดด้านหลังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศภายนอกกับก๊าซในระบบ โดยพัดลมดังกล่าวสามารถปรับความเร็วของพัดลมได้ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของก๊าซในระบบให้มีอุณหภูมิคงที่ ดังรูปที่ 4

4. ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตัวกรองแบบละเอียด

อุปกรณ์ตัวกรองละเอียดจะมีลักษณะคล้ายกับตัวกรองหยาบ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร ความสูง 40 เซนติเมตร แต่ภายในตัวกรองจะมีใยกรองละเอียดเป็นชั้น ๆ โดยก๊าซจะไหลเข้าทางท่อด้านบนผ่านชั้นกรองแต่ละชั้น เพื่อกรองคราบเขม่าหรือสิ่งปะปนมาพร้อมกับก๊าซชีววมวลแบบละเอียดอีกครั้ง ก่อนที่ก๊าซจะไหลออกทางท่อด้านล่างเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไปดังรูปที่ 5

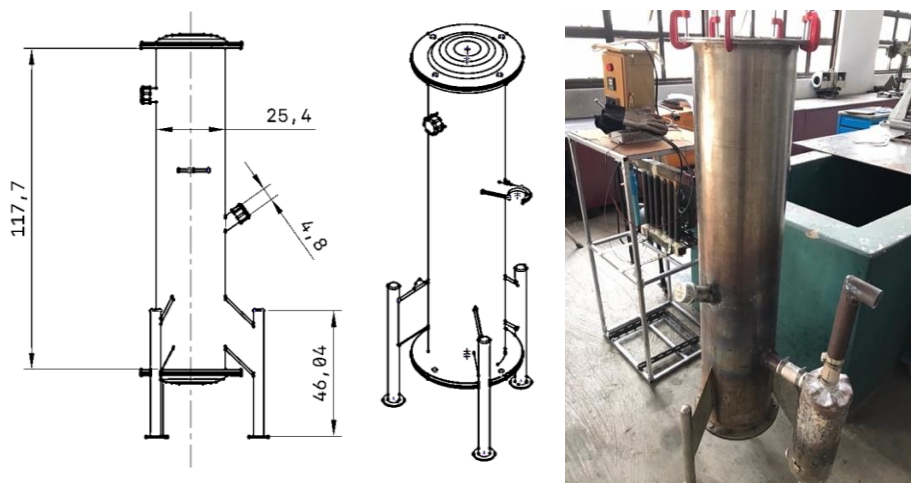
5. ขั้นตอนการประกอบส่วนอุปกรณ์เข้าด้วยกัน

นำชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ได้ทำการจัดสร้างมาประกอบรวมเข้าด้วยกัน โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 6

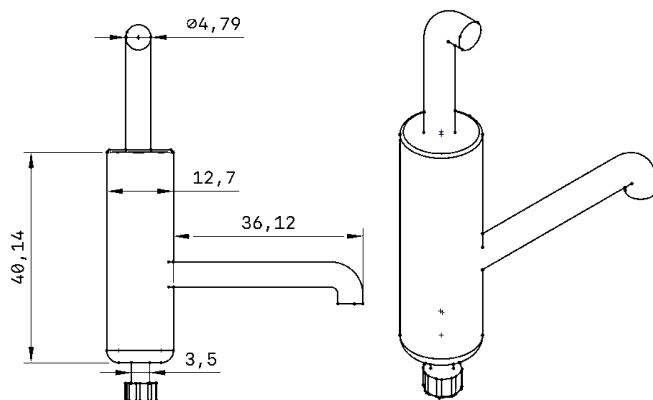
6. ขั้นตอนการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

ติดตั้งกล่องควบคุมและตรวจวัดอุณหภูมิ และจุดวัดความเร็วลมของก๊าซชีววมวล โดยมีการวัดอุณหภูมิตามจุด ดังนี้ 1) อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม 2) อุณหภูมิของก๊าซขาเข้าชุดแลกเปลี่ยนความร้อน 3) อุณหภูมิของก๊าซขาออกชุดแลกเปลี่ยนความร้อน 4) อุณหภูมิของก๊าซชีววมวลก่อนเข้าเครื่องย่นต์ ดังรูปที่ 7

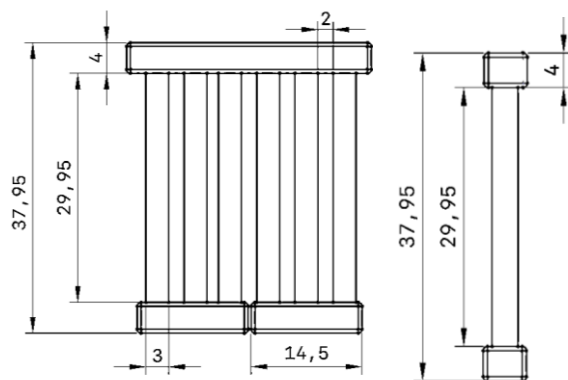
เชื้อเพลิงชีววมวลที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ ถ่านไม้กฐินณรงค์ทุบให้ละเอียดขนาดประมาณ 1-2 เซนติเมตร ใส่ในบริเวณห้องเผาไหม้ จากนั้นทำการจุดไฟในเครื่องผลิตก๊าซชีววมวล โดยต้องรอให้ระบบเตาสามารถผลิตก๊าซชีววมวลได้ในระยะเวลาหนึ่ง โดยสามารถทดสอบได้โดยการจุดไฟที่ท่อทางออกก๊าซ เมื่อพบว่าก๊าซชีววมวลสามารถติดไฟได้ แสดงว่าก๊าซชีววมวลนั้นมีปริมาณความเข้มข้นมากพอที่จะต่อกับระบบเพื่อทำการเก็บผลการทดลองต่อไป ดังรูปที่ 8



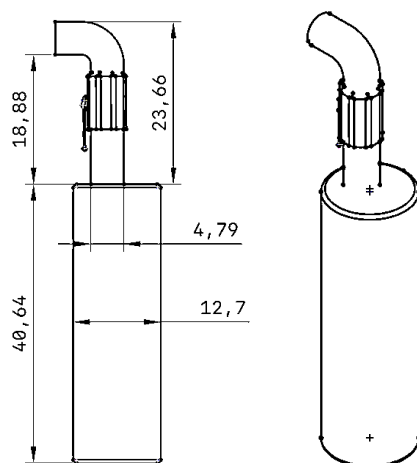
รูปที่ 2 แสดงภาพเครื่องผลิตก๊าซชีววมวล (หน่วย เซนติเมตร)



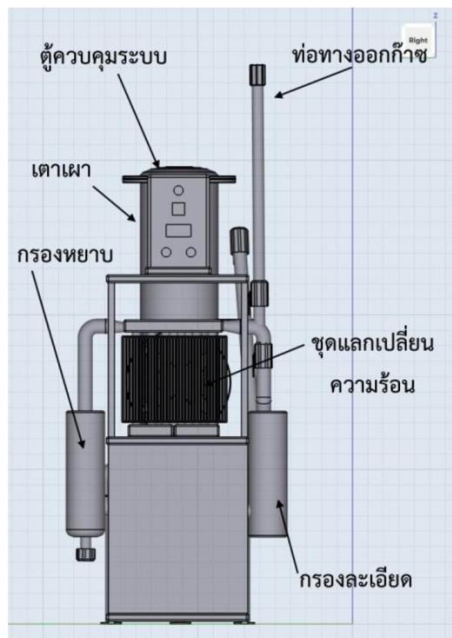
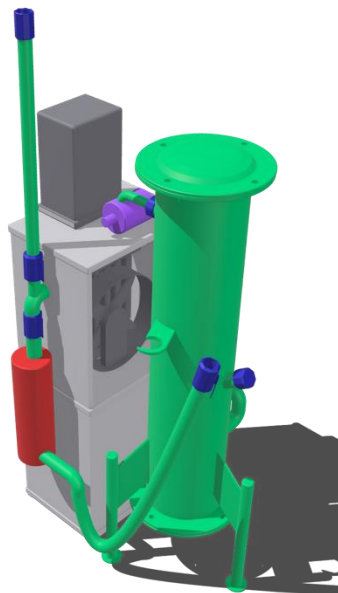
รูปที่ 3 แสดงภาพตัวกรองหยาบ (หน่วย เซนติเมตร)



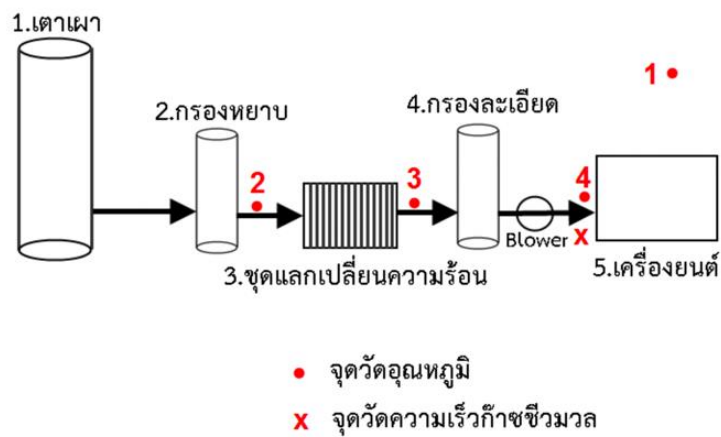
รูปที่ 4 แสดงภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (หน่วย เซนติเมตร)



รูปที่ 5 แสดงภาพตัวกรองแบบละเอียด (หน่วย เซนติเมตร)



รูปที่ 6 แสดงภาพชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่นำมาประกอบรวมกัน



รูปที่ 7 แสดงภาพกล่องควบคุมและจุดติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและวัดความเร็วของก๊าซชีววมวล



รูปที่ 8 แสดงภาพเชื้อเพลิงชีววมวลและการทดสอบการจุดติดไฟของก๊าซชีววมวล

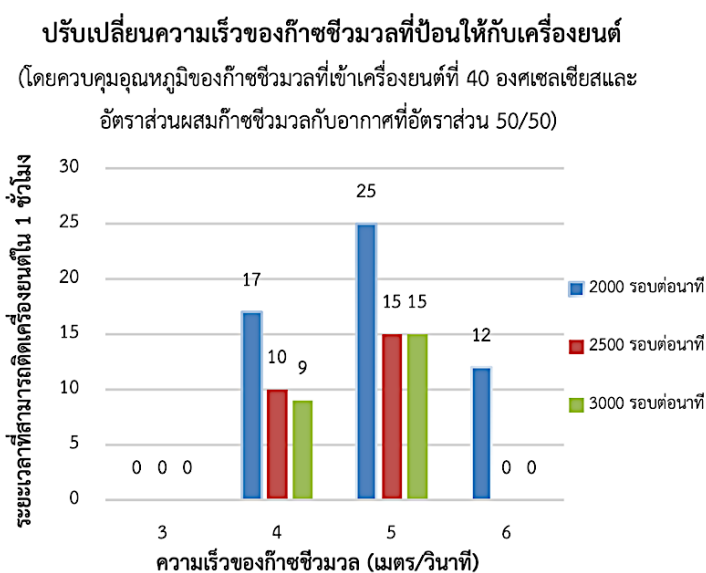
4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลการทดลองตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2,000 2,500 และ 3,000 รอบต่อนาที โดยก๊าซชีววมวลที่ผลิตได้จากถ่านไม้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ขนาดเล็กและสามารถใช้ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่นได้ ทำการเก็บผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยของก๊าซชีววมวลที่มีผลต่อการเดินเครื่องยนต์ โดยการปรับเปลี่ยนปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1.ปรับเปลี่ยนความเร็วของก๊าซชีววมวล (โดยควบคุมอุณหภูมิของก๊าซชีววมวลที่เข้าเครื่องยนต์ที่ 40

องศาเซลเซียสและอัตราส่วนผสมก๊าซชีววมวลกับอากาศที่อัตราส่วน 50/50)

ความเร็วของก๊าซชีววมวลที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ที่ 3 เมตรต่อวินาที ไม่สามารถติดเครื่องยนต์ได้ในทุกช่วงความเร็ว ที่ความเร็ว 6 เมตรต่อวินาที สามารถติดเครื่องยนต์ได้แค่ในช่วงความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที เพราะปริมาณและความเข้มข้นของก๊าซชีววมวลมีไม่เพียงพอ ส่วนความเร็วของก๊าซชีววมวลที่ 4 และ 5 เมตรต่อวินาที เครื่องยนต์สามารถสตาร์ทให้ติดได้ในทุกช่วงความเร็วของรอบเครื่องยนต์ที่ทำการเก็บผลการทดลอง ดังรูปที่ 9



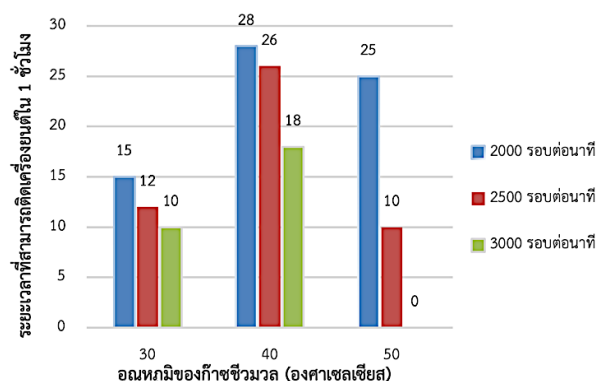
รูปที่ 9 แสดงผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซชีววมวล

2. อุณหภูมิของก๊าซชีววมวล มวล (โดยควบคุมความเร็วของก๊าซชีววมวลที่เข้าเครื่องยนต์ที่ 5 เมตรต่อวินาที และอัตราส่วนผสมก๊าซชีววมวลกับอากาศที่อัตราส่วน 50/50)

ที่อุณหภูมิของก๊าซชีววมวลที่ 50 องศาเซลเซียส ไม่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ให้ติดได้ในช่วงความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที ส่วนที่อุณหภูมิของก๊าซชีววมวล 30 และ 40 องศาเซลเซียส เครื่องยนต์สามารถสตาร์ทให้ติดได้ในทุกช่วงความเร็วที่ทำการเก็บผลการทดลองดังรูปที่ 10

ปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของก๊าซชีววมวลก่อนเข้าห้องเผาไหม้

(โดยควบคุมความเร็วของก๊าซชีววมวลที่เข้าเครื่องยนต์ที่ 5 เมตรต่อวินาที และอัตราส่วนผสมก๊าซชีววมวลกับอากาศที่อัตราส่วน 50/50)



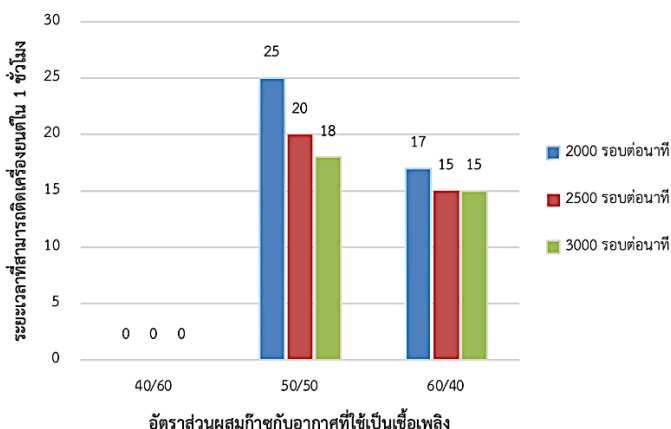
รูปที่ 10 แสดงผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของก๊าซชีววมวล

3. อัตราส่วนผสมก๊าซชีววมวลกับอากาศ (โดยควบคุมความเร็วของก๊าซชีววมวลที่เข้าเครื่องยนต์ที่ 5 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของก๊าซชีววมวลที่เข้าเครื่องยนต์ที่ 40 องศาเซลเซียส)

อัตราส่วนผสมก๊าซกับอากาศที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง 40/60 เครื่องยนต์ไม่สามารถสตาร์ทติดได้ในทุกช่วงความเร็ว ส่วนที่อัตราส่วนผสมก๊าซกับอากาศที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง 50/50 และ 60/40 เครื่องยนต์ถูกสตาร์ทให้ติดได้ในทุก ๆ ช่วงความเร็วดังรูปที่ 11

อัตราส่วนผสมก๊าซกับอากาศที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง

(โดยควบคุมความเร็วของก๊าซชีววมวลที่เข้าเครื่องยนต์ที่ 5 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของก๊าซชีววมวลที่เข้าเครื่องยนต์ที่ 40 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 11 แสดงผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมก๊าซชีววมวลกับอากาศ

จากการเก็บผลการทดลองทั้ง 3 กรณี ผู้วิจัยจะได้ทราบถึงค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่สุดในการเดินเครื่องยนต์ดังนี้ ความเร็วรอบเครื่องยนต์คือที่ 2,500 รอบต่อนาที และต้องใช้ความเร็วก๊าซชีววมวล 5 เมตรต่อวินาที, อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนผสม 50/50

ในขั้นตอนต่อไปทำการเดินเครื่องยนต์เพื่อเก็บผลการทดลองการใช้ก๊าซชีววมวลร่วมกับเชื้อเพลิงน้ำมันเบนซิน (แก๊สโซฮอล์ 95)

จากการทดสอบผลการเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงก๊าซชีววมวลและน้ำมันเบนซินพบว่า อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเบนซินคิดเป็น 15.72 บาทต่อชั่วโมง และเชื้อเพลิงก๊าซชีววมวลมีค่าใช้จ่ายคิดเป็น 9.76 บาทต่อชั่วโมง และเมื่อใช้พลังงานทั้งสองในการเดินเครื่องยนต์ในหนึ่งชั่วโมง โดยแบ่งเป็นเดินด้วยเชื้อเพลิงน้ำมัน 30 นาที และเชื้อเพลิงชีววมวล 30 นาที จะใช้น้ำมันเบนซินไป 7.86 บาท และสิ้นเปลืองถ่านไม้ที่เผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงชีววมวลไป 2.44 บาท ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบสัดส่วนราคาน้ำมันเชื้อเพลิงและถ่านไม้

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2500 รอบต่อนาที (ความเร็วก๊าซ 5 เมตรต่อวินาที, อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนผสม 50/50)	เวลาในการเดินเครื่องยนต์ (นาที)	อัตราสิ้นเปลือง (บาท)
เดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันเบนซิน	10	2.41
	15	4.06
	20	4.93
	30	8.7
อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเฉลี่ย	60	15.72
เดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงชีววมวล	10	0.89
	15	1.1
	20	1.6
	30	2.5
อัตราสิ้นเปลืองชีววมวลเฉลี่ย	60	9.76
เดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันเบนซินร่วมกับก๊าซชีววมวลเป็นเวลา 60 นาที *	เวลาในการเดินเครื่องยนต์ (นาที)	อัตราสิ้นเปลือง (บาท)
เดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันเบนซิน	30	7.86
เดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงชีววมวล **	30	2.44
* ใช้เชื้อเพลิงในการทดสอบประเภทละ 30 นาที		
** รวมเวลาเข้ระบบเพื่อให้ระบบก๊าซเข้าสู่ค่าคงที่		

โดยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีค่าใช้จ่ายในการสร้างเตาเผาและอุปกรณ์ต่าง ๆ ราคารวม 15,000 บาท หากกำหนดให้ใช้งานวันละ 7 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 วันต่อสัปดาห์ เท่ากับว่าระยะเวลาคุ้มทุนอยู่ที่ประมาณ 47 สัปดาห์ โดยอ้างอิงราคาน้ำมันเบนซินแก๊สโซฮอล์ 95 เมื่อวันที่ 9 กันยายน 2563 ราคาลิตรละ 21.75 บาท [9] และถ่านไม้กระถินชนโรงครากิโลกกรัมละ 10 บาท [10]

แต่การใช้งานในระยะสั้นผู้ใช้งานต้องหมั่นดูแลทำความสะอาดที่ระบายน้ำที่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนและชุดกรองทำความสะอาด เนื่องจากจะมีเศษวัสดุที่ปนมากับก๊าซอาจส่งผลต่อการอุดตันภายในระบบได้

ส่วนในระยะยาวนั้นผู้ใช้งานยังต้องคำนึงถึงค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งเครื่องผลิตก๊าซชีววมวลและเครื่องยนต์ เพราะก๊าซชีววมวลที่ได้จากการเผาไหม้นั้นมีคราบเขม่าและน้ำมันดินออกมาปะปนบ้าง อาจส่งผลเสียต่อชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในเครื่องยนต์ได้ ผู้ใช้งานแนะนำว่าต้องมีการบำรุงรักษาทำความสะอาดเครื่องยนต์อยู่เป็นระยะ ๆ

5. สรุปผล

5.1 ขั้นตอนแรก

จากผลการทดลองในขั้นแรกเพื่อหาค่าปัจจัยของก๊าซชีววมวลเพื่อให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีสภาวะทำงานที่ปกติ โดยปรับเปลี่ยนปัจจัยต่าง ๆ จนได้ผลค่าจากการทดลองดังนี้ ความเร็วของก๊าซชีววมวลที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ 5 เมตรต่อวินาที, อุณหภูมิของก๊าซชีววมวลก่อนเข้าห้องเผาไหม้ที่ 40 องศาเซลเซียส และส่วนผสมของก๊าซชีววมวลกับอากาศที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงที่สัดส่วน 50/50 จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเก็บผลเปรียบเทียบกับผลการทดลองต่อไป

5.2 ขั้นตอนที่สอง

เก็บผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีววมวลกับน้ำมัน โดยจากการเปรียบเทียบเดินเครื่องยนต์ตามเวลาเป็นช่วง ซึ่งอัตราการใช้น้ำมันเฉลี่ยในการเดินเครื่องยนต์หนึ่งชั่วโมงใช้น้ำมันจำนวน 722 ซีซี คิดเป็นเงิน 15.72 บาท และเมื่อใช้เชื้อเพลิงชีววมวลใช้ถ่านไม้จำนวน 975 กรัม คิดเป็นเงิน 9.75 บาท

ในการใช้เชื้อเพลิงชีววมวลร่วมกับน้ำมัน ในขั้นตอนแรกเดินเครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงชีววมวลเป็นเวลา 15 นาที คิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ และจากนั้นเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันเบนซินอีก 30 นาที คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ โดยเวลาอีก 15 นาที เป็นเวลาในส่วนของการติดตั้งระบบและรอระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ ดังนั้นการใช้เชื้อเพลิง ชีววมวลจึงช่วยลดการใช้น้ำมันลงได้ประมาณ 7.86 บาทต่อหนึ่งชั่วโมง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณกองทุนวิจัยและพัฒนาของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า และพันเอกอรุณพลจินดาทรัพย์ ผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และ พันเอก ผศ.ดร.อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง และกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่ให้การสนับสนุนทั้งสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับการทดลอง รวมทั้งเจ้าหน้าที่กองวิชาทุกนายที่ให้การช่วยเหลือในการทำงาน จนทำให้งานวิจัยประสบความสำเร็จได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Biomass. (2020, May. 12). “Biomass and Renewable Energy” [Online]. Available : <https://www.thebangkokinsight.com/news/environmental-sustainability/558298/>
- [2] Wood Chipper. (2023, August. 12). “Petrol Engine Wood Chipper Shredders” [Online]. Available : <https://www.nanagarden.com/product/223593>
- [3] Wood Chipper. (2023, August. 12). “Wood Chipper Panda SZ-76” [Online]. Available : <https://www.nanagarden.com/product/203182>
- [4] W. Jaitong, C. Tasee, T. Bunchum and N. Naatan, “Development of Biomass Fuel Gas Generator”, Journal of Industrial Technology and Engineering Research, Vol. 1, No. 1, Faculty of Industrial Technology. Pibulsongkram Rajabhat University, 2016. (in Thai).
- [5] P. Suppayasarn, J. Thongbunchoo, A. Rukruang, T. Chaichana, P. Kongsune and J. Kaew-On, “Analysis of Biomass Gas from Flow Gasifier Using Coconut Shells as Fuel”, Thaksin University Journal, Vol. 21, No. 2, July - December 2018. (in Thai).
- [6] Gasification Process. (2022, September. 5). “Gasification Process Using Downdraft Fixed-Bed Gasifier for Different Feedstock” [Online]. Available : <https://www.intechopen.com/chapters/75309>
- [7] Department of Alternative Energy 2021, August.1) “Safety manual for the production and use of biomass gas”[Online].Available : <http://enesafety.ete.eng.cmu.ac.th/media/2559/manual/Biomass.pdf>.
- [8] Gasification Technology “wood chip gasification technology”[Online].Available : http://rubber.oie.go.th/file/8_เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่นเศษไม้.pdf.
- [9] FuelPrice, “Historical oil prices”[Online].Available: <https://www.bangchak.co.th/th/oilprice/historical?year=2020>
- [10] Charcoal Factory, “Charcoal”[Online].Available: <http://www.peakcharcoal.com/products.php?cat=ถ่านไม้>

Authors' Biography:



Wasawat Saowadee is a lecturer of mechanical engineering at Department of Mechanical Engineering, Academic Division Chulachomklao Royal Military Academy (CRMA). He received

his M.Eng. in mechanical engineering from the King Mongkut's University of Technology, Thonburi, Bangmod, Thailand.



Asst. Prof. Dr. Anotai Suksangpanomrung is an assistant professor and head of mechanical engineering at Department of Chulachomklao Royal Military Academy Engineering, (CRMA) Mechanical Academic Division,



Assoc. Prof. Dr. Chawin Chantharasanawong is an associate professor and full-time academic staff at the Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's University of

Technology Thonburi, Thailand

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแข็งตัวของเกลือไฮเดรตที่ติด ครีบทตามแนวยาวซึ่งมีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม

Mathematical Model of Solidification of Hydrated Salts with a Longitudinal Fin of Rectangular Profile

พีรวัชร มินตา¹และ วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี^{1,*}

Pheerawat Minta and Worachest Pirompugd

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี 20131

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน : worapiro@eng.buu.ac.th

วันที่รับบทความ: 14 กันยายน 2566 / วันที่แก้ไขบทความ: 21 ตุลาคม 2566 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 25 ตุลาคม 2566

บทคัดย่อ เกลือไฮเดรต (Salt hydrate) เป็นวัสดุเปลี่ยนสถานะซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดซับและปล่อยพลังงานความร้อนในระหว่างกระบวนการเปลี่ยนเฟส เกลือไฮเดรตมีคุณสมบัติที่ดีในการใช้งาน อาทิเช่น มีความร้อนแฝงสูง ไม่ติดไฟ มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานที่ดี และราคาไม่แพง ซึ่งเกลือไฮเดรตถูกนำมาใช้ในการกักเก็บงานอย่างแพร่หลาย เช่น การกักพลังงานความร้อนในโรงเรือน ที่จัดเก็บพีซีเอ็ม ในบทความนี้ จะเป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ สำหรับการแข็งตัวของวัสดุเปลี่ยนสถานะ ซึ่งก็คือเกลือไฮเดรต เมื่อกำหนด อุณหภูมิผนัง 25 องศาเซลเซียส ความยาวของครีบท 0.05 เมตร ครีบทกว้าง 0.01 เมตร สำหรับความสูงของพีซีเอ็มจะมี 7 ขนาด คือ 0.01 – 0.07 เมตร ซึ่งเพิ่มขนาดละ 0.01 เมตร จากผลลัพธ์ที่ได้ พบว่า เมื่อความสูงเท่ากับ 0.01 เมตร เวลาในการแข็งตัวของพีซีเอ็มทั้งหมด จะมีค่าน้อยที่สุด ในขณะที่ เมื่อความสูงเท่ากับ 0.05 – 0.07 เมตร จะใช้เวลาในการแข็งตัวทั้งหมดเท่ากันและใช้เวลานานที่สุด และจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะพบว่า เวลา อุณหภูมิที่ผนัง และขนาดของครีบท จะส่งผลต่อระยะการแข็งตัวของพีซีเอ็ม

คำสำคัญ: วัสดุเปลี่ยนสถานะ(พีซีเอ็ม), การแข็งตัว, ที่จัดเก็บพลังงาน, การถ่ายโอนความร้อน, ครีบทตามแนวยาว

Abstract Salt hydrates are inorganic phase change materials (PCMs) that can absorb and release heat energy during the phase change process. There are good properties for many applications, such as high latent heat, non-flammable, good energy storage capacity and expensive. Salt Hydrates are used for storage applications such as greenhouses and PCMs energy storage. In this paper, a mathematical model of solidification of a PCMs called hydrated salt is developed and analyzed. The conditions are that the wall temperature is 25 °C, fin length is 0.05 m., fin width is 0.01 m. PCMs storage heights are 7 sizes, 0.01 – 0.07 m. in increments of 1 cm. For a height of 0.01 m, the total time of solidification of PCMs is minimum. For at a height of 0.05 – 0.07 meters, it takes the same time for solidification and takes the most time. From the mathematical model it is found that the time, wall temperature, and fin size affect the distance of PCMs solidification.

Keywords: Phase Change Materials (PCMs), Solidification, Energy storage, Heat transfer, Longitudinal fins

1. บทนำ

วัสดุเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Materials, PCMs) หรือพีซีเอ็ม เป็นวัสดุที่สามารถดูดซับและปล่อยพลังงานในระหว่างกระบวนการเปลี่ยนสถานะ นั่นคือจากการแข็งตัวจากสถานะที่เป็นของเหลวกลายเป็นของแข็งจะมีการปล่อยพลังงาน และจากการหลอมเหลวจากสถานะที่เป็นของแข็งกลายเป็นของเหลวจะมีการดูดซับพลังงาน แต่การเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นก๊าซนั้นไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการจัดเก็บพลังงานความร้อน เนื่องจากต้องใช้ปริมาณมากหรือแรงดันสูงเพื่อให้วัสดุอยู่ในสถานะของก๊าซ ในการดูดซับและปล่อยพลังงานความร้อนจะเกิดจากความร้อนแฝง (Latent heat) ของพีซีเอ็มที่ทำงานกันเป็นวงจร ทำให้สามารถนำพีซีเอ็มมาใช้งานได้อย่างหลากหลายในงานที่ต้องการที่จะควบคุมอุณหภูมิ และยังสามารถช่วยประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ตัวอย่างเช่น การก่อสร้างอาคาร การจัดเก็บพลังงานความร้อน โซลาร์เซลล์ เป็นต้น พลังงานความร้อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนสถานะของพีซีเอ็มแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) คือ พลังงานความร้อนที่อุณหภูมิของสารที่เปลี่ยนแปลงไปโดยไม่มีการเปลี่ยนเฟส และความร้อนแฝง (Latent heat) คือ พลังงานความร้อนที่ทำให้สารเปลี่ยนเฟส พีซีเอ็มแบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลัก คือ พีซีเอ็มอินทรีย์ พีซีเอ็มอนินทรีย์ และพีซีเอ็มยูเทคติก พีซีเอ็มอินทรีย์คือจำพวกพาราฟินและที่ไม่เป็นพาราฟิน พาราฟินบริสุทธิ์จำเป็นที่ต้องใช้ต้นทุนเป็นจำนวนมากทำให้ในอุตสาหกรรมได้นำการผสมกับสารอื่นทำให้ความจุในการกักเก็บพลังงานของพาราฟินเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถเลือกใช้งานในอุณหภูมิที่กว้างขึ้น และพาราฟินมีคุณสมบัติที่ดีคือ มีความปลอดภัยในการใช้งาน ไม่เกิด

สนิม และในการเปลี่ยนสถานะมีเสถียรภาพที่ดี พีซีเอ็มที่ไม่เป็นพาราฟินเป็นสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ รวมไปถึงจำพวกเอสเทอร์และไขมันไม่อิ่มตัว (กรดไขมัน) ซึ่งมันสามารถติดไฟได้ ดังนั้นจึงไม่ควรใช้งานในอุณหภูมิที่สูงเกินไป หรือใช้ร่วมกับสารออกไซด์ที่อาจก่อให้เกิดเปลวไฟได้ พีซีเอ็มอนินทรีย์ เช่น แกลเลียมไฮดรอกไซด์ โลหะและโลหะผสม ซึ่งพีซีเอ็มที่เป็นอนินทรีย์นี้มีคุณสมบัติที่ไม่ติดไฟ มีความร้อนแฝงที่สูง มีสามารถในการกักเก็บพลังงานที่ดี และราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับพีซีเอ็มชนิดอื่นๆ แต่ข้อเสียก็คือสามารถที่จะรั่วไหลได้ในขณะเปลี่ยนแปลงเฟส พีซีเอ็มยูเทคติกเป็นส่วนผสมของพีซีเอ็มอินทรีย์และพีซีเอ็มอนินทรีย์ ละลายที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของสารอื่นๆ มีคุณสมบัติหลักคือความสามารถในการละลายหรือแข็งตัวโดยไม่ต้องมีการแยกกันระหว่างเฟส [1-3]

ในปี ค.ศ. 2003, Lamberg และ Siren [4] ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการนำความร้อนของพีซีเอ็ม วิเคราะห์โดยการสร้างแบบจำลองในการหาตำแหน่งของส่วนผสมระหว่างของแข็ง-ของเหลว และการกระจายอุณหภูมิของครีปในกระบวนการแข็งตัวที่อุณหภูมิที่ผนังคงที่ ในปี ค.ศ. 2010, Vitorino และคณะ [5] ได้นำเสนอการวิเคราะห์การแข็งตัวที่ถูกควบคุมโดยชั้นของแข็งเพียงอย่างเดียว โดยใช้วิธีการเชิงตัวเลขวิเคราะห์การนำความร้อนผ่านชั้นของแข็ง การพาความร้อนในของเหลวเย็นและขอบเขตที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งความถูกต้องของสมการจะวิเคราะห์จากการเปรียบเทียบระหว่างการแก้ปัญหาลำดับกับการแก้ปัญหาคำนวณโดยการนำความร้อนในชั้นของแข็ง ในปี ค.ศ. 2011, Sanusi และคณะ [6] ได้ทำการปรับปรุงการนำความร้อนของพีซีเอ็ม โดยการผสมเส้นใยนาโนกราฟท์เข้ากับพาราฟิน โดยที่เส้นใยนาโนกราฟท์จะช่วย

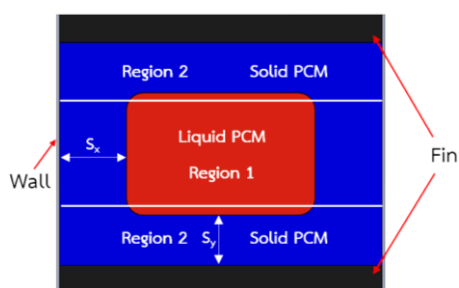
ในการกระจายความร้อนและทำให้ประสิทธิภาพของการระบายความร้อนเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดในหน่วยกักเก็บความร้อนได้ 48% และช่วยลดเวลาในการแข็งตัวได้มากถึง 61% ในปี 2015, Li และคณะ [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแข็งตัวและหลอมเหลวของวัสดุเปลี่ยนสถานะในทรงกลม โดยการนำพืชีเอ็มที่เป็นอินทรีย์ใส่ในทรงกลมและเติมผงอูมิเนียม จากนั้นเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างพืชีเอ็มที่ผสมผงอูมิเนียมกับไม่ผสมผงอูมิเนียม ผลที่ได้คือพืชีเอ็มส่วนบนของทรงกลมจะหลอมเหลวเร็วกว่าในส่วนล่างและพืชีเอ็มที่ใกล้กับผนังด้านในจะแข็งตัวเร็วกว่าพืชีเอ็มที่อยู่ตรงกลางของทรงกลม เนื่องจากผงอูมิเนียมเข้าไปเพิ่มการเร่งการถ่ายโอนความร้อนของทรงกลมทั้งหมดในกระบวนการหลอมเหลว ในปี ค.ศ. 2016, Babapoor และคณะ [8] ได้มีการทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มอนุภาคนาโนเข้ารวมกับพืชีเอ็มเพื่อเพิ่มการนำความร้อนของพืชีเอ็ม แต่อาจทำให้ความร้อนจำเพาะมีค่าลดลง ในปี ค.ศ. 2017, Pan และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาระบบจัดเก็บพลังงานโดยใช้ครีบบเป็นตัวช่วยพืชีเอ็มในการถ่ายโอนความร้อน โดยใช้แบบจำลองความต้านทานความร้อนแบบเลขอร์ในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นแบบจำลองใหม่ที่ได้เสนอเป็นครั้งแรก แบบจำลองนี้สามารถใช้ร่วมกับครีบบหลายมิติได้ ผลลัพธ์ที่ได้คือ มีความแม่นยำสูงในการหาค่าเวลาในการแข็งตัวของพืชีเอ็ม และยังสามารถถึงกระบวนการแข็งตัวแบบไม่เชิงเส้นในโครงสร้างระบบจัดเก็บพลังงานแฝงที่มีครีบบ ในปี ค.ศ. 2018, Narasimhan และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการแข็งตัวของพืชีเอ็มที่ผสมกับอนุภาคนาโนในทรงกลม ผลลัพธ์คือ การผสมอนุภาคนาโนเพิ่มเข้าไปทำให้อัตราการถ่ายโอนความร้อนของพืชีเอ็มเพิ่มขึ้น ในปี ค.ศ. 2018, Abdulateef และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของครีบบที่เหมาะสมที่จะใช้สำหรับเพิ่มการหลอมเหลวและการแข็งตัวของอนุภาคนาโนอลูมินา (Al_2O_3) และพาราฟิน (RT82) ใน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยครีบบที่ใช้จะเป็นครีบบสามเหลี่ยมภายนอก ซึ่งผลที่ได้คือครีบบความยาว 141 มม. ถือว่ามีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยจะลดระยะเวลาในการหลอมเหลวและแข็งตัวได้มากที่สุด ในปี ค.ศ. 2021 Choo และ Wei [1] ได้ทำการศึกษาเกลือไฮเดรตที่เป็นพืชีเอ็มอนินทรีย์มาใช้แทนพืชีเอ็มที่เป็นอินทรีย์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีกว่า เช่น ในด้านความปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และในปี ค.ศ. 2023, Zhang และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการแข็งตัวของพืชีเอ็มสำหรับการจัดเก็บพลังงานความร้อนแฝงโดยใช้ครีบบและอนุภาคนาโนที่มีโครงสร้างใหม่ โดยจะเป็นการใช้พืชีเอ็มร่วมกับอนุภาคนาโนและครีบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนความร้อนของพืชีเอ็ม วิเคราะห์จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 2 มิติ ผลลัพธ์ที่ได้คือระยะเวลาในการแข็งตัวและหลอมเหลวมีค่าลดลง

นอกจากนี้ จะพบว่า แม้ว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 2 มิติจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบจำลอง 1 มิติ แต่มีความยุ่งยากในการใช้งาน และในบางสภาวะแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 1 มิติ ก็ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างไปจากแบบจำลอง 2 มิติไม่มากนัก อีกทั้ง ยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับอัตราสัดส่วน (Aspect ratio) ที่มีต่อการแข็งตัวของเกลือไฮเดรต (Salt hydrate) อีกด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะนำเสนอการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายโอนความร้อน 1 มิติสำหรับการกลายเป็นของแข็งของเกลือไฮเดรตที่ติดครีบบตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม และยังมีการนำเสนอผลกระทบของอัตราสัดส่วน (Aspect ratio) ของวัสดุเปลี่ยนสถานะที่มีต่อระยะแข็งตัวอีกด้วย

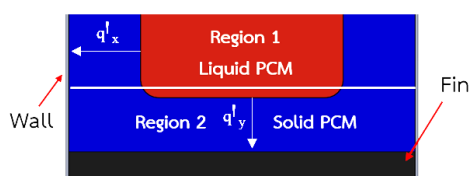
2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการวิเคราะห์การถ่ายโอนพลังงานความร้อนของฟิชีเอ็มในที่จัดเก็บซึ่งมีการติดครีบนั้น มีความซับซ้อนอย่างมากซึ่งอาจไม่เหมาะสมต่อการพิจารณาในสถานการณ์ที่ต้องการความรวดเร็ว ดังนั้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการถ่ายโอนความร้อน 1 มิติ จึงเป็นทางเลือกที่อาจพิจารณาใช้ได้ ในเบื้องต้น เนื่องจากมีความง่ายขึ้นและรวดเร็ว อีกทั้งสามารถป้อนเข้าสู่เครื่องคำนวณ และนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 ฟิชีเอ็มในที่จัดเก็บแบบจำกัดพร้อมครีบบนภายใน

จากรูปที่ 1 แสดงฟิชีเอ็มในที่จัดเก็บแบบจำกัดพร้อมครีบบนตามแนวยาวที่มีโปรไฟล์สี่เหลี่ยม ทั้งนี้เพื่อความง่าย ในรูปที่ 1 จึงเป็นเพียงฟิชีเอ็มเซลล์เดียวที่ใช้ในการวิเคราะห์ จากนั้น ในรูปที่ 2 จะแสดงครึ่งเซลล์ของฟิชีเอ็มซึ่งอยู่ในระนาบของการสมมาตรอยู่ตรงกลางของครีบบนและตรงกลางระหว่างครีบบนทั้งสองที่อยู่ติดกัน ทั้งนี้ เพื่อความง่ายในการคำนวณ



รูปที่ 2 ครึ่งเซลล์สมมาตรของฟิชีเอ็ม
พร้อมครีบบนภายใน

เนื่องจาก ปัญหานี้ เป็นปัญหาที่ซับซ้อน และอยู่ในสภาวะชั่วคราวหรือสภาวะไม่คงตัว จึงทำการแบ่งวัสดุเปลี่ยนสถานะออกเป็น 2 ส่วน และมีการตั้งสมมติฐานหลายข้อเพื่อลดความซับซ้อนของปัญหาการถ่ายโอนความร้อนแบบสองมิติ ดังนี้

1. เริ่มแรก ฟิชีเอ็มซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวและครีบบน มีอุณหภูมิเริ่มต้น เท่ากับ อุณหภูมิเยือกแข็งซึ่งพร้อมที่จะเปลี่ยนสถานะตลอดเวลา หรือ $T_l = T_r = T_m$ ดังนั้น การนำความร้อนและการพาความร้อนตามธรรมชาติในฟิชีเอ็มที่เป็นของเหลวจึงถือว่ามีค่าน้อยมาก การถ่ายโอนความร้อนเพียงอย่างเดียวคือการนำความร้อนในฟิชีเอ็มที่เป็นของแข็ง

2. อุณหภูมิการแข็งตัว (T_m) มีค่าคงที่ (แต่ในความเป็นจริงวัสดุเปลี่ยนเฟสมีช่วงการแข็งตัว, ΔT_m แต่มีค่าน้อยมาก)

3. การกระจายอุณหภูมิของครีบบนจะเป็นมิติเดียว คือ ในทิศทางแนวแกน x เนื่องจากครีบบนมีความบาง และค่าการนำความร้อนของวัสดุครีบบนมีค่าสูง

4. ในส่วนที่ 1 การถ่ายโอนความร้อนจะเกิดขึ้นมิติเดียว คือ ในทิศทางแนวแกน x โดยครีบบนไม่มีผลต่อการถ่ายโอนความร้อนในส่วนนี้

5. ในส่วนที่ 2 บริเวณส่วนต่อระหว่างของแข็งกับของเหลวการถ่ายโอนความร้อนจะเกิดขึ้นเพียงมิติเดียว คือ ในทิศทางแนวแกน y เนื่องจากความร้อนส่วนใหญ่ถูกถ่ายเทผ่านครีบบนไปยังสิ่งแวดล้อม

6. ในส่วนที่ 2 ความร้อนที่รับได้ของฟิชีเอ็มที่เป็นของแข็งจะถือว่าน้อยมาก ความร้อนแฝงของการเยือกแข็งจะเป็นความร้อนทั้งหมดของการจัดเก็บพลังงาน

7. คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าการนำความร้อน ความจุความร้อน และความหนาแน่นของวัสดุเปลี่ยนสถานะและครีบบน มีค่าคงที่

2.1 การถ่ายโอนความร้อนผ่านวัสดุเปลี่ยนสถานะ (พีซีเอ็ม) บริเวณที่ 1

การถ่ายโอนความร้อนของพีซีเอ็มในที่จกเก็บ ในบริเวณที่ 1 จะเป็นการถ่ายโอนความร้อนตาม แนวแกน x โดยพีซีเอ็มจะแข็งตัวตามแนวแกน x เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การถ่ายโอนความร้อนผ่านวัสดุเปลี่ยนสถานะ บริเวณที่ 1 (Region 1)

โดยสมการการถ่ายโอนความร้อนจะเป็นไปตามสมการที่ (2.1) และ (2.2) ดังนี้

$$\frac{\partial^2 T_s}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha_s} \frac{\partial T_s}{\partial t}, \quad 0 < x < l_f, \quad t > 0 \quad \dots (2.1)$$

$$(\rho L)_s \frac{\partial S_x(t)}{\partial t} = -k_s \frac{\partial T_s(S_x, t)}{\partial x}, \quad T > 0 \quad \dots (2.2)$$

สำหรับเงื่อนไขขอบเขต จะเป็นไปตามสมการที่ (2.3) และ (2.4) ดังนี้

$$S_x(0) = 0 \quad \dots (2.3)$$

$$T_s(S_x, t) = T_m \quad \dots (2.4)$$

โดยเงื่อนไขเริ่มต้น จะเป็นไปตามสมการที่ 2.5 ดังนี้

$$T_s(0, t) = T_s(l_f, t) = T_w \quad \dots (2.5)$$

ให้ $\theta_s = \frac{T_s - T_m}{T_w - T_m}$ ดังนั้นสมการที่ 2.1 จะได้

$$\frac{\partial^2 \theta_s}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha_s} \frac{\partial \theta_s}{\partial t} \quad \text{หรือ} \quad \theta_{s,t} = \partial_s \theta_{s,xx} \quad \dots (2.6)$$

กำหนดให้ $\gamma = \frac{x}{\sqrt{t}}$ จะได้

$$\theta_s(x, t) = F_s(\gamma(x, t))$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{dF_s}{d\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial t} = -\frac{x}{2t\sqrt{t}} \frac{dF_s}{d\gamma}$$

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial x} = \frac{dF_s}{d\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial x} = \frac{1}{\sqrt{t}} \frac{dF_s}{d\gamma}$$

$$\alpha_s \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial x^2} = \alpha_s \frac{1}{\sqrt{t}} \frac{d}{d\gamma} \left[\frac{dF_s}{d\gamma} \right] \frac{d\gamma}{dx} = \alpha_s \frac{1}{t} \frac{d^2 F}{d\gamma^2}$$

แทนค่าในสมการที่ 2.6 จะได้

$$-\frac{x}{2t\sqrt{t}} \frac{dF_s}{d\gamma} = \alpha_s \frac{1}{t} \frac{d^2 F}{d\gamma^2}$$

$$\frac{d^2 F}{d\gamma^2} + \frac{\gamma}{2\alpha_s} \frac{dF_s}{d\gamma} = 0$$

คูณ $e^{4\alpha_s \gamma^2}$ ตลอดสมการ จะได้

$$e^{4\alpha_s \gamma^2} \frac{d^2 F}{d\gamma^2} + \frac{\gamma}{2\alpha_s} e^{4\alpha_s \gamma^2} \frac{dF}{d\gamma} = \frac{d}{d\gamma} \left[e^{4\alpha_s \gamma^2} \frac{dF}{d\gamma} \right] = 0$$

$$e^{4\alpha_s \gamma^2} \frac{dF}{d\gamma} = C_1$$

$$F = C_1 \int e^{-\frac{\gamma^2}{4\alpha_s}} d\gamma + C_2$$

$$F = C_1 \int_0^{\gamma} e^{-t^2} dt + C_2$$

จาก Error function, $\text{erf } z = \frac{2}{\pi} \int_0^z e^{-t^2} dt$ จะได้

$$F = C_3 \text{erf} \left(\frac{\gamma}{2\sqrt{\alpha_s}} \right) + C_2$$

$$\theta_s(x, t) = F\left(\frac{x}{\sqrt{t}}\right) = A \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha_s t}}\right) + D$$

จากสมการ 2.5 เมื่อ $x = 0$ จะได้ $U_s = 1$ ดังนั้น $D = 1$
และจากสมการ 2.4 เมื่อ $x = S_x$ จะได้ $U_s = 0$ ดังนั้น

$$0 = A \operatorname{erf}\left(\frac{S_x}{2\sqrt{\alpha_s t}}\right) + 1$$

$$A = -\frac{1}{\operatorname{erf}\left(\frac{S_x}{2\sqrt{\alpha_s t}}\right)}$$

ให้ $\lambda = \frac{S_x}{2\sqrt{\alpha_s t}}$ หรือ $S_x = 2\lambda\sqrt{\alpha_s t}$ จะได้

$$A = -\frac{1}{\operatorname{erf}(\lambda)}$$

$$\theta_s(x, t) = 1 - \frac{1}{\operatorname{erf}(\lambda)} \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha_s t}}\right) \quad \dots(2.7)$$

จากสมการที่ 2.2 จะได้

$$(\rho L)_s \frac{\partial S_x(t)}{\partial t} = -k_s \frac{\partial T_s(S_x, t)}{\partial x}$$

และ

$$\frac{dS_x(t)}{dt} = \lambda \sqrt{\frac{\alpha_s}{t}}$$

$$\frac{\partial T_s}{\partial x} = \frac{(T_w - T_m)}{\operatorname{erf}(\lambda)} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{d}{dx} \int_0^{x/2\sqrt{\alpha_s t}} e^{-t^2} dt$$

$$\frac{\partial T_s}{\partial x} = \frac{(T_w - T_m)}{\operatorname{erf}(\lambda)} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{e^{-\frac{x^2}{4\alpha_s t}}}{\sqrt{\alpha_s t}}$$

เมื่อ $x = S_x$ จะได้

$$\frac{\partial T_s}{\partial x} = -\frac{(T_w - T_m)}{\operatorname{erf}(\lambda)} \frac{e^{-\lambda^2}}{\sqrt{\pi \alpha_s t}}$$

ดังนั้น

$$(\rho L)_s \lambda \sqrt{\frac{\alpha_s}{t}} = -k_s \frac{(T_w - T_m)}{\operatorname{erf}(\lambda)} \frac{e^{-\lambda^2}}{\sqrt{\pi \alpha_s t}}$$

$$\lambda e^{\lambda^2} \operatorname{erf}(\lambda) = -k_s \frac{T_w - T_m}{\sqrt{\pi \alpha_s t}} \sqrt{\frac{t}{\alpha_s (\rho L)_s}}$$

$$\lambda e^{\lambda^2} \operatorname{erf}(\lambda) = -k_s \frac{T_w - T_m}{\sqrt{\pi \alpha_s \rho_s L_s}}$$

$$\lambda e^{\lambda^2} \operatorname{erf}(\lambda) = -k_s \frac{\rho_s C_{p,s} (T_w - T_m)}{\sqrt{\pi k_s \rho_s L_s}}$$

เมื่อ $St = \frac{C_{p,s} \Delta T}{L_s}$ จะได้

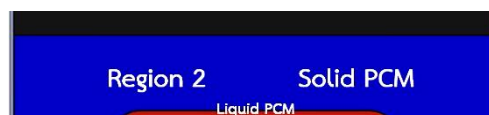
$$\lambda e^{\lambda^2} \operatorname{erf}(\lambda) = \frac{St_s}{\sqrt{\pi}} = \frac{C_{p,s} (T_w - T_m)}{-L_s \sqrt{\pi}} \quad \dots (2.8)$$

แทน $\lambda = \frac{S_x}{2\sqrt{\alpha_s t}}$ สมการที่ 2.8 จะได้

$$\frac{S_x}{2\sqrt{\alpha_s t}} e^{\frac{S_x^2}{4\alpha_s t}} \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha_s t}}\right) = \frac{C_{p,s} (T_w - T_m)}{-L_s \sqrt{\pi}} \quad \dots (2.9)$$

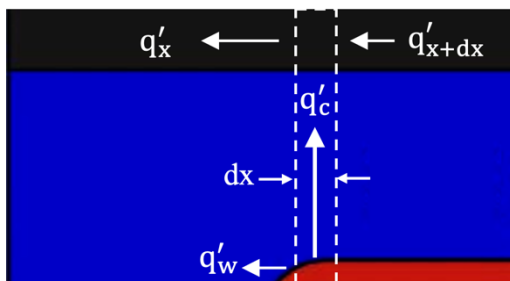
2.2 การถ่ายโอนความร้อนผ่านวัสดุเปลี่ยนสถานะ (พีซีเอ็ม) บริเวณที่ 2

การถ่ายโอนความร้อนของพีซีเอ็มในบริเวณที่ 2 จะเป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยที่พีซีเอ็มซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวถ่ายโอนความร้อนมาสู่พีซีเอ็มที่เป็นของแข็ง และพีซีเอ็มที่เป็นของแข็งก็จะถ่ายโอนความร้อนสู่ครีบบระบายความร้อนต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การถ่ายโอนความร้อนผ่านวัสดุเปลี่ยนสถานะ บริเวณที่ 2 (Region 2)

ในการพิจารณาการถ่ายโอนความร้อนของ พืชเอ็มในบริเวณที่ 2 จะมองเป็นสองส่วนคือ พืชเอ็มที่เป็นของเหลวและพืชเอ็มที่เป็นของแข็ง สามารถแก้ไข ปัญหาโดยใช้กฎสมดุลพลังงาน



รูปที่ 5 การถ่ายโอนพลังงานความร้อน
ของพืชเอ็มและกรีน

สมดุลพลังงานของพืชเอ็มคือ

$$E'_p = q'_w + q'_c \quad \dots (2.10)$$

ความร้อนที่ปล่อยออกมาเนื่องจากการแข็งตัวของ พืชเอ็ม

$$E'_p = -(\rho L)_s l_f \frac{\partial S_y}{\partial t} dx \quad \dots (2.11)$$

การถ่ายโอนความร้อนจากส่วนต่อประสานของพืชเอ็ม ระหว่างของแข็งกับของเหลวไปยังกรีน

$$q'_c = k_s \frac{l_f}{S_y} (T_f - T_m) dx \quad \dots (2.12)$$

อัตราการถ่ายโอนความร้อนต่อหน่วยความยาวจากส่วน ต่อประสานของพืชเอ็มระหว่างของแข็งกับของเหลวไปยังผนัง (q'_w) ที่อุณหภูมิคงที่ ขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อนผ่านของแข็ง

$$q_w = k_s \frac{l_f}{x} (T_w - T_m) \frac{\partial S_y}{\partial x} dx \quad \dots (2.13)$$

โดยความร้อนจากสมการที่ (2.13) จะมีค่าน้อยกว่าความร้อนจากสมการที่ (2.12) อยู่มากพอสมควร ดังนั้น จึงสามารถสมมติให้เป็นการถ่ายโอนความร้อน 1 มิติได้ ซึ่งจะสมมติให้สมการที่ (2.13) มีค่าเท่ากับ 0 และนำสมการที่ (2.11) และ (2.12) แทนลงในสมการ (2.10) จะได้

$$-(\rho L)_s l_f \frac{\partial S_y}{\partial t} = k_s \frac{l_f}{S_y} (T_f - T_m)$$

นำ $\frac{C_{p,f} l_f \rho_f}{L_s l_s k_f \rho_s}$ คูณทั้งสมการ

$$(\rho L)_s l_f \frac{C_{p,f} l_f \rho_f}{L_s l_s k_f \rho_s} \frac{\partial S_y}{\partial t} = -k_s \frac{l_f}{S_y} \frac{C_{p,f} l_f \rho_f}{L_s l_s k_f \rho_s} (T_f - T_m)$$

จะได้

$$\frac{\partial \frac{S_y}{l_c}}{\partial \frac{k_f t}{\rho_f C_{p,f} l_f^2}} = -k_s \frac{l_f}{S_y} \frac{C_{p,f} l_f \rho_f}{L_s l_s k_f \rho_s} (T_f - T_m) \frac{(T_w - T_m)}{(T_w - T_m)} \quad \dots (2.14)$$

จากสมการที่ (2.14) กำหนดให้มีเงื่อนไขเริ่มต้นคือ

$$S_y = (x, 0) \quad \dots (2.15)$$

จากสมการที่ (2.14) จัดให้อยู่ในรูปอย่างง่ายโดยทำให้เป็นตัวแปรไร้มิติ

$$\theta = \frac{T - T_m}{T_w - T_m}$$

$$\tau = \frac{k_f t}{(\rho C_p)_f l_f^2}$$

$$\gamma = \frac{S_y}{l_c}$$

$$\eta = \frac{x}{l_f}$$

$$\lambda = \frac{l_f}{l_c}$$

$$\psi = \frac{D}{l_c}$$

$$\kappa = \frac{k_s}{k_f}$$

$$\xi = \frac{(\rho c_p)_f (T_w - T_m)}{-L\rho_s}$$

จะได้

$$\frac{\partial \gamma}{\partial \tau} = \xi \kappa \lambda^2 \frac{\theta}{\gamma} \quad \dots (2.16)$$

จากสมการที่ (2.16) กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นคือ

$$\gamma(\eta, 0) = 0 \quad \dots (2.17)$$

จากสมการที่ (2.16) จะสามารถหาคำตอบได้ดังนี้

$$\gamma = \sqrt{2\xi\kappa\lambda^2\theta\tau} \quad \dots (2.18)$$

ในสภาวะที่ฟิสิกส์แข็งแกร่งจะใช้พลังงานของความร้อนแฝงของการหลอมเหลวเพื่อถ่ายโอนความร้อน เนื่องจากการหลอมเหลวและการแข็งตัวของฟิสิกส์แข็งแกร่งจะใช้พลังงานเท่ากัน

การกระจายอุณหภูมิของครีบริบและระยะห่างของส่วนต่อประสานระหว่างฟิสิกส์แข็งแกร่งที่เป็นของเหลวและของแข็งกับครีบริบในทิศทาง y คือ

$$T = \theta(T_w + T_m) \quad \dots (2.19)$$

และ

$$S_y = l_c \gamma \quad \dots (2.20)$$

2.3 การถ่ายโอนความร้อนผ่านครีบริบตามแนวยาว

ฟิสิกส์แข็งแกร่งมีสถานะเป็นของเหลวเนื่องจากได้รับพลังงานความร้อน โดยการถ่ายโอนความร้อนจากแหล่ง

ความร้อนและเพื่อให้ฟิสิกส์แข็งแกร่งระบายความร้อนออกนั้น จะต้องอาศัยครีบริบระบายความร้อนเพื่อถ่ายโอนความร้อนจากฟิสิกส์แข็งแกร่งไปสู่สิ่งแวดล้อม

การถ่ายโอนความร้อนของครีบริบจะเท่ากับอัตราการนำความร้อนผ่านครีบริบรวมกันกับอัตราการพาความร้อนออกจากครีบริบ โดยใช้หลักการสมดุลพลังงานของครีบริบจะได้สมการหลักสองสมการ คือ

$$E_f'' = q_x'' - q_{x+dx}'' - q_c'' \quad \dots (2.21)$$

$$(\rho c_p)_f D \frac{\partial T_f}{\partial t} = k_f D \frac{\partial^2 T_f}{\partial x^2} - \frac{k_s}{S_y} (T_f - T_m), t > 0 \quad \dots (2.22)$$

ในการแก้ปัญหาคำหนดให้เงื่อนไขเริ่มต้น คือ

$$T_f(x, 0) = T_m \quad \dots (2.23)$$

มีเงื่อนไขขอบเขต คือ

$$T_f(0, t) = T_w \quad \dots (2.24)$$

$$T_f(l_f, t) = T_w \quad \dots (2.25)$$

จากสมการที่ (2.22) จัดให้อยู่ในรูปอย่างง่าย โดยใช้เงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต จากนั้นทำให้เป็นตัวแปรไร้มิติ จะได้

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \eta^2} - \frac{\lambda^2 \kappa \theta}{\psi \gamma}, t > 0 \quad \dots (2.26)$$

จากสมการที่ (2.26) กำหนดให้เงื่อนไขเริ่มต้น คือ

$$\theta(\eta, 0) = 0 \quad \dots (2.27)$$

และมีเงื่อนไขขอบเขต คือ

$$\theta(0, \tau) = 1 \quad \dots (2.28)$$

$$\theta(1, \tau) = 1 \quad \dots (2.29)$$

จากสมการที่ (2.26) จะได้

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \eta^2} \quad \dots (2.30)$$

จากสมการที่ (2.30) ใช้เงื่อนไขเริ่มต้นจากสมการที่ (2.27) และเงื่อนไขขอบเขตจากสมการที่ (2.28), (2.29) จะได้

$$\theta = \frac{\cosh((\eta - 0.5)\sqrt{v})}{\cosh(0.5\sqrt{v})} - \frac{4}{\pi e^v} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n e^{-(2n+1)^2 \pi^2 \tau}}{(2n+1)[1 + \{v/((2n+1)^2 \pi^2)\}]} \cos((2n+1)\pi(\eta - 0.5)) \quad \dots (2.31)$$

โดยที่

$$v = \frac{(\lambda^2 \kappa)}{\Psi \gamma}$$

2.4 คุณสมบัติของเกลือไฮเดรต^[13] และครีบอลูมิเนียม^[14]

ในการศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนสำหรับการแข็งตัวของฟิซีเอ็มที่คิดครีตามแนวยาวที่มีโพไรไฟลส์เหล่านี้ จะใช้ฟิซีเอ็ม คือ เกลือไฮเดรต ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

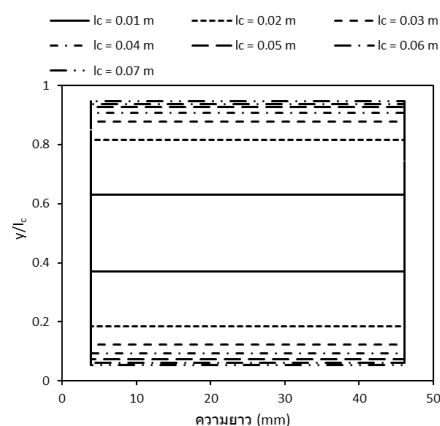
อุณหภูมิหลอมเหลว	29	°C
ความหนาแน่น	1,706	kg/m ³
ค่าการนำความร้อน	1.09	W/m/K
ค่าความร้อนจำเพาะ	2,060	J/kg/K
ค่าความร้อนแฝง	170,000	J/kg

โดยครีจะทำมาจากอลูมิเนียมซึ่งมีคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

ความหนาแน่น	2,713	kg/m ³
ค่าการนำความร้อน	180	W/m/K
ค่าความร้อนจำเพาะ	960	J/kg/K

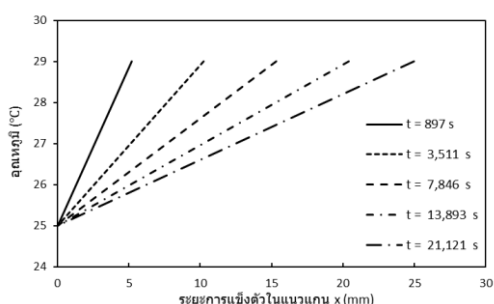
3. ผลลัพธ์และการวิเคราะห์

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่ออุณหภูมิของผนัง หรือ T_w มีค่าเท่ากับ 25 °C, $l_f = 0.05$ เมตร, $D = 0.005$ เมตร และ $l_c = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07$ เมตร จะได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้



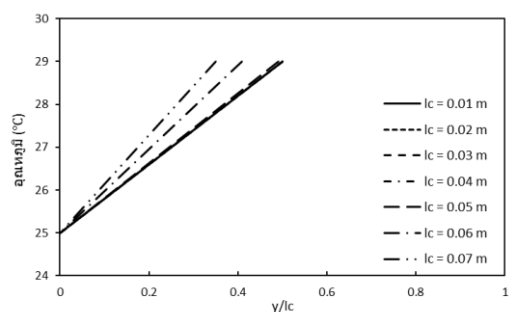
รูปที่ 7 การแข็งตัวของฟิซีเอ็มที่เวลา 500 วินาที

จากรูปที่ 7 แสดงสัดส่วนของระยะการแข็งตัวต่อความสูงของเกลือไฮเดรตที่เวลา 500 วินาที สำหรับฟิซีเอ็มที่มีขนาดความสูงต่างๆ จากผลลัพธ์ที่ได้ จะพบว่าระยะแข็งตัวตามแนวกว้าง x หรือ S_x จะมีค่าเท่ากับ 3.85 มิลลิเมตร เท่ากันทุกฟิซีเอ็ม ในขณะที่ S_y/l_c สำหรับ $l_c = 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07$ เมตร จะมีค่าเท่ากับ 0.37, 0.185, 0.123333, 0.0925, 0.074, 0.061667, 0.052857 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ฟิซีเอ็มที่มีขนาด l_c ต่ำกว่า จะมีสัดส่วนการแข็งตัวที่เร็วกว่า ดังนั้น หากต้องการการระบายความร้อนที่รวดเร็ว จึงควรใช้ฟิซีเอ็มที่มี l_c ต่ำ ในขณะที่ l_c สูง จะเหมาะสำหรับการระบายความร้อนอย่างช้าๆ และใช้เวลานานกว่า



รูปที่ 8 การกระจายอุณหภูมิของพีซีเอ็มที่แข็งตัวทั้งหมดที่เวลาต่างๆ

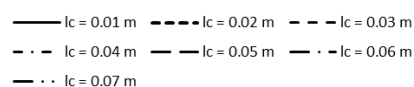
จากรูปที่ 8 แสดงการกระจายอุณหภูมิของพีซีเอ็มที่เวลาต่างๆ โดยจะพบว่า ที่เวลา 897 วินาที S_x จะมีค่า 5.18 มม. เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 3,511 วินาที S_x จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 10.19 มม. เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 7,846 วินาที S_x จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 15.24 มม. เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 13,893 วินาที S_x จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 20.28 มม. เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 21,121 วินาที S_x จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 25 มม. จากรูปจะพบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ความชันของกราฟซึ่งแสดงถึง dT/dx จะมีค่าลดลง ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออัตราการระบายความร้อน



รูปที่ 9 การกระจายอุณหภูมิของพีซีเอ็มที่แข็งตัวของแต่ละความสูง

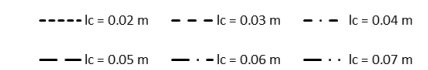
จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่ากราฟที่ค่า l_c เท่ากับ 0.01, 0.02, 0.03 และ 0.04 เมตร S_y/l_c จะมีค่าเท่ากัน คือ 0.5 ทั้งนี้ เนื่องจาก l_c มีค่ามากกว่า l_c ทำให้เกิดการแข็งตัว

ในแนวแกน y จนเต็มทั้งวัสดุพีซีเอ็มก่อนการแข็งตัวในแนวแกน x แต่สำหรับ l_c เท่ากับ 0.05, 0.06, 0.07 เมตรนั้น จะเกิดการแข็งตัวจนเต็มวัสดุพีซีเอ็มในแนวแกน x ก่อนแกน y นั่นคือ $S_x = 25$ มม. และจะพบว่า เมื่อ l_c มีค่าเพิ่มขึ้น S_y/l_c จะมีค่าลดลง



รูปที่ 10 การแข็งตัวของพีซีเอ็มที่เวลา 897 วินาที

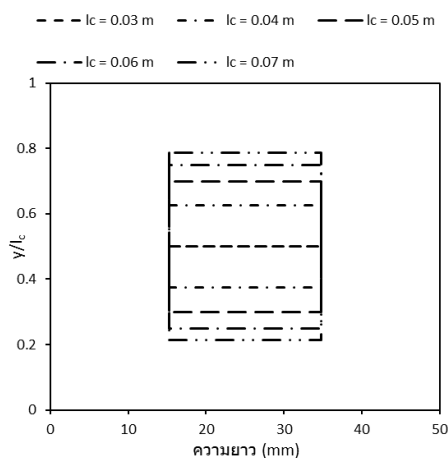
จากรูปที่ 10 ที่เวลา 897 วินาที S_x จะมีค่าเท่ากับ 5.16 มม. และเมื่อ l_c เท่ากับ 0.01 เมตร พีซีเอ็มจะแข็งตัวหมดทั้งก้อน โดยเป็นการแข็งตัวตามแนวแกน y ในขณะที่ l_c เท่ากับ 0.02 – 0.07 เมตร จะพบว่า S_y/l_c เท่ากับ 0.815, 0.12333, 0.0925, 0.074, 0.061667 และ 0.052857 ตามลำดับ



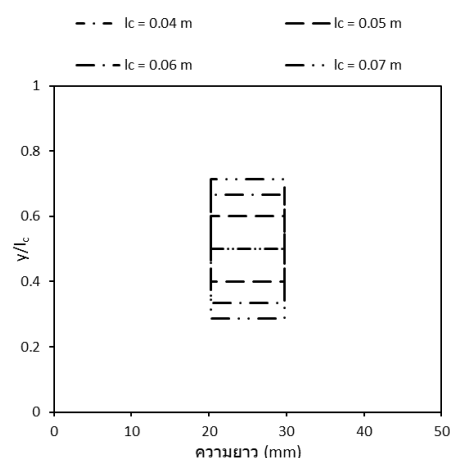
รูปที่ 11 การแข็งตัวของพีซีเอ็มที่เวลา 3,511 วินาที

จากรูปที่ 11 ที่เวลา 3,511 วินาที S_x จะมีค่าเท่ากับ 10.19 มม. และเมื่อ l_c เท่ากับ 0.02 เมตร จะเกิดการแข็งตัวจนเต็มทั้งหมดในแนวแกน y ทำให้ได้กราฟเป็นรูปเส้นตรงแนวนอนที่ตำแหน่งกึ่งกลางรูป ทับกับกราฟการแข็งตัวที่ $l_c = 0.01$ เมตร ที่แข็งตัวจนเต็มไปก่อนหน้านี้แล้ว นอกจากนี้ จะพบว่า เมื่อ l_c เท่ากับ 0.03 – 0.07 เมตร S_y/l_c เท่ากับ 0.12333, 0.0925, 0.074, 0.061667 และ 0.052857 ตามลำดับ

จากรูปที่ 12 ที่เวลา 7,846 วินาที S_x จะมีค่าเท่ากับ 15.24 มม. โดยสำหรับ l_c เท่ากับ 0.03 เมตร จะเกิดการแข็งตัวจนเต็มทั้งหมดในแนวแกน y ทำให้ได้กราฟเป็นรูปเส้นตรงที่ตำแหน่งกึ่งกลางรูป นอกจากนี้ สำหรับ l_c เท่ากับ 0.04 – 0.07 เมตร S_y/l_c จะมีค่าเท่ากับ 0.0925, 0.074, 0.061667 และ 0.052857 ตามลำดับ

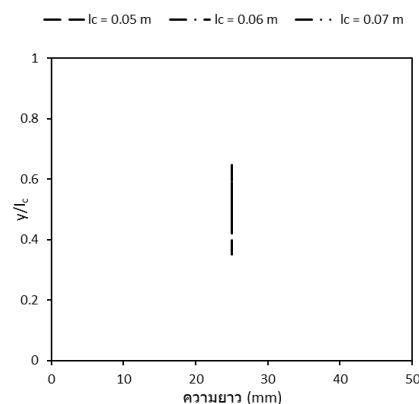


รูปที่ 12 การแข็งตัวของพีซีเอ็มที่เวลา 7,846 วินาที



รูปที่ 13 การแข็งตัวของพีซีเอ็มที่เวลา 13,893 วินาที

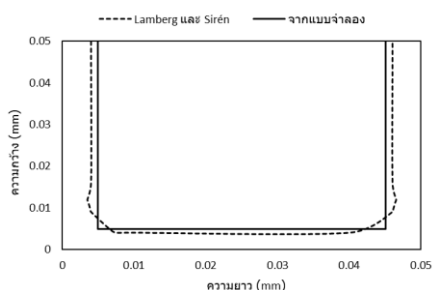
จากรูปที่ 13 ที่เวลา 13,893 วินาที S_x เท่ากับ 20.28 มม. และสำหรับ l_c เท่ากับ 0.04 เมตร จะเกิดการแข็งตัวจนเต็มทั้งหมดในแนวแกน y นอกจากนี้ สำหรับ l_c เท่ากับ 0.05 – 0.07 เมตร S_y/l_c จะมีค่าเท่ากับ 0.074, 0.061667 และ 0.052857 ตามลำดับ



รูปที่ 14 การแข็งตัวของพีซีเอ็มที่เวลา 21,121 วินาที

จากรูปที่ 14 ที่เวลา 21,121 วินาที สำหรับพีซีเอ็ม ซึ่ง l_c มีค่าเท่ากับ 0.05, 0.06 และ 0.07 เมตร จะเกิดการแข็งตัวจนเต็มทั้งหมดในแนวแกน x ทำให้ได้กราฟเป็นรูปเส้นตรงแต่เป็นเส้นแนวตั้ง ซึ่งจะต่างจากที่ l_c เท่ากับ 0.01 – 0.04 เมตร ที่กราฟจะเป็นเส้นแนวนอน

จากแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นมา จะนำไปตรวจสอบความถูกต้อง โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลอง 2 มิติของ Lamberg และ Sirén [4] ดังแสดงในรูปที่ 15 โดยพบว่าค่า S_x และ S_y จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 17.86% และ 21% ตามลำดับ ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนในระดับหนึ่ง เนื่องจากแบบจำลองจะเป็นการวิเคราะห์ใน 1 มิติเลยมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าแบบจำลอง 2 มิติซึ่งมีความแม่นยำที่มากกว่า



รูปที่ 15 การแก้ตัวของพาราฟินที่ T_w เท่ากับ 13°C
 $T_m = 28^\circ\text{C}$ เมื่อเวลา 1,085 วินาที

4. สรุปผล

จากการพัฒนา ศึกษา และวิเคราะห์ผล สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการถ่ายโอนความร้อนสำหรับการแก้ตัวของเกลือไฮเดรตซึ่งคิดครีตามแนวยาว พบว่า พบว่า แบบจำลองดังกล่าวสามารถทำนายการแก้ตัวของวัสดุพีซีเอ็มได้ดีในระดับหนึ่ง โดยให้ความคลาดเคลื่อนประมาณ 10% และจะพบว่า พีซีเอ็มในบริเวณที่ 1 จะแก้ตัวได้เร็วกว่าพีซีเอ็มในบริเวณที่ 2 นอกจากนี้ สำหรับ พีซีเอ็มที่มีระยะ l_c เท่ากับ 0.01 – 0.04 เมตร จะมีการแก้ตัวจนเต็ม ตามแกน y ก่อนแกน x ในขณะที่ พีซีเอ็มที่มีระยะ l_c เท่ากับ 0.05-0.07 เมตร จะมีการแก้ตัวจนเต็ม ตามแนวแกน x ก่อนแกน y

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนคนที่ 1 ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ที่ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจตลอดจนบทความนี้สำเร็จ ผู้เขียนคนที่ 2 ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม โดยหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคน และทุนด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม สัญญาเลขที่ B40G660039

6. รายการสัญลักษณ์

c_p	คือ	ความจุความร้อน, J/kg/K
D	คือ	ความหนาครึ่งหนึ่งของครีป, m
E	คือ	ความจุของที่เก็บพลังงาน, J
E^I	คือ	ความจุที่เก็บพลังงานต่อหน่วยความยาว, W/m
E^{II}	คือ	ความจุที่เก็บพลังงานต่อหน่วยพื้นที่, W/m^2
k	คือ	ค่าการนำความร้อน, W/m/K
l	คือ	ความยาว, m
L	คือ	ค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลว, J/kg
q	คือ	การถ่ายโอนความร้อน, W
q^I	คือ	การถ่ายโอนความร้อนต่อความยาว, W/m
q^{II}	คือ	การไหลของพลังงานความร้อน, W/m^2
S	คือ	ตำแหน่งของส่วนต่อประสานในการเปลี่ยนเฟส, m
St	คือ	Stefan number, $St = (c_p \Delta T)/L$
T	คือ	อุณหภูมิ (temperature), $^\circ\text{C}$
ΔT_m	คือ	ช่วงอุณหภูมิการแก้ตัว, $^\circ\text{C}$
x	คือ	ระยะในแนวแกน x, m
y	คือ	ระยะในแนวแกน y, m

α	คือ	ค่าการแพร่ความร้อน, m^2/s
ρ	คือ	ค่าความหนาแน่น, kg/m^3
ε	คือ	อัตราการแข็งตัวของพีซีเอ็ม
λ	คือ	รากที่สองของสมการ
$\theta = \frac{T - T_m}{T_w - T_m}$	คือ	การกระจายอุณหภูมิ
$\tau = \frac{k_{ft}}{(\rho c_p)_f l_f^2}$	คือ	เวลา
$\gamma = \frac{S_y}{l_c}$	คือ	อัตราการแข็งตัวของ ส่วนต่อประสาน ระหว่างของแข็ง และของเหลว
$\eta = \frac{x}{l_f}$	คือ	ระยะจากแกน x
$\lambda = \frac{l_f}{l_c}$	คือ	อัตราส่วนระหว่างแกน แนวตั้งและแนวนอน
$\psi = \frac{D}{l_c}$	คือ	อัตราส่วนความหนา ครึ่งหนึ่งของครึ่งกับ ความสูง
$\kappa = \frac{k_s}{k_f}$	คือ	อัตราส่วนของการนำ ความร้อน
$\xi = \frac{(\rho c_p)_f (T_w - T_m)}{-L \rho_s}$	คือ	modify Stefan number

ตัวห้อยและตัวยก

C	คือ	การนำความร้อน
f	คือ	ครึ่ง
l	คือ	ของเหลว
m	คือ	การแข็งตัว
p	คือ	วัสดุเปลี่ยน
s	คือ	ของแข็ง
w	คือ	ผนัง
x	คือ	ทิศทางแนวแกน x
y	คือ	ทิศทางแนวแกน y

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. M. Choo, W. Wei, "Salt hydrates as phase change materials for photovoltaics thermal management," *Energy Science & Engineering*, 10(5), 1630-1642, 2021
- [2] H. Zhang, Q. Dong, J. Lu, Y. Tang, W. Bi, Y. Gao, H. Yang, J. Wang, "Modified sodium acetate trihydrate/expanded perlite composite phase change material encapsulated by epoxy resin for radiant floor heating," *Journal of Energy Storage*, 65, 107374, 2023
- [3] Mochane, "Polymer encapsulated paraffin wax to be used as phase change material for energy storage (Doctoral dissertation," University of the Free State (Qwaqwa Campus)). 2011
- [4] Lamberg, Siren, "Approximate analytical model for solidification in a finite PCM storage with internal fins," *Applied Mathematical Modelling*, 27(7), 491-513, 2013
- [5] N. Vitorino, J.C.C. Abrantes, J.R. Frade, "Numerical solutions for mixed controlled solidification of phase change materials," *International journal of heat and mass transfer*, 53(23-24), 5335-5342, 2010
- [6] Omar Sanusi, Ronald Warzoha, Amy S. Fleischer, "Energy storage and solidification of paraffin phase change material embedded with graphite nanofibers," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(19-20), 4429-4436, 2011
- [7] Wei Li, Yun-Hao Wang, Cheng-Cheng Kong, "Experimental study on melting/solidification and thermal conductivity enhancement of phase change material inside a sphere," *International*

- Communications in Heat and Mass Transfer*, 68, 276-282, 2015
- [8] Aziz Babapoor, Gholamreza Karimi, Samad Sabbaghi, "Thermal characteristic of nanocomposite phase change materials during solidification process," *Journal of Energy Storage*, 7, 74-81, 2016
- [9] Chunjian Pan, Sean Hoenig, Chien-Hua Chen, Sudhakar Neti, Carlos Romero, Natasha Vermaak, "Efficient modeling of phase change material solidification with multidimensional fins," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115, 897-909, 2017
- [10] N. Lakshmi Narasimhan, V. Veeraraghavan, G. Ramanathan, B. Sanjay Bharadwaj, M. Thamilmani, "Studies on the inward spherical solidification of a phase change material dispersed with macro particles," *Journal of Energy Storage*, 15, 158-171, 2018
- [11] Ammar M. Abdulateef, Jasim Abdulateef, Kamaruzzaman Sopian, Sohif Mat, Adnan Ibrahim, "Optimal fin parameters used for enhancing the melting and solidification of phase change material in a heat exchanger unite," *Case Studies in Thermal Engineering*, 14, 100487, 2019
- [12] Ji Zhang, Zhi Cao, Sheng Huang, Xiaohui Huang, Yu Han, Chuang Wen, Jens Honoré Walther, Yan Yang, "Solidification performance improvement of phase change materials for latent heat thermal energy storage using novel branch-structured fins and nanoparticles," *Applied Energy*, 342, 121158, 2023
- [13] Chunjian Pan, Joshua Charles, Natasha Vermaak, Carlos Romero, Sudhakar Neti, Ying Zheng, Chien-Hua Chen, Richard Bonner, "Experimental, numerical and analytic study of unconstrained melting in a vertical cylinder with a focus on mushy region effects," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 124, 1015-1024, 2018
- [14] Lamberg P., Siren K., "Analytical model for melting in a semi-infinite PCM storage with an internal fin," *Heat and mass transfer*, 39(2), 167-176, 2003

ประวัติผู้ประพันธ์ :



นายพิรวัชร มินตา

-จบการศึกษา : ปริญญาตรีจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
(วิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตร
วิศวกรรมยานยนต์)

- กำลังศึกษาในระดับ : ปริญญาโท มหาวิทยาลัย
บูรพา (วศ.ม.วิศวกรรมเครื่องกล)



รศ.ดร.วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี

-จบการศึกษา : ปริญญาเอก จาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี (วศ.ด.
วิศวกรรมเครื่องกล)

- จบการศึกษา : ปริญญาโทจากสถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี (วศ.ม.วิศวกรรมเครื่องกล)

- จบการศึกษา : ปริญญาตรีจากสถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี (วศ.บ.วิศวกรรมเครื่องกล)

การวิเคราะห์การพยากรณ์ตามการเรียนรู้ของเครื่อง สำหรับข้อตกลงระดับการให้บริการ กรณีศึกษา : บริษัท ธนารักษ์พัฒนาสินทรัพย์ จำกัด

MACHINE LEARNING BASED PREDICTION ANALYSIS FOR THE SERVICE LEVEL AGREEMENT: A CASE STUDY OF DHANARAK ASSET DEVELOPMENT CO., LTD.

ปาณิสรา เพ็ชรคง และ ชุตินา เบี้ยวไข่มุก

Panisara Phetkhong and Chutima Beokaimook

สาขาวิชาการจัดการนวัตกรรมการผลิต วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต

52/347 หมู่บ้านเมืองเอก ถ.พหลโยธิน ต.หลักหก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : chutima@rsu.ac.th

วันที่รับบทความ: 9 กันยายน 2566 / วันที่แก้ไขบทความ: 17 พฤศจิกายน 2566 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 23 พฤศจิกายน 2566

บทคัดย่อ งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองการพยากรณ์ความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ ของ บริษัท ธนารักษ์พัฒนาสินทรัพย์ จำกัด โดยใช้ข้อมูลระบบงานบริหารอาคาร ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล 5 เทคนิค ได้แก่ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ต้นไม้ตัดสินใจ เพื่อนบ้านใกล้สุด เพอร์เซปตรอน และ เอดาบูท อัลกอริธึม มาสร้างตัวแบบพยากรณ์ 5 แบบ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์ความสำเร็จจากแบบจำลองทั้ง 5 ผลการวิจัยพบว่า เอดาบูท อัลกอริธึม ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด เท่ากับ ร้อยละ 69 โดย ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และ ต้นไม้ตัดสินใจ ให้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ คิดเป็นร้อยละ 67 เพื่อนบ้านใกล้สุด ให้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ คิดเป็นร้อยละ 66 และเพอร์เซปตรอน ให้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ คิดเป็นร้อยละ 56 ตามลำดับ แม้ว่าผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์ของแบบจำลองทั้ง 5 ให้ค่าความถูกต้องไม่สูงมากนัก ซึ่งมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 69 แต่แบบจำลองการพยากรณ์สามารถนำไปใช้จริงได้ในธุรกิจโดยพิจารณาปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น การวิเคราะห์ความเสี่ยงในการจัดเตรียมอะไหล่อุปกรณ์สำหรับการซ่อมแซม การวิเคราะห์ความเสื่อมสภาพของอาคาร การจัดเตรียมความพร้อมของทรัพยากรด้านต่าง ๆ เพื่อกำหนดแผนการทำงานให้สำเร็จได้ตามข้อตกลงระดับการให้บริการ

คำสำคัญ : แบบจำลองการพยากรณ์ความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ , ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน , ต้นไม้ตัดสินใจ, เอดาบูท อัลกอริธึม

Abstract The purpose of this research is to analyze and compare the efficiency of the prediction models for the success of the service level agreement of Dhanarak Asset Development Co., Ltd by using building management system data. The researcher has used five techniques, including support vector machines, decision tree, k- nearest neighbor, perceptron and Adaboost algorithms to create 5 classification models and compare the

performance of success prediction among those 5 different models. The results showed that Adaboost Algorithm gave the highest accuracy of 69%, support vector machine and decision tree equally yielded 67% accuracy, while the nearest neighbor and perceptron provided 66% and the 56% accuracies, respectively. Although the evaluating results of the five forecasting models gave a not very high accuracies, the forecasting models can actually be used in business by considering other factors, such as, risk analysis in preparing spare equipment for repairs, analysis of building deterioration, preparation of various resources in order to determine work plans to be successful according to service level agreements.

Keywords: Service Level Agreement , Predicting Model , Decision Tree , Ada boost Algorithm

1. บทนำ

การนำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาใช้ในธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ เพื่อตอบสนองต่อการเติบโตของเศรษฐกิจ การบริหารจัดการอาคารและคุณภาพการบริการที่มีประสิทธิภาพการบริหารจัดการจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการบริหารจัดการอาคารได้เป็นอย่างดี [1,2]

บริษัท ธนารักษ์พัฒนาสินทรัพย์ จำกัด (ธพส.) เป็นหน่วยงานของรัฐวิสาหกิจ สังกัดกระทรวงการคลัง ภายใต้การกำกับดูแลของกรมธนารักษ์ จัดเป็นประเภทธุรกิจ แปลงสินทรัพย์เป็นหลักทรัพย์ตามโครงการแปลงสินทรัพย์ที่ได้รับอนุมัติจากหน่วยงานของรัฐภายใต้กฎหมายว่าด้วยนิติบุคคลเฉพาะกิจ เพื่อการแปลงสินทรัพย์เป็นหลักทรัพย์ นำระบบงานบริหารอาคารซึ่งเป็นเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ในการบริหารจัดการอาคาร และเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานโดยการวิเคราะห์ข้อมูลระบบงานบริหารอาคาร และหาความสัมพันธ์ของข้อมูลเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการในการดำเนินงาน

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า คุณภาพการบริการ มีความสำคัญต่อการขับเคลื่อนธุรกิจสู่ความสำเร็จ และสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันและสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ลูกค้า [3] คุณภาพการบริการถือเป็นหัวใจสำคัญต่อการอยู่รอดของธุรกิจ แต่เนื่องจากการมีปริมาณ

งานเพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพในกระบวนการงานการให้บริการอาจไม่สามารถรองรับการให้บริการที่ดีตามข้อตกลงระดับการให้บริการ (Service Level Agreement หรือ SLA) เช่นเดียวกับ วีรวัฒน์, อังอร และ ชินโสณ [4] ซึ่งได้ศึกษาคุณภาพการให้บริการของนิติบุคคล อาคารชุด บริษัท ฟรี โม แมเนจเม้นท์ จำกัด พบว่า คุณภาพการให้บริการมีความสัมพันธ์และมีอิทธิพลกับความพึงพอใจในการให้บริการ มีงานวิจัยที่ประเมินความพึงพอใจการจ้างงานอาคารสำนักงานในพื้นที่ ศูนย์กลางธุรกิจกรุงเทพมหานคร มารุตพงศ์ [5] พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจคือปัจจัยด้านการบริหารทรัพยากรกายภาพอาคารมากที่สุด รองลงมาคือ ปัจจัยด้านพื้นที่สำนักงานและปัจจัยด้านพื้นที่สนับสนุน และมีงานที่ได้ศึกษาการลดข้อร้องเรียนและสร้างความพึงพอใจแก่ผู้พักอาศัยในอาคารชุดต่อนิติบุคคล [6] พบว่า การวางแผนกลยุทธ์ในการบริหารจัดการในอาคาร เพื่อที่จะได้มีผลกระทบน้อยที่สุด และสร้างความพึงพอใจ ลดปัญหาข้อร้องเรียนของผู้พักอาศัยในอาคารชุด ควรจำแนกเป็นปัญหาที่สามารถบริหารจัดการโดยการนำหลักการด้านการจัดการมาผสมผสานกับการแก้ไขทางวิศวกรรม เช่น การนำข้อมูลทางสถิติมาเป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาข้อร้องเรียนและการนำเทคโนโลยีมาช่วยในการแก้ไขปัญหา เช่น การนำระบบ SLA มาใช้ในการเป็นตัววัดและประเมินการปฏิบัติงานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของงานนิติบุคคล

อย่างเป็นรูปธรรม เนื่องจากสามารถประเมินระยะเวลาในการให้บริการที่ชัดเจน และนำมาเป็นตัวชี้วัดในการตรวจสอบความพึงพอใจของเจ้าของร่วมได้ โดยสามารถนำข้อมูลระยะเวลาในการดำเนินการมาวิเคราะห์หาความเหมาะสมในการแก้ไขงานในแต่ละประเภท เช่นควรใช้ระยะเวลาในการเข้าซ่อมแซมแก้ไข ปรับปรุงเท่าใดจึงจะเหมาะสม และนำจัดเก็บลงในฐานข้อมูลการให้บริการต่อไป การประยุกต์กระบวนการ The Information Technology Infrastructure (ITIL) กับกระบวนการให้บริการรับแจ้งเหตุแก้ไขปัญหา [7] พบว่า การกำหนดเกณฑ์การให้บริการ (Service Level Agreement : SLA) ซึ่งเป็นข้อตกลงที่ทำเป็นลายลักษณ์อักษรขึ้นระหว่างผู้ให้บริการกับผู้ใช้งาน โดยการระบุเป้าหมายของการให้บริการที่สำคัญ และกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบการจัดการระดับการบริการจะสามารถวัดผลได้ว่าการให้บริการนั้นเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่

เทคนิคเหมืองข้อมูลได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการธุรกิจของหลายองค์กร ทั้งภาครัฐและเอกชน เช่น ธุรกิจธนาคาร [1] โดยใช้เทคนิคกระบวนการต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลแนวโน้มของผู้ถือบัตรเครดิต แล้วนำไปพัฒนาข้อเสนอแนะที่มุ่งใจและสร้างความสัมพันธ์กับลูกค้าต่อไป ในงานจัดชั้นสินค้า [2] ได้พัฒนาระบบพยากรณ์การจัดชั้นสินค้าที่อยู่อาศัย โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เช่น เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ เทคนิคป่าสุ่ม (Random forest) และเอดาบูท อัลกอริทึม (AdaBoost) เพื่อพยากรณ์ลักษณะของข้อมูลที่เป็นสินค้าที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้และนำผลการวิเคราะห์มาใช้ติดตามและประเมินความสามารถในการชำระหนี้ สำหรับองค์กรสถานพยาบาล [8] มีการนำเทคนิคเหมืองข้อมูล เช่น ต้นไม้ตัดสินใจ และเครือข่ายประสาท การจัดกลุ่มข้อมูล และการค้นหากฎความสัมพันธ์ มาวิเคราะห์ข้อมูลทางการแพทย์ เพื่อให้ได้เกิดองค์ความรู้ ที่นำไปใช้เพื่อการตัดสินใจอันเป็นประโยชน์ทางคลินิกและการบริหาร

การพยาบาล ยังมีการนำมาประยุกต์ใช้กับองค์กรของรัฐ การทำนายระดับชั้นผู้รับเหมาก่อสร้าง สำหรับโครงการก่อสร้างของภาครัฐ [9] มีการเปรียบเทียบอัลกอริทึม 4 แบบ ได้แก่ อัลกอริทึมแบบเพื่อนบ้านใกล้สุด (K – Nearest Neighbor: K-NN), นาอิวเบย์ (Naive Bayes Classifier), ต้นไม้ตัดสินใจ และ เทคนิคป่าสุ่ม และวัดความถูกต้องแม่นยำของอัลกอริทึม เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงที่ผู้รับเหมาก่อสร้างมีโอกาสที่งานก่อนกำหนด

เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการให้บริการตามข้อตกลงระดับการให้บริการ (Service Level Agreement) งานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของข้อมูลระบบงานบริหารอาคารที่ทำให้เกิดปัญหาต่อความสำเร็จในการให้บริการตามข้อตกลงระดับการให้บริการขององค์กรโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบพยากรณ์ความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ ข้อมูลที่ใช้ในสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลระบบงานบริหารอาคาร ของ บริษัท ธนารักษ์พัฒนาสินทรัพย์ จำกัด โมเดลค้นแบบที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการและนำไปวางแผนกลยุทธ์การบริหารจัดการอาคารของบริษัท ธนารักษ์พัฒนาสินทรัพย์ จำกัด และเป็นแนวทางนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในการสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันธุรกิจการบริหารจัดการอาคารให้กับผู้ประกอบการที่จะดำเนินธุรกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลต่อไป

ในหัวข้อต่อไปจะเป็นรายละเอียดเกี่ยวกับกรอบแนวคิดของงานวิจัย รายละเอียดเทคนิคการวิเคราะห์ตามการเรียนรู้ของเครื่องแสดงในหัวข้อที่ 3 ส่วนระเบียบวิธีวิจัยกล่าวอย่างละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผลจะอยู่ในหัวข้อที่ 5 การสรุปผลและเอกสารอ้างอิงจะอยู่ในหัวข้อที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

2. กรอบแนวคิด

ผู้วิจัยได้สุ่มข้อมูลระบบงานบริหารอาคาร และสร้างเป็นข้อมูลสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลที่ได้จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์ความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ (SLA) จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าเทคนิคเหมืองข้อมูลที่เป็นที่นิยมได้แก่ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine :SVM) ต้นไม้ตัดสินใจ เพื่อนบ้านใกล้เคียง เพอร์เซปตรอน (Perceptron) และ เอดาบูทอัลกอริทึม ในงานวิจัยนี้เราจึงเลือกศึกษาเทคนิคดังกล่าวกับชุดข้อมูลนี้ อีกทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการที่เหมาะสมที่สุดกับข้อมูลที่มีอยู่

ข้อมูลระบบงานบริหารอาคารที่นำมาใช้เพื่อการวิเคราะห์ ได้แก่ พื้นที่, ดึก, ทีมผู้ประสานงาน, บริษัทผู้รับจ้างงานบริการ, ชนิดงาน, ช่องทางการแจ้งงาน, ผู้ประสานงาน ส่วนข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์ คือ ความสำเร็จตามข้อตกลงข้อตกลงระดับการให้บริการ ประกอบด้วยคลาส 2 คลาส คือ สำเร็จ และ ไม่สำเร็จ

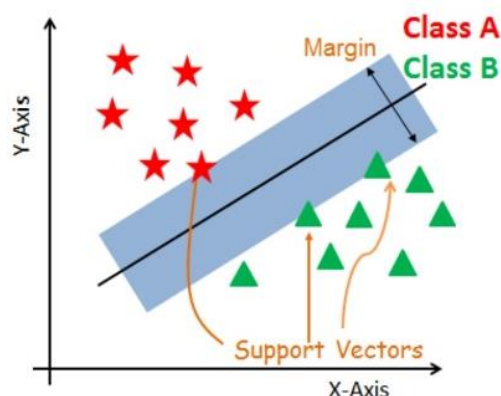
3. เทคนิคการวิเคราะห์ตามการเรียนรู้ของเครื่อง

3.1 เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine)

เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) [10] เป็นเทคนิคที่มีกระบวนการปรับรูปแบบข้อมูล จากข้อมูลที่มีมิติต่ำ (Low Dimension Dataset) บนพื้นที่ข้อมูลคุณลักษณะ (Feature Space) โดยใช้ฟังก์ชันในการปรับรูปแบบข้อมูลที่มีโครงสร้างแบบเส้นตรง (Linear Classifier) และ สามารถสร้างพื้นที่ระยะห่างระหว่างตัวจัดประเภทข้อมูลเองกับค่าที่ใกล้ที่สุดของแต่ละกลุ่มข้อมูลได้มากที่สุด ซึ่งเส้นที่เหมาะสม

ดังกล่าวถูกเรียกว่าระนาบแบ่งเขตข้อมูลที่เหมาะสม (The Optimal Separating Hyperplane)

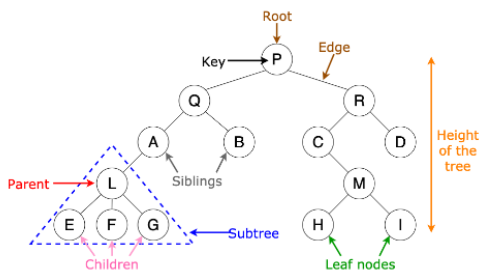
หลักการของวิธีการนี้ใช้เพื่อหาระนาบการตัดสินใจในการแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วน โดยใช้สมการเส้นตรง เพื่อแบ่งเขตข้อมูล 2 กลุ่มออกจากกัน [11] ดังรูปที่ 1 โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะพยายามที่จะทำการลดความผิดพลาดจากการพยากรณ์ (Minimize error) พร้อม กับเพิ่มระยะแยกแยะให้มากที่สุด (Maximized Margin)



รูปที่ 1 ตัวอย่างเทคนิค Support Vector Machine [12]

3.2 เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)

เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tress) เป็นเทคนิคสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลที่นิยมใช้ในเหมืองข้อมูล โดยมีรูปแบบการทำงานแบบต้นไม้ [10] โดยการเรียนรู้จากชุดข้อมูลสอนแล้วสร้างแบบจำลองขึ้น ซึ่งเลือกปัจจัยที่มีค่า Gain Ratio สูงที่สุดเป็นโหนดราก รูปแบบของต้นไม้จะประกอบไปด้วย โหนดแรก เรียกว่า โหนดราก (Root Node) ซึ่งอยู่บนสุดของต้นไม้ โหนดถัดลงมาจะถูกเรียกว่า โหนดลูก (Children Node) และ โหนดสุดท้าย เรียกว่า โหนดปลาย (Leaf Node)



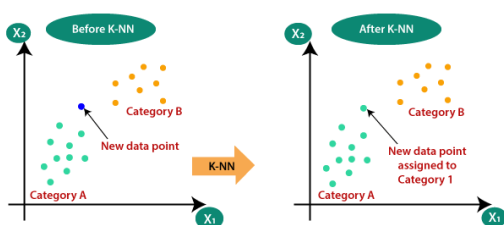
รูปที่ 2 ตัวอย่างเทคนิค Decision Tree Classifier [13]

3.3 เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว (K-Neighbors)

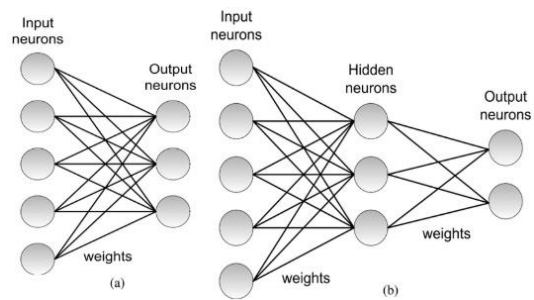
เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องที่ไม่ซับซ้อน การสร้างโมเดลประกอบด้วยการจัดเก็บหมวดหมู่ชุดข้อมูลฝึกฝน การคาดคะเนกรณีหรือเงื่อนไขที่เหมือนกันหรือคล้ายคลึงกับข้อมูลที่มีอยู่มากที่สุดในชุดข้อมูลฝึกฝน [14] โดยเทคนิคนี้จะตัดสินใจว่าข้อมูลมีความคล้ายคลึงหรือใกล้เคียงกับคลาสใด โดยการตรวจสอบข้อมูลบางจำนวน (K)

3.4 เพอร์เซปตรอน(Perceptron)

เพอร์เซปตรอน ทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบพื้นฐานสำหรับการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมระดับลึกเป็นตัวแทนประเภทเชิงเส้น มีพื้นฐานการทำงานที่ไม่ซับซ้อนมาก [15] โดยรับข้อมูลเข้ามา และคำนวณตามฟังก์ชัน แล้วส่งผลลัพธ์ที่ได้ออกไป ซึ่งมีการนำค่าผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าข้อมูลที่ได้รับมา เพื่อหาค่า error เพอร์เซปตรอนจะนำค่า error ไปปรับปรุงค่าในฟังก์ชันต่อไปเพื่อให้ค่า error น้อยลง และฟังก์ชันทำงานได้แม่นยำยิ่งขึ้น



รูปที่ 3 ตัวอย่างเทคนิค K-Neighbors Classifier [14]

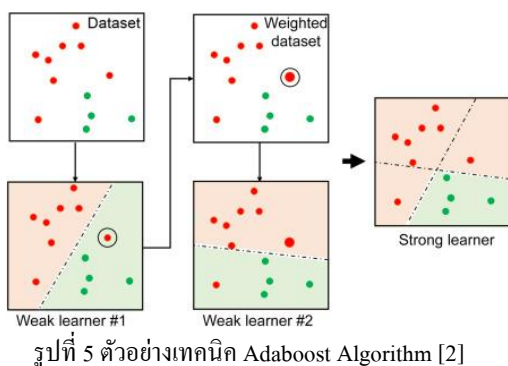


รูปที่ 4 ตัวอย่างเทคนิค Perceptron [15]

จากรูปที่ 4 (a) แสดงสถาปัตยกรรมของ perceptron ชั้นเดียว สถาปัตยกรรมประกอบด้วยเลเยอร์บนเซลล์ประสาทอินพุตที่เชื่อมต่อย่างสมบูรณ์กับเซลล์ประสาทเอาต์พุตชั้นเดียว ส่วนรูปที่ 4 (b) การขยายไปยัง perceptron แบบหลายชั้นรวมถึงน้ำหนักที่สามารถฝึกได้มากกว่าหนึ่งชั้น ในตัวอย่างนี้ เครือข่ายประกอบด้วย 3 เลเยอร์: เลเยอร์อินพุต ซ่อน และเอาต์พุต การเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาททั้งสองแต่ละอันถูกกำหนดโดยน้ำหนักที่แน่นอน

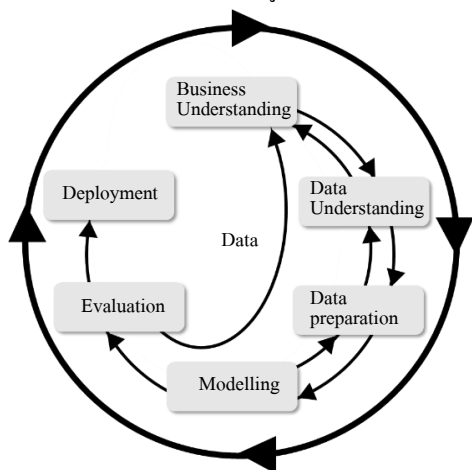
3.5 เอดาบูท (Adaboost Algorithm)

เอดาบูท เป็น Sequential Ensemble Method ที่มีการรวมตัวเรียนรู้ที่อ่อนแอหลายตัวเข้าด้วยกัน แล้วสร้างเป็นตัวเรียนรู้ที่แข็งแกร่งทำให้ผลลัพธ์ของการจัดจำแนกขั้นสุดท้ายเพิ่มขึ้น [16] แนวคิดหลักคือการปรับน้ำหนักใหม่ซึ่ง จะให้ความสำคัญกับข้อมูลที่จัดจำแนกผิดเพื่อให้มีโอกาสที่จะถูกจัดจำแนกในรอบถัดไป โดยจะมี การปรับเพิ่มน้ำหนักของข้อมูลที่ จัดจำแนกผิดและปรับลดน้ำหนักของข้อมูลที่จัดจำแนกถูกต้อง ข้อมูลเหล่านี้ไปเรียนรู้และสร้างตัวเรียนรู้ที่อ่อนแอตัวใหม่ ขั้นตอนเหล่านี้จะทำแบบเป็นลำดับต่อเนื่อง และจะมีการปรับค่าน้ำหนักในทุก ๆ รอบ สรุปได้ว่า เอดาบูทนั้นรวดเร็วและนำมาใช้ง่าย



4. ระเบียบวิธีการวิจัย

ผู้วิจัยใช้การวิจัยเชิงปริมาณ เพื่อศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลระบบงานบริหารอาคารและเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบพยากรณ์ความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ โดยใช้ข้อมูลระบบงานบริหารอาคารของ บริษัท ธนารักษ์พัฒนาสินทรัพย์ จำกัด มีจำนวน 9,757 งาน (แถว) 29 แอดทริบิวต์ (คอลัมน์) แล้ววิเคราะห์ชุดข้อมูลของแต่ละแบบจำลองการพยากรณ์ โดยดำเนินการตามกระบวนการการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย คริสป์-ดีเอ็ม [18] มาปรับใช้ตามความเหมาะสมของงานวิจัยโดยมีขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย CRISP-DM
Chapman et al. (2000)

เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือการนำข้อมูลจากระบบงานบริหารอาคารของบริษัท ธนารักษ์พัฒนาสินทรัพย์ จำกัด (ธพส.) ที่ดำเนินธุรกิจแปลงสินทรัพย์เป็นหลักทรัพย์ตามโครงการแปลงสินทรัพย์ที่ได้อนุมัติจากหน่วยงานของรัฐภายใต้กฎหมายว่าด้วยนิติบุคคลเฉพาะกิจ รวมถึงข้อมูลการบริหารจัดการอาคารและสถานที่ มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการพยากรณ์ความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ อันนำไปสู่การลดความเสี่ยงที่จะเกิดโอกาสงานไม่สำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ และใช้เป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดต้นทุนด้านจัดหาทรัพยากรขององค์กร

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากฐานข้อมูลงานแจ้งซ่อมจากฝ่ายบริหารอาคาร ประกอบด้วย แอดทริบิวต์ที่เกี่ยวข้องจำนวน 29 แอดทริบิวต์ จำนวน 9,757 งาน (แถว) รายการข้อมูลแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการข้อมูล (แอดทริบิวต์)

ที่	รายการข้อมูล
1	RequestID
2	Urgent
3	เวลาแจ้ง
4	เวลานัด
5	เวลาปิดงาน
6	สถานะ
7	พื้นที่
8	ตึก
9	RM Group
10	RM
11	ทีมช่าง
12	ช่างหลัก
13	ผู้ช่วย
14	รับงาน
15	ซ่อมเสร็จ

ตารางที่ 1 รายการข้อมูล (แอตทริบิวต์) (ต่อ)

ที่	รายการข้อมูล
16	รายละเอียดการซ่อม
17	ชนิดงาน
18	รายละเอียด
19	ติดต่อ
20	แจ้งทาง
21	SLA
22	ใช้เวลารับงาน
23	ใช้เวลาซ่อม
24	ใช้เวลาซ่อมนาที
25	ใช้เวลาเกินSLA
26	เกินSLA
27	ผลประเมิน
28	ส่วนงานรับผิดชอบ
29	ประเภทงาน

จากการสืบค้นและรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ตรวจสอบแล้วข้อมูลที่สืบค้นมามีความครบถ้วนเหมาะสมกับงานวิจัย ครอบคลุมทุกประเด็นที่ต้องการศึกษา โดยรวบรวมข้อมูลจากข้อมูลดิบที่สืบค้นได้ นำมาคัดแต่งและปรับเปลี่ยนข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม โดยคัดเลือกเฉพาะข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดได้ผ่านการคัดเลือกจึงมี 8,295 งาน (แถว) จำนวนแอตทริบิวต์ลดลงเหลือเพียง 9 แอตทริบิวต์ (คอลัมน์) ได้แก่ ID, Building, RM Group, Team, Works, Channel, Type, Exceed SLA, และ RM มาสร้างต้นแบบ

การพยากรณ์ความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ จากนั้น ผู้วิจัยได้ทำความสะอาดข้อมูล (Cleaning Data) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ช่วยเพิ่มคุณภาพของข้อมูล ทำให้ข้อมูลดิบที่สืบค้นมาได้มีความถูกต้องแม่นยำเพิ่มขึ้น เช่น การเติมค่าว่าง (Null) หรือค่าที่ไม่มี ความหมาย การเติมค่าคงที่ให้อ้างอิง การแก้ไขรูปแบบ

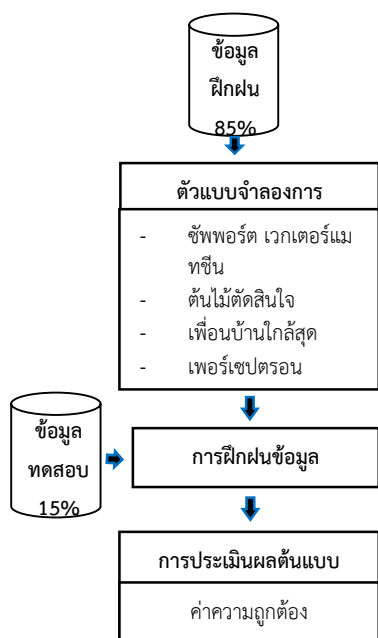
ของข้อมูลให้เหมือนกัน และการกำจัดข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลจริง นอกจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเลือกแอตทริบิวต์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการกรองแอตทริบิวต์ที่ไม่สำคัญออก โดยการวัดค่าสถิติของแต่ละแอตทริบิวต์ และความสัมพันธ์ระหว่างแอตทริบิวต์ ที่ส่งผลต่อความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ และพบว่ารูปแบบของข้อมูลบางส่วนยังไม่เหมาะสมกับการสร้างแบบจำลอง ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลบางส่วน แทนค่าข้อมูลด้วยตัวอักษร และลบข้อมูลบางส่วนที่ไม่สมบูรณ์ออกไป เพื่อให้เหลือข้อมูลที่สมบูรณ์ที่สุด จึงมีจำนวนแอตทริบิวต์ลดลงอีกเป็น 8 แอตทริบิวต์ (คอลัมน์) จำนวนงานเหลือ 8,215 งาน (แถว) ได้แก่ พื้นที่, ดึก, ทีมผู้ประสานงาน, บริษัทผู้รับจ้างงานบริการ, ชนิดงาน, ช่องทางการแจ้งงาน, ความสำเร็จตามข้อตกลงข้อตกลงระดับการให้บริการ และผู้ประสานงาน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แอตทริบิวต์ ในตารางข้อมูล

ที่	รายการข้อมูล	คำที่กำหนดเพื่อใช้ในการคำนวณ
1	พื้นที่	ID
2	ดึก	Building
3	ทีมผู้ประสานงาน	RM Group
4	บริษัทผู้รับจ้างงานบริการ	Team
5	ชนิดงาน	Works
6	ช่องทางการแจ้งงาน	Channel
7	ความสำเร็จตามข้อตกลงข้อตกลงระยะเวลาการให้บริการ	Exceed SLA
8	ผู้ประสานงาน	RM

เมื่อได้ชุดข้อมูลที่มีรายละเอียดครบถ้วนตามที่ต้องการ ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือชุดข้อมูลฝึกฝน (Training set) และชุดข้อมูลทดสอบ (Test set) ในอัตราส่วน 85:15 เทคนิคที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์และสร้างต้นแบบการพยากรณ์ความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ ได้แก่ เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ต้นไม้ตัดสินใจ เพื่อนบ้านใกล้สุด เพอร์เซปตรอน และ เอค้าบูท และนำมาเปรียบเทียบหาค่าความแม่นยำของแบบจำลองในการพยากรณ์ผลความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ

รูปที่ 7 แสดงกระบวนการสร้างต้นแบบจำลองการพยากรณ์ความสำเร็จของข้อตกลงระดับการให้บริการ โดยชุดข้อมูลฝึกฝน ที่มีอัตราส่วนร้อยละ 85 มีจำนวน 6,983 รายการ ส่วนชุดข้อมูลทดสอบร้อยละ 15 มีจำนวน 1,232 รายการ การแบ่งข้อมูลเพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์ความสำเร็จของข้อตกลงระดับการให้บริการใช้วิธีการ 5-fold Cross-validation



รูปที่ 7 แสดงกระบวนการสร้างต้นแบบจำลองการพยากรณ์

5. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผู้วิจัยได้ทดสอบแบบจำลองการพยากรณ์โดยประเมินค่าและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบจำลองด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy) เพื่อนำมาบริหารความเสี่ยงที่มีโอกาสไม่สำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของงานบริหารอาคารต่อไป

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละแบบจำลองการพยากรณ์ทั้ง 5 ด้วยวิธี 5-fold Cross-validation แสดงค่าความถูกต้อง (accuracy) ดังสมการที่ 1 และแสดงผลการพยากรณ์ในตารางที่ 3

Accuracy คือ การวัดค่าความถูกต้องโดยรวมของระบบระหว่างค่าจริงและค่าการพยากรณ์ ถ้าหากค่า Accuracy มีค่ามาก นั้นหมายถึงค่าการพยากรณ์นั้นสามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องใกล้เคียงกับค่าจริง โดยค่า Accuracy จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ยิ่งเข้าใกล้ 1 แปลว่าโมเดลพยากรณ์ผลได้ดีมาก ดังสมการที่ (1)

$$\text{Accuracy} = ((TP+TN))/((TP+TN+FP+FN)) \quad (1)$$

จากสมการ สามารถอธิบายได้โดย

Accuracy คือ ค่าความถูกต้องของข้อมูล

TP คือ ค่าการพยากรณ์ว่าจริง และมีค่าเป็นจริง

TN คือ ค่าการพยากรณ์ว่าไม่จริง และมีค่าเป็นไม่จริง

FP คือ ค่าการพยากรณ์ว่าจริง แต่มีค่าเป็นไม่จริง

FN คือ ค่าการพยากรณ์ว่าไม่จริง แต่มีค่าเป็นจริง

ตารางที่ 3 ผลการค่าความถูกต้อง (accuracy) ของโมเดลด้วยวิธี 5-Fold Cross Validation ในแต่ละรอบ

Number of Folds	ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างจากเทคนิค				
	SVM	Decision Tree	K-NN	Perceptron	Ada boost
1	0.68	0.70	0.67	0.51	0.72
2	0.67	0.66	0.65	0.66	0.68

ตารางที่ 3 ผลการค่าความถูกต้อง (accuracy) ของโมเดล ด้วยวิธี 5-Fold Cross Validation ในแต่ละรอบ (ต่อ)

ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างจากเทคนิค					
Number of Folds	SVM	Number of Folds	SVM	Number of Folds	SVM
3	0.66	0.65	0.66	0.65	0.66
4	0.69	0.67	0.67	0.35	0.69
5	0.67	0.67	0.65	0.62	0.70
ค่าความถูกต้องเฉลี่ย	0.67	0.67	0.66	0.56	0.69

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่าความถูกต้องของทั้ง 5 เทคนิค มีค่าใกล้เคียงกัน โดยเอดาบัท อัลกอริธึม ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด คือ คิดเป็นร้อยละ 69 รองลงมาคือ ซัพพอร์ต เวกเตอร์แมชชีน, ต้นไม้ตัดสินใจ, เพื่อนบ้านใกล้สุด และเพอร์เซปตรอน ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ดีค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์ที่สร้างจากเทคนิคทั้ง 5 ให้ค่าความถูกต้องไม่สูงมากนักเพียงแค่ว่า 0.67-0.69 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแอตทริบิวต์ของข้อมูลมีลักษณะเป็นข้อมูลที่จัดเป็นกลุ่ม (categorical data) ไม่ได้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (numerical data) และเนื่องจากเอดาบัท เป็นอัลกอริธึมที่ยืดหยุ่นและใช้เทคนิคของการคำนวณซ้ำ แนวคิดหลักของเอดาบัท อัลกอริธึม คือการเปลี่ยนจาก weak model ให้กลายเป็น strong model โดยปรับค่าน้ำหนัก ทำให้ลด Bias Error ลงได้ และไม่ทำให้เกิดการ over fitting เกินไป เพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องดีที่สุด [19]

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลระบบงานบริหารอาคารและเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบพยากรณ์ความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ กรณีศึกษา บริษัท ธารักษ์พัฒนาสินทรัพย์ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทบริหารอสังหาริมทรัพย์แห่งหนึ่ง โดยดำเนินการตามกระบวนการการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีพี-ดีเอ็ม เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบและวางแผนกลยุทธ์ตลอดจนแนวทางการบริหารจัดการอาคารให้มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมในการให้บริการมากขึ้น โดยผู้วิจัยได้พิจารณาถึง แอตทริบิวต์ที่มีผลต่อการเกิดความสำเร็จตามข้อตกลงข้อตกลงระดับการให้บริการ ได้แก่ พื้นที่, ตึก, ทีมผู้ประสานงาน, บริษัทผู้รับจ้างงานบริการ, ชนิดงาน, ช่องทางการแจ้งงาน, ความสำเร็จตามข้อตกลงข้อตกลงระดับการให้บริการ และผู้ประสานงาน ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยนำมาจากฐานข้อมูลระบบบริการแจ้งซ่อมของบริษัท เป็นเวลา 1 ปี และนำเทคนิคการวิเคราะห์การจำแนกประเภทข้อมูล เพื่อช่วยพยากรณ์ความสำเร็จของข้อตกลงระดับการให้บริการ

จากการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์ พบว่า ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์ที่สร้างจากเทคนิคทั้ง 5 ให้ค่าความถูกต้องไม่สูงมากนักเพียงแค่ว่า 0.67-0.69 ดังนั้นในการนำแบบจำลองการพยากรณ์ไปใช้จริงในธุรกิจ อาจต้องนำเอาปัจจัยอื่นเข้ามาร่วมพิจารณา เช่น การวิเคราะห์ความเสี่ยงในการจัดเตรียมอะไหล่อุปกรณ์สำหรับการซ่อมแซม, การวิเคราะห์ความเสื่อมสภาพของอาคาร วิเคราะห์สภาพเศรษฐกิจ, การจัดเตรียมความพร้อมของทรัพยากรด้านต่าง ๆ เพื่อช่วยให้ฝ่ายงานบริหารอาคารได้เตรียมความพร้อมเข้าทำการแก้ไขงานที่ถูกพยากรณ์ว่ามีแนวโน้มที่จะไม่สำเร็จตามข้อตกลงข้อตกลงระดับการให้บริการ ก่อนที่งานจะมีปัญหา หรือนำแบบจำลองการพยากรณ์ไปพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์ เพื่อใช้ในการประเมินผลการทำงานและ

กำหนดแผนการทำงานให้สำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดความได้เปรียบในการแข่งขันด้านคุณภาพการบริหารและการลดค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมทรัพยากรให้เพียงพอเหมาะสมกับการใช้งาน

ผลสรุปการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองการพยากรณ์ความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ กรณีศึกษา: บริษัท ทรนารักษ์พัฒนาสินทรัพย์ จำกัด พบว่า เอดาบท อัลกอริทึม ให้ค่าสูงสุด คือ ค่าความถูกต้อง เท่ากับ ร้อยละ 69 โดยเทคนิคซ์พอร์ต เวกเตอร์แมทซิน และต้นไม้ตัดสินใจให้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ คิดเป็นร้อยละ 67, เพื่อนบ้านใกล้เคียง ให้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ คิดเป็นร้อยละ 66 และ เพอร์เซปตรอน ให้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์ คิดเป็นร้อยละ 56 ตามลำดับ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้เอดาบท อัลกอริทึม ในการนำไปพัฒนาสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ความสำเร็จตามข้อตกลงระดับการให้บริการ ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม คือ ให้มีการจัดเก็บประเภทและรายละเอียดของข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้แม่นยำและถูกต้องมากขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Junlabuddee, "Customer Relationship Management with Data Mining", Journal of library & information science, Khon Kaen University, Vol. 25, No. 1-3, pp.64-75, Jan-Dec.2007 (in Thai)
- [2] P. Bunprasert, "Housing-Loan Classification system using Machine Learning Model", Independent Study, Dhurakij Pundit Univ., 2021. (in Thai)
- [3] K. Dechtongkam, "Importance of Service Quality to Tourism Business' s Success under COVID- 1 9 Situation," Journal of Sports Science and Health, Vol.21, No.3, pp.317-326, Sep.-Dec. 2020 (in Thai)
- [4] W. Lalitchaiwasin, I. Tanphan and C. Visitnitikija, "The Service Quality of Juristic Persons in Primo Management of Condominium Co. , Ltd. , " Narkbhutparitat Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, vol. 13, no.3, pp.182- 193, Sep.- Dec. 2021. (in Thai)
- [5] M. Yawongsa, "An Evaluation of Users' Satisfaction of office Building in Bangkok Central Business District Area," Independent Study, Thummasat Univ., 2017. (in Thai)
- [6] A. Phouthongsa, S. Rakkran, B. Chaichannawatik, " Complaints and Satisfaction Management of the Condominium Juristic person in case study of high - class condominiums in the Bangkok area," Journal of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University: Vol.1 No.2, pp.82-91, Jul.-Dec., 2021. (in Thai)
- [7] P. Khewkon, "Applying ITIL Framework to Service Desk," Independent Study, Mahanakorn Univ., 2016. (in Thai)
- [8] S. Chansakul, "Data Mining Techniques for Nursing Data Analysis," EAU Heritage Journal Science and Technology, Vol. 12, No. 2, pp.83-96, May-August. 2018 (in Thai)
- [9] S. Pattanawongprakarn, " An analysis of classification techniques a case study of class predution for construction projects," M.S. Thesis, Thammasat Univ., 2020. (in Thai)
- [10] K. Nasritha, J. Thongkum and W. Sukmak, "A Robust Hybrid Classifi cation Method Analysis", Journal of Science and Technology, Mahasarakham University, Vol. 33, No. 6, pp.561-570, Nov.-Dec.2014 (in Thai)

- [11] R. Bunma and N. Jirawichitchai, "Classification of Diabetes Patient by Using Data Mining Techniques and Correlation Based Feature Selection", PKRU SciTech Journal, Phuket Rajabhat University, Vol. 3, No. 2, pp.11-19, Jul.-Dec.2019 (in Thai)
- [12] Datacamp. (2019, Dec. 15). "Support Vector Machines with Scikit-learn Tutorial" [Online]. Available: <https://www.datacamp.com/tutorial/svm-classification-scikit-learn-python>
- [13] N. Janchum and C. Cheewaviriyanon. "Using Data Mining Techniques to Develop a Model for Scratch Programming Assessment", Information Technology Journal, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Vol. 18, No. 1, pp. 96- 105, Jan. - Jun.2022 (in Thai)
- [14] C. Knight. (2021, Feb. 2). "The Basics of Graphs and Trees" [Online]. Available: <https://williamchknighmedium.com/the-basics-of-graphs-and-trees-f5f5ebbdfee>
- [15] S. Dande. (2021, Oct. 20). "K — nearest neighbor (KNN) Algorithm & its metrics" [Online]. Available: <http://medium.com/@sravanthi.dande/k-nearest-neighbor-knn-algorithm-its-metrics-42c3f196fdda>
- [16] L. Camuñas-Mesa, B. Linares-Barranco and T. Serrano-Gotarredona. (2019, Aug. 27). "Neuromorphic Spiking Neural Networks and Their Memristor-CMOS Hardware Implementations" [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/17/2745>
- [17] K. Siriket, "The Moods of The Lyrics in The Future for Business", Independent Study, Srinakharinwirot Univ.,2020. (in Thai)
- [18] P. Chapman, J. Clinton, R. Kerber, T. Khabaza, T. Reinartzysler, C. Shearer and R. Wirth, The CRISP-DM user guide. Paper presented at 4th CRISP-DM sig workshop in Brussels in march, 1999.
- [19] Cway investment. (2018, Oct. 06). "Adaptive Boosting Algorithm" [Online]. Available: <https://medium.com/cw-quantlab/adaptive-boosting-algorithm-a761f0a0b264>

ประวัติผู้ประพันธ์ :



ปานิสรา เพ็ชรคง

การศึกษา: ศึกษาศาสตร์บัณฑิต สาขา
ศึกษามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปัจจุบันทำงาน : งานบริหารอาคาร

บริษัท ธนารักษ์พัฒนาสินทรัพย์ จำกัด

งานวิจัยที่สนใจ : การทำเหมืองข้อมูล, การวิเคราะห์ข้อมูล
ด้วย Data Mining, Data science โดยใช้ภาษา Python



ชุตินา เบี้ยวไข่มุก,

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิทยาลัย
วิศวกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยรังสิต

การศึกษา : ปริญญาเอกแล้ว สาขาวิชาเทคโนโลยี จาก
สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปี 2549

ปัจจุบันทำงาน : วิทยาลัยเทคโนโลยีวิศวกรรมดิจิทัล
มหาวิทยาลัยรังสิต และดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการ
หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการ
นวัตกรรมดิจิทัล

งานวิจัยที่สนใจ : การประมวลผลภาษาธรรมชาติ การรู้จำ
เสียง การแสดงความรู้เชิงความหมาย การจัดการ
นวัตกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศ

การจัดการความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุในงานติดตั้งระบบไฟฟ้า ประกอบอาคารในงานก่อสร้างอาคารสูง Risk Management in the Electrical System Installations for Construction of High-Rise Buildings

ธาดาพงษ์ ขาวปลื้ม¹, ศักดิ์ชาย รักษาร² และ พจนีย์ ศรีวิเชียร³

Thadapong Khowploum¹, Sakchai Rakkarn², Podchane Sriwichian³

^{1,2,3}หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
วิทยาเขตพัฒนาการ 1761 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : Thadapong.k@outlook.co.th

วันที่รับบทความ: 6 ตุลาคม 2566 / วันที่แก้ไขบทความ: 29 พฤศจิกายน 2566 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 14 ธันวาคม 2566

บทคัดย่อ บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และจัดการความเสี่ยงอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุในงานติดตั้งระบบไฟฟ้าในอาคารสูง โดยข้อมูลของวิทยานิพนธ์ศึกษาพบสถิติในปี พ.ศ. 2560-2564 เกิดจำนวนอุบัติเหตุจากการปฏิบัติงานสะสม รวมกว่า 101 ราย คิดเป็นค่าเฉลี่ยสูงถึง 20.2 คนต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 10.1 ของลูกจ้างเฉลี่ยในโครงการ ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งทางตรงในรูปของค่าใช้จ่ายสำหรับแรงงานที่ประสบอันตราย และความสูญเสียทางอ้อมที่โครงการต้องสูญเสียเวลา โดยสาเหตุหลักมาจากการกระทำที่ไม่ปลอดภัย ดังนั้นจึงนำลักษณะงานแต่ละกิจกรรมงานมาวิเคราะห์หาความเสี่ยงของปัญหาที่เกิดขึ้น ทำให้เห็นถึงสาเหตุที่แท้จริงตามระดับความรุนแรง และความเสี่ยง เพื่อนำมาวิเคราะห์และจัดการลดการเกิดอุบัติเหตุอย่างเป็นระบบ หลังจากการศึกษา พบว่า สามารถลดจำนวนครั้งการเกิดอุบัติเหตุได้เฉลี่ย 1.0 ครั้งต่อเดือน ทำให้สามารถแก้ไขเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น อีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในด้านทักษะและลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงานได้อีกด้วย

คำสำคัญ : งานก่อสร้าง, การจัดการความปลอดภัย, ความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

Abstract This research aims to efficiently analyze and manage risks in order to minimize accidents in high-rise installation of electrical systems by statistical number data for the year 2017-2021, more than 101 accidents occurred from accumulated operations, an average of 20.2 people per year or 10.1% of the average employee in the project, causing both direct and indirect losses for workers who are suffering from temporary construction time and other costs. be rooted in the act of it is not safe, so the nature of each task activity is used to analyze the risk of a problem that has occurred. The results of the study showed that the number of accidents could be reduced by an average of 1.0 times/month. It can correct unwanted incidents. It can also improve skills and reduce errors during operations.

Keywords: Construction Industry, Safety Management, Operational safety risks

1. บทนำ

ปัญหาเรื่องอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในการทำงานนั้นเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อองค์กรต่าง ๆ โดยเฉพาะงานก่อสร้างถือเป็นงานที่มีความเสี่ยงสูงเนื่องจากลักษณะงานประกอบด้วยกิจกรรมหลายอย่างและมีผู้เกี่ยวข้องหลายกลุ่ม ซึ่งข้อมูลจากกองทุนเงินทดแทน สำนักงานประกันสังคม กระทรวงแรงงาน ในช่วงปี 2560-2564 มีลูกจ้างที่ประสบอันตราย จำนวน 13,882 ราย คิดเป็นร้อยละ 3.22 ต่อปี โดยงานก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยเป็นประเภทกิจการที่มีจำนวนการประสบอันตรายสูงสุด [1]

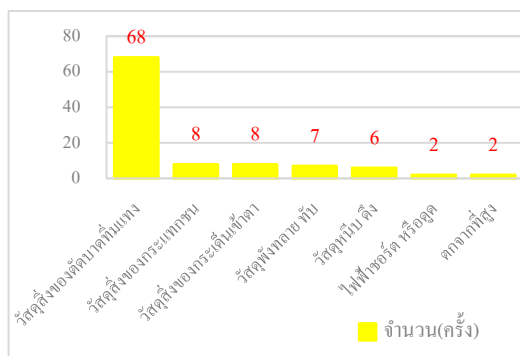
จากผลการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งได้ประยุกต์การประเมินความเสี่ยงโดยใช้ระดับผลกระทบให้เกิดความรุนแรง และค่าระดับโอกาสของการเกิดตามขั้นตอนการก่อสร้าง ผลการวิจัยพบว่า สาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุมาจากคนงานก่อสร้าง จึงควรต้องมีการฝึกอบรม ด้านความปลอดภัย ทักษะการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล โดยใช้วิธีกำหนดการตรวจสอบสภาพการทำงานที่อันตราย (Work Permit) และการตรวจสอบและประเมินภายในโครงการ และนำวิธีบังคับถึงอันตรายในสถานที่ทำงานก่อสร้างที่ทำให้เกิดการสูญเสีย ซึ่งมุ่งเน้นไปที่ตัวแปรด้านคน ด้านการจัดการ และลักษณะทางกายภาพของอันตราย โดยการจัดการความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพบนพื้นฐานของความตระหนักในด้านความปลอดภัยที่เป็นวัฒนธรรมที่เกี่ยวข้องกับทุกฝ่าย [2], [3], [4], [5]

ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดการความปลอดภัยให้มีประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยงและอุบัติเหตุในงานก่อสร้าง โดยขอบเขตศึกษาปัญหาการเกิดอุบัติเหตุของงานติดตั้งระบบไฟฟ้าประกอบอาคารในงานก่อสร้างอาคารสูง ของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียแก่โครงการทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยจะประยุกต์ใช้หลักการและทฤษฎีในการจัดการงานวิศวกรรมเข้ามาแก้ปัญหาเพื่อลดอันตราย และสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งตั้งเป้าลดจำนวนครั้งเฉลี่ยของการเกิดอุบัติเหตุ และจัดการความเสี่ยงอย่างมีประสิทธิภาพขึ้น

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูลรายงานอุบัติเหตุ ปี พ.ศ. 2560–2564

ผลจากการเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่า สถิติการประสบอันตรายที่มีจำนวนการเกิดอุบัติเหตุอย่างต่อเนื่องทุก ๆ เดือนเนื่องจากการปฏิบัติงาน 7 ลักษณะ ได้แก่ วัสดุสิ่งของติดบาดที่มแท่ง วัสดุสิ่งของกระแทกชน วัสดุสิ่งของกระเด็นเข้าตา วัสดุพังทลาย ทับ วัสดุหนีบ ดึง ไฟฟ้าชอร์ต หรือดูด และตกจากที่สูง โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 สถิติจำนวนการเกิดอุบัติเหตุเนื่องจากการปฏิบัติงานในปี 2560 – 2564 ของบริษัทกรณีศึกษา

2.2 การวิเคราะห์ปัญหาและดำเนินการแก้ไข

จากข้อมูลพบว่า การดำเนินงานที่ผ่านมาจำนวนการเกิดอุบัติเหตุสะสมรวมกว่า 101 คน คิดเป็นค่าเฉลี่ยสูงถึง 20.2 คนต่อปี โดยคิดจากลูกจ้างโดยเฉลี่ยในโครงการต่อปีประมาณ 200 คน คิดเป็นร้อยละ 10.1 โดยสาเหตุของปัญหาที่พบเจอเกิดจากการกระทำที่ไม่ปลอดภัย อันนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเกิดอุบัติเหตุกับผู้ปฏิบัติงาน

ในการวิเคราะห์ปัญหาโดยเครื่องมือ การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) [6] โดยคณะปอ. เป็นการกำหนดเกณฑ์ที่จะใช้ในการประเมินความเสี่ยง ได้แก่

ระดับโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง (Likelihood) ระดับความรุนแรงของผลกระทบ (Impact) และระดับของความเสี่ยง (Degree of Risk) ดังตารางที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ระดับโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ในเชิงคุณภาพ

ระดับโอกาส	รายละเอียดเชิงคุณภาพ	รายละเอียดเชิงปริมาณ
1	มีโอกาในการเกิดยาก	ไม่เคยเกิดเลยในช่วงเวลา ตั้งแต่ 1 ปี ขึ้นไป
2	มีโอกาในการเกิดน้อย	ความถี่ในการเกิด 1 ครั้ง ในช่วง 1 ปี
3	มีโอกาในการเกิดปานกลาง	ความถี่ในการเกิด 1 ครั้ง ในช่วง 1 เดือน
4	มีโอกาในการเกิดสูง	ความถี่ในการเกิด มากกว่า 1 ครั้ง ใน 1 เดือน

เมื่อได้ค่าระดับความเสี่ยงแล้วจะนำมาจัดลำดับความรุนแรงของความเสี่ยงที่มีผลต่อการปฏิบัติงาน โครงการที่หน่วยงานรับผิดชอบ เพื่อพิจารณากำหนดกิจกรรมการควบคุมในแต่ละสาเหตุของความเสี่ยงที่สำคัญให้เหมาะสม โดยพิจารณาจากระดับของความเสี่ยงที่เกิดจากความสัมพันธ

ระหว่างโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง (Likelihood) และผลกระทบของความเสี่ยง (Impact) ที่ประเมินได้ตามตารางการวิเคราะห์ความเสี่ยง โดยจัดเรียงตามลำดับจากระดับสูงมาก สูง ปานกลาง น้อย ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับความรุนแรงของผลกระทบ ในเชิงคุณภาพและการควบคุมภายใน ของบริษัทกรณีศึกษา

ระดับความรุนแรง	ต่อบุคคล	ต่อชุมชน	ต่อสิ่งแวดล้อม	ต่อทรัพย์สิน หรือชีวิต
1 เล็กน้อย	บาดเจ็บเล็กน้อยในระดับปฐมพยาบาล	ไม่มีผลต่อชุมชนรอบโครงการ	มีผลเล็กน้อย สามารถควบคุมได้น้อยกว่า 1 สัปดาห์	ค่าอุปกรณ์ปฐมพยาบาล
2 ปานกลาง	บาดเจ็บที่ต้องได้รับการรักษาทางการแพทย์ หยุดงานไม่เกิน 3 วัน	มีผลแต่แก้ไขได้ในระยะเวลานั้น	มีผลปานกลาง สามารถแก้ไขได้ 1 สัปดาห์	ค่ารักษาพยาบาล
3 สูง	บาดเจ็บหรือเจ็บป่วยที่รุนแรง หยุดงานเกิน 3 วัน	มีผลแต่ใช้ระยะเวลาในการแก้ไข	มีผลรุนแรง สามารถแก้ไขได้มากกว่า 2 สัปดาห์	ค่ารักษาพยาบาลต่อเนื่อง
4 สูงมาก	ทุพพลภาพ หรือเสียชีวิต	มีผลรุนแรงเป็นบริเวณกว้าง หน่วยงานรัฐต้องเข้าแก้ไข	มีผลรุนแรงมาก สามารถควบคุมได้มากกว่า 3 สัปดาห์	ค่าปรับโครงการและค่าชดเชยอื่น ๆ

โดยกำหนดเกณฑ์ระดับของความเสี่ยง (Degree of Risk) มีดังนี้

ผลลัพธ์ 1-2 กำหนดให้เป็นความเสี่ยงเล็กน้อย

ผลลัพธ์ 3-6 กำหนดให้เป็นความเสี่ยงยอมรับได้ ต้องมีการทบทวนมาตรการควบคุม

ผลลัพธ์ 7-9 กำหนดให้เป็นความเสี่ยงสูง ต้องดำเนินการลด

ผลลัพธ์ 10-16 กำหนดให้เป็นความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ต้องหยุดดำเนินการ

ซึ่งผลการประเมินวิเคราะห์ความรุนแรง และวิเคราะห์ความเสี่ยงที่ประเมินได้ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินวิเคราะห์ความรุนแรง และวิเคราะห์ความเสี่ยง ของบริษัทกรณีศึกษา

No.	งาน	สาเหตุอันตราย	โอกาส	ความรุนแรง				ความเสี่ยง				รวม
				บุคคล	สิ่งแวดล้อม	ชุมชน	ทรัพย์สิน	บุคคล	สิ่งแวดล้อม	ชุมชน	ทรัพย์สิน	
1. ระบบไฟฟ้าแรงสูง High Volt Incoming												
1.1	งานติดตั้ง Duct Bank	ตัด บาด และทิ่มแทง	3	3	0	0	3	9	0	0	9	18
		กระแทกชน	2	3	0	0	3	6	0	0	6	12
		กระเด็นเข้าตา	2	1	0	0	1	2	0	0	2	4
		พังทลาย ทับ	2	3	0	0	3	6	0	0	6	12
		หนีบ ดึง	2	2	0	0	2	4	0	0	4	8
1.2	งานติดตั้ง บ่อ Manhole แรงสูง	ตัด บาด และทิ่มแทง	3	3	0	0	3	9	0	0	9	18
		กระแทกชน	2	3	0	0	3	6	0	0	6	12
		กระเด็นเข้าตา	1	1	0	0	1	1	0	0	1	2
		ตกจากที่สูง	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
1.3	งานติดตั้ง Riser Pole	ตัด บาด และทิ่มแทง	1	1	0	0	1	1	0	0	1	2
		กระแทกชน	2	3	0	0	3	6	0	0	6	12
1.4	งานลากสาย ไฟฟ้าแรงสูง	ตัด บาด และทิ่มแทง	2	2	0	0	2	4	0	0	4	8
		กระแทกชน	2	2	0	0	2	4	0	0	4	8
		กระเด็นเข้าตา	2	1	0	0	1	2	0	0	2	4
		หนีบ ดึง	2	1	0	0	1	2	0	0	2	4
2. ระบบไฟฟ้าแรงสูงภายใน												
2.1	งานติดตั้ง ท่อ RSC, CABLE TRAY พร้อม อุปกรณ์ ประกอบ	ตัด บาด และทิ่มแทง	4	3	0	0	3	12	0	0	12	24
		กระแทกชน	3	3	0	0	3	9	0	0	9	18
		กระเด็นเข้าตา	2	2	0	0	2	4	0	0	4	8
		พังทลาย ทับ	1	3	0	0	3	3	0	0	3	6
		หนีบ ดึง	3	1	0	0	1	3	0	0	3	6
		ไฟฟ้าชอร์ต / ดูด	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
		ตกจากที่สูง	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
2.2	งานลากสาย ไฟฟ้าแรงสูง	ตัด บาด และทิ่มแทง	2	2	0	0	2	4	0	0	4	8
		กระแทกชน	2	2	0	0	2	4	0	0	4	8
		กระเด็นเข้าตา	2	1	0	0	1	2	0	0	2	4
		หนีบ ดึง	2	1	0	0	1	2	0	0	2	4

ตารางที่ 3 การประเมินวิเคราะห์ความรุนแรง และวิเคราะห์ความเสี่ยง ของบริษัทกรณีศึกษา (ต่อ)

No.	งาน	สาเหตุอันตราย	โอกาส	ความรุนแรง				ความเสี่ยง				รวม
				บุคคล	สิ่งแวดล้อม	ชุมชน	ทรัพย์สิน	บุคคล	สิ่งแวดล้อม	ชุมชน	ทรัพย์สิน	
3	งานยก และติดตั้ง RMU, MDB, GEN พร้อมอุปกรณ์ประกอบ	ตัดขาดและทิ่มแทง	1	1	0	0	1	1	0	0	1	2
		กระแทกชน	3	4	0	0	4	12	0	0	12	24
		หนีบ ค้าง	2	3	0	0	3	6	0	0	6	12
		ตกจากที่สูง	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
4	งานติดตั้งท่อ Conduit, Wireway ระบบไฟฟ้าแรงต่ำ	ตัดขาดและทิ่มแทง	4	3	0	0	3	12	0	0	12	24
		กระแทกชน	3	3	0	0	3	9	0	0	9	18
		กระเด็นเข้าตา	2	2	0	0	2	4	0	0	4	8
		พังทลาย ทับ	1	3	0	0	3	3	0	0	3	6
		หนีบ ค้าง	3	1	0	0	1	3	0	0	3	6
		ไฟฟ้าชอร์ต / ลุด	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
		ตกจากที่สูง	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
5	งานติดตั้ง Busduct	ตัดขาดและทิ่มแทง	4	3	0	0	3	12	0	0	12	24
		กระแทกชน	3	3	0	0	3	9	0	0	9	18
		กระเด็นเข้าตา	2	2	0	0	2	4	0	0	4	8
		พังทลาย ทับ	1	3	0	0	3	3	0	0	3	6
		หนีบ ค้าง	3	1	0	0	1	3	0	0	3	6
		ไฟฟ้าชอร์ต / ลุด	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
		ตกจากที่สูง	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
6	งานเดินท่อร้อยสายระบบไฟฟ้าแรงต่ำ	ตัดขาดและทิ่มแทง	4	3	0	0	3	12	0	0	12	24
		กระแทกชน	3	3	0	0	3	9	0	0	9	18
		กระเด็นเข้าตา	2	2	0	0	2	4	0	0	4	8
		พังทลาย ทับ	1	3	0	0	3	3	0	0	3	6
		หนีบ ค้าง	3	1	0	0	1	3	0	0	3	6
		ไฟฟ้าชอร์ต / ลุด	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
		ตกจากที่สูง	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12

ตารางที่ 3 การประเมินวิเคราะห์ความรุนแรง และวิเคราะห์ความเสี่ยง ของบริษัทกรณีศึกษา (ต่อ)

No.	งาน	สาเหตุอันตราย	โอกาส	ความรุนแรง				ความเสี่ยง				รวม
				บุคคล	สิ่งแวดล้อม	ชุมชน	ทรัพย์สิน	บุคคล	สิ่งแวดล้อม	ชุมชน	ทรัพย์สิน	
7	งานติดตั้ง แผงสวิตช์ ระบบไฟฟ้า แรงต่ำ	ตัดขาดและไหม้แรง	4	3	0	0	3	12	0	0	12	24
		กระแทกชน	2	1	0	0	1	2	0	0	2	4
		กระเด็นเข้าตา	2	1	0	0	1	2	0	0	2	4
		ไฟฟ้าชอร์ต / ดูด	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
		ตกจากที่สูง	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
8	งานติดตั้ง อุปกรณ์ (โคมไฟ สวิตช์และ เต้ารับ)	ตัดขาดและไหม้แรง	4	3	0	0	3	12	0	0	12	24
		กระแทกชน	2	1	0	0	1	2	0	0	2	4
		กระเด็นเข้าตา	2	1	0	0	1	2	0	0	2	4
		ไฟฟ้าชอร์ต / ดูด	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
9	ระบบลงดิน & ป้องกัน ฟ้าผ่า	ตัดขาดและไหม้แรง	3	2	0	0	2	6	0	0	6	12
		ตกจากที่สูง	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
10	ระบบ ป้องกันไฟ และคว้นลาม	ตัดขาดและไหม้แรง	3	2	0	0	2	6	0	0	6	12
		กระเด็นเข้าตา	1	1	0	0	1	1	0	0	1	2
		ตกจากที่สูง	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12
11	งานทดสอบ ระบบ	ตัดขาดและไหม้แรง	3	3	0	0	3	9	0	0	9	18
		กระเด็นเข้าตา	1	1	0	0	1	1	0	0	1	2
		ไฟฟ้าชอร์ต / ดูด	2	4	0	4	4	8	0	8	8	24
		ตกจากที่สูง	1	4	0	4	4	4	0	4	4	12

จากการนำหลักในการประเมินวิเคราะห์ความรุนแรง และวิเคราะห์ความเสี่ยงของปัญหาอุบัติเหตุ โดยวิธีการคิดผลลัพธ์ (Degree of risk) ซึ่งนำค่าความรุนแรง คูณกับโอกาสจะมีค่าเท่ากับความเสี่ยงที่ได้ เพื่อให้ได้หัวข้อที่จะใช้หาวิธีการแก้ไข พบผลประเมินวิเคราะห์

ความรุนแรง และความเสี่ยงอยู่ที่ระดับ 3 ที่มีความเสี่ยงระดับสูงมาก และสูง มาจัดทำแผนการบริหารจัดการความเสี่ยงในขั้นตอนต่อไป ซึ่งหลักเกณฑ์ผลกาวิเคราะห์จากผู้วิจัย ซึ่งให้ความสำคัญที่มีผลลัพธ์ ≥ 7 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปผลการวิเคราะห์ความรุนแรง และวิเคราะห์ความเสี่ยงของสาเหตุอันตรายในแต่ละกิจกรรมงาน

No.	ขั้นตอนงาน	วัสดุสิ่งของ					
		ตัด บาด และทิ่มแทง	กระแทกชน	กระเด็นเข้าตา	พังทลาย ทับ	หนีบ ดึง	ไฟฟ้าชอร์ต หรือดูด
1	ติดตั้งระบบไฟฟ้าแรงสูง High Volt Incoming	✓	✓	✓	✓	✓	-
2	ติดตั้งระบบไฟฟ้าแรงสูงภายใน	✓	✓	✓	-	-	✓
3	ยก และติดตั้ง RMU, MDB, GEN พร้อมอุปกรณ์ประกอบ	-	✓	-	-	✓	-
4	ติดตั้งท่อ Conduit, Wireway ระบบไฟฟ้าแรงต่ำ	✓	✓	✓	-	-	✓
5	ติดตั้ง Busduct	✓	✓	✓	-	-	✓
6	เดินท่อ ร้อยสายระบบไฟฟ้าแรงต่ำ	✓	✓	✓	-	-	✓
7	ติดตั้งแผงสวิตช์ระบบไฟฟ้าแรงต่ำ	✓	-	-	-	-	✓
8	ติดตั้งอุปกรณ์ (โคมไฟ สวิตช์และเต้ารับ)	✓	-	-	-	-	✓
9	ระบบต่อลงดินและป้องกันฟ้าผ่า	✓	-	-	-	-	-
10	ระบบป้องกันไฟ และควันลาม	✓	-	-	-	-	-
11	ทดสอบระบบ	✓	-	-	-	-	✓
รวม		10	6	5	1	2	7

จากการนำหลักการวิเคราะห์ความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุ โดยการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) สามารถเรียงลำดับปัญหาที่มีความเสี่ยงสูง เพื่อให้ได้หัวข้อที่จะใช้หาวิธีการแก้ไขที่ต้องดำเนินการลด คือ ปัญหาที่ 1 วัสดุสิ่งของตัด บาด และทิ่มแทง ปัญหาที่ 2 ตกจากที่สูง ปัญหาที่ 3 ไฟฟ้าชอร์ต หรือดูด ปัญหาที่ 4 วัสดุสิ่งของกระแทกชน ปัญหาที่ 5 วัสดุสิ่งของกระเด็นเข้าตา ปัญหาที่ 6 วัสดุสิ่งของหนีบ ดึง และปัญหาที่ 7 วัสดุสิ่งของพังทลาย ทับ

2.3 ดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขปัญหา

จากการวิเคราะห์ปัญหาการดำเนินงานเพื่อลดปัญหาการเกิดอุบัติเหตุ โดยประยุกต์ใช้หลัก 4 M [7] ได้กำหนดวิธีในการจัดการ 4 กระบวนการ ได้แก่

1) การฝึกอบรมให้ความรู้ผู้ปฏิบัติงานก่อนเริ่มงาน (Man) เพื่อเตรียมผู้ปฏิบัติงานให้มีทักษะที่เหมาะสมและความเข้าใจในขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง เพื่อลดปัญหาการเกิดอุบัติเหตุ ลดความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุที่อาจเป็นอันตราย และส่งผลกระทบต่อสภาพการปฏิบัติงาน โดยการฝึกอบรม และเตรียมความพร้อมเหล่านี้จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจ และทราบขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง ซึ่งระยะเวลาการฝึกอบรมใน 3 เดือน ผู้เข้ารับการฝึกอบรมทั้งภาคทฤษฎี และปฏิบัติในแต่ละหลักสูตร หลังจากนั้นจึงสามารถกำหนดแผนกลยุทธ์ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน และลดความเสี่ยงของอุบัติเหตุ นอกจากนี้ยังสามารถเลือกใช้หลักสูตรการอบรมเพื่อเพิ่มทักษะ และ

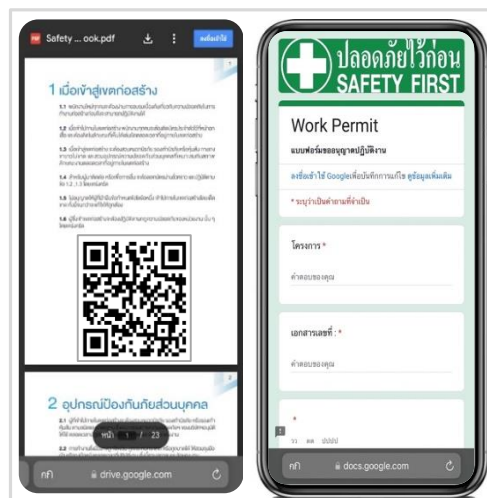
ความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานใน 3 หลักสูตร ได้แก่ หลักสูตรที่ 1 ความปลอดภัยก่อนเริ่มปฏิบัติงาน เพื่อให้สอดคล้องกับประกาศของกรมสวัสดิการ และคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2554 [8] หลักสูตรที่ 2 เกี่ยวกับการดับเพลิงขั้นต้น และซ้อมอพยพหนีไฟ เน้นให้ผู้ปฏิบัติงานมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้ถังดับเพลิงชนิดต่าง ๆ ฝึกการดับเพลิงได้อย่างปลอดภัยตามมาตรฐาน และรู้วิธีการควบคุม และดับเพลิงขั้นต้นอย่างถูกวิธี [9] หลักสูตรที่ 3 ความปลอดภัยในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้าสำหรับลูกจ้างซึ่งปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้า [10] ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การฝึกอบรม ในการปฏิบัติงานเพื่อเพิ่มทักษะและความชำนาญโดยวิธีต่าง ๆ

2) การบริหารจัดการ (Management) การปรับปรุงนโยบาย และคู่มือความปลอดภัย รวมถึงกำหนดบทลงโทษ และการกำหนดผู้ปฏิบัติงานให้เหมาะสมกับงาน (Put the Right Man on the Right Job) [11] โดยจัดทำคู่มือความปลอดภัย และกฎระเบียบข้อบังคับในมาตรฐานการปฏิบัติงานที่ถูกวิธี ควบคุมและเฝ้าระวังเพื่อแก้ไขเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีเว็บเพจเพื่อเผยแพร่ข้อมูล การใช้คิวอาร์โค้ด และ Google Forms ที่ใช้งานได้ง่ายและรวดเร็ว เพื่อลิงก์ไปยังเอกสารคู่มือความปลอดภัยหรือข้อมูลที่สำคัญ รวมถึงกฎระเบียบข้อบังคับ หรือบทลงโทษ เพื่อสร้างความตระหนักในความปลอดภัยให้กับผู้ปฏิบัติงาน และการจัดทำมาตรการเฝ้าระวัง (Work Permit) เพื่อไม่ให้ปฏิบัติงานผิดไปจากคู่มือนั้น ในเรื่องที่ซับซ้อน และขึ้นอยู่กับ

กับลักษณะของงาน และเป็นขั้นตอนแนะนำในการจัดทำคิวอาร์โค้ดที่สามารถนำไปใช้ควบคุมมาตรฐาน และเป็นมาตรการเฝ้าระวังเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานปฏิบัติงานอย่างถูกต้องตามคู่มือความปลอดภัย ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การนำคู่มือการปรับปรุงนโยบาย และคู่มือความปลอดภัย เพื่อประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ

3) วางมาตรการวิธีปฏิบัติงาน (Method) โดยจัดทำขั้นตอนการวิเคราะห์อันตรายเพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน (Job Safety Analysis: JSA) [12] ในกระบวนการปฏิบัติงาน และควบคุมงานเพื่อให้ผู้ที่ปฏิบัติทำตามได้อย่างถูกต้อง ซึ่งมีขั้นตอนวิธีการ คือ เลือกกระบวนการหรืองานที่ต้องการวิเคราะห์เพื่อระบุความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น ทำการอธิบายขั้นตอนการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องในกระบวนการนั้น ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุด โดยระบุขั้นตอนที่สำคัญที่สุด ที่มีความเสี่ยงสูงและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการ อาทิ การตกของวัตถุ การสัมผัสกับสารเคมีอันตราย หรืออุปกรณ์ที่ไม่ถูกต้อง จากนั้นกำหนดมาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสม ผ่านทางการเผยแพร่ และการฝึกอบรม โดยนำคู่มือ JSA (Job Safety Analysis) ที่จัดทำเสร็จสิ้นไปสู่หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และจัดการฝึกอบรมเพื่อให้ทุกคนเข้าใจ และปฏิบัติตามมาตรการที่กำหนด รวมถึงการ

ติดตาม ปรับปรุง และตรวจสอบคู่มือ JSA เพื่อให้แน่ใจว่า มีประสิทธิภาพ และเป็นปัจจุบันตลอดเวลา

4) การกำหนดวัสดุ (Material) จัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment: PPE) [13] ที่จำเป็นในงานก่อสร้างให้เพียงพอ และถูกต้องตามลักษณะงาน เพื่อลดความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุถึงขั้นร้ายแรงที่มีผลกระทบต่อสภาพการปฏิบัติงาน โดยจัดทำแบบสำรวจอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล ในงานระบบไฟฟ้า และสื่อสารประกอบอาคารในงานก่อสร้างอาคารสูง จำแนกงานตามลักษณะงาน จัดให้มีการสอน และฝึกการใช้งาน PPE ให้แก่ลูกจ้างเพื่อให้พวกเขารู้วิธีการใช้งาน PPE อย่างถูกต้อง และปลอดภัย รวมถึงการดูแลรักษา PPE ให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประเมินผล ตรวจสอบการใช้งาน PPE และส่งเสริมให้มีการใช้งาน PPE ในทุกสถานการณ์ที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การใช้งานอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment) ที่ถูกต้องเหมาะสมในงานเดินท่อร้อยสายระบบไฟฟ้าแรงต่ำ

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการดำเนินการแก้ไขความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุในงานติดตั้งระบบไฟฟ้าประกอบอาคารสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเด็น ดังนี้

ผลการเกิดอุบัติเหตุลดลง จากจำนวนการเกิดอุบัติเหตุในปี 2565 จำนวน 18 ครั้ง หรือคิดเป็นจำนวนเฉลี่ย 1.5 ครั้งต่อเดือน สามารถลดลงเหลือ 1.0 ครั้งต่อเดือน ซึ่งหลังจากการวางแผนดำเนินการปรับปรุง โดยได้สรุปผลการดำเนินการ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 จำนวนการเกิดอุบัติเหตุ ในช่วงเดือน ม.ค. 2565 – มิ.ย. 2566

ข้อมูล	เดือน	จำนวน (ครั้ง)	จำนวนเฉลี่ย (ครั้ง/เดือน)
ก่อนปรับปรุง	ม.ค.-65	2	1.5
	ก.พ.-65	1	
	มี.ค.-65	2	
	เม.ย.-65	3	
	พ.ค.-65	1	
	มิ.ย.-65	1	
	ก.ค.-65	1	
	ส.ค.-65	1	
	ก.ย.-65	1	
	ต.ค.-65	1	
	พ.ย.-65	2	
ระหว่างปรับปรุง	ม.ค.-66	2	1.0
	ก.พ.-66	0	
	มี.ค.-66	2	
หลังปรับปรุง	เม.ย.-66	1	
	พ.ค.-66	1	
	มิ.ย.-66	0	
รวม		24	

ผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เพื่อนำมาวิเคราะห์หามูลค่าเทียบปัจจุบัน (Net Present Value: NPV) และการคำนวณหาอัตราผลตอบแทน (Internal Rate of Return:

IRR) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการสื่อสารและรายงานกับผู้บริหาร ถึงความคุ้มค่าของการลงทุน โดยเงินในการลงทุนสุทธิเริ่มโครงการในการจัดหาอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล (PPE) อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการจัดอบรม มีมูลค่า 218,014 บาท ต้นทุนของเงินทุนหรือดอกเบี้ยเงินกู้จากสถาบันการเงินคือ 7.5% ต่อปี กำหนดระยะเวลาโครงการภายใน 3 ปี (1,131 วัน) โดยมีกระแสเงินสดรับจากต้นทุนค่าใช้จ่ายในการประมาณการอุบัติเหตุสูงสุด 20,000 บาทต่อครั้ง ซึ่งคิดเป็นร้อยละตามจำนวนอุบัติเหตุที่ลดลงเป็นเงิน 134,532 บาทต่อปี สำหรับงานโครงการมีค่าที่จำเป็นสำหรับใช้พิจารณาดังต่อไปนี้ [14]

1) มูลค่าเทียบปัจจุบัน (Net Present Value: NPV) หา

ได้จากสมการ $NPV = \sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+r)^t} - \text{เงินลงทุน} \quad \text{---(1)}$

CF_t = กระแสเงินสดรับและจ่ายปีที่ t

r = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เพื่อลงทุน

$$NPV = \frac{134,832}{(1+0.075)^1} + \dots + \frac{134,832}{(1+0.075)^3} - 218,014$$

$$NPV = 131,840 \text{ บาท}$$

ดังนั้น มูลค่าเทียบปัจจุบัน 3 ปี มีมูลค่า 131,840 บาท มีค่าเป็นบวก ซึ่งหมายความว่าได้เงินสดรับมากกว่าเงินสดจ่ายที่ลงทุน

2) อัตราผลตอบแทน (IRR) หาได้จากสมการ

เงินลงทุนในโครงการ = $\sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad \text{--- (2)}$

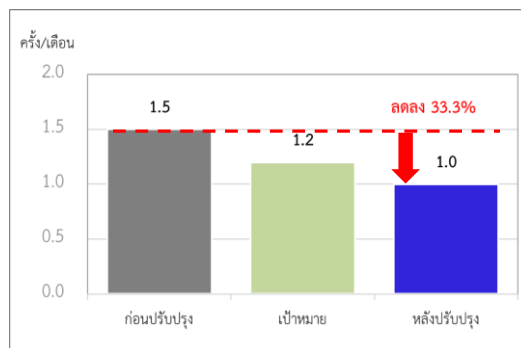
$$218,014 = \frac{134,832}{(1+IRR)^1} + \frac{134,832}{(1+IRR)^2} + \frac{134,832}{(1+IRR)^3}$$

$$IRR = 38\%$$

ดังนั้น อัตราผลตอบแทน (%IRR) ของการลงทุนในครั้งนี้ คือ 38% มีค่ามากกว่าต้นทุนของเงินทุน

ผลจากการประเมินและจัดการความเสี่ยงโดยใช้เวลาดำเนินการช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2565 ซึ่งสามารถแก้ปัญหาการเกิดอุบัติเหตุในงานติดตั้งระบบไฟฟ้าประกอบอาคาร เหลือได้ 1.0 ครั้งต่อเดือน ซึ่งลดลงจากจำนวนอุบัติเหตุเฉลี่ยย้อนหลังปี 2565 เท่ากับ 1.5

ครั้งต่อเดือน ลดลง 0.5 ครั้งต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนที่ลดลงเท่ากับร้อยละ 33.3 จากเป้าหมาย (Target) ที่กำหนดไว้ร้อยละ 20 ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบปริมาณของจำนวนอุบัติเหตุก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุง

สามารถแก้ไขเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นและเป็นการบริหารจัดการความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุตั้งแต่ต้นตอของปัญหา หรือที่เรียกว่า Unsafe Act ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 15 เกิดจากสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย หรือที่เรียกว่า Unsafe Condition จึงได้นำหลักการลดการสูญเสีย หรือ หลักการลดการสูญเสีย [15] เพื่อเป็นแนวทางในการทำวิเคราะห์และสำรวจสาเหตุของเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น ซึ่งจากผลการให้คะแนนความเข้าใจในโครงการคิดเป็นร้อยละ 96 จากจำนวนผู้เข้าร่วม 195 คน โดยได้เสริมความรู้และทักษะในการปฏิบัติงานโดยตรงจากผู้สอนงาน สามารถลดความผิดพลาดและการเกิดอุบัติเหตุในงาน ช่วยทบทวนแนวความคิดและทัศนคติที่ถูกต้องในการปฏิบัติหน้าที่ โดยได้รับเป็นหนังสือรับรองการผ่านอบรมจากหน่วยงานที่ได้รับมาตรฐาน ช่วยให้ได้ผลงานเพิ่มขึ้น ได้รับผลผลิตเพิ่มขึ้น ลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุลดความสูญเสีย วัสดุ อุปกรณ์ สามารถนำมาเป็นแนวทางให้กับผู้ปฏิบัติงานทั้งหมดทุกคน เพื่อลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงาน

4. สรุปผล

ผลของงานวิจัยนี้จากการดำเนินงานแก้ไขปรับปรุงการปฏิบัติงานเพื่อการจัดการความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุในงานติดตั้งระบบไฟฟ้าประกอบอาคารในงานก่อสร้างอาคารสูง ตามแผนงานและวิธีการที่วางไว้ได้แก่ การฝึกอบรมให้ความรู้และความชำนาญก่อนเริ่มงาน การปรับปรุงนโยบาย และคู่มือความปลอดภัย การจัดทำขั้นตอนการวิเคราะห์อันตรายเพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน JSA (Job Safety Analysis) ในกระบวนการปฏิบัติงาน และจัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment: PPE) ที่จำเป็นในงานก่อสร้างให้เพียงพอ และถูกต้องตามลักษณะงาน เพื่อลดความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งจากการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) ทำให้เห็นถึงสาเหตุที่แท้จริงอย่างเป็นระบบและแนวทางนำมาทำการวิเคราะห์ประยุกต์ใช้หลัก 4M เพื่อเป็นวิธีในการแก้ไขปัญหาเพื่อลดอุบัติเหตุ สามารถบริหารจัดการความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุลดลงได้เฉลี่ย 1.0 ครั้งต่อเดือน คิดเป็นสัดส่วนลดลงร้อยละ 33.3 จากปริมาณอุบัติเหตุเฉลี่ยย้อนหลัง 12 เดือน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัทรับเหมาติดตั้งงานระบบไฟฟ้าประกอบอาคารในงานโครงการก่อสร้างอาคารสูงในกรณีศึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้ว่าวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Social Security Office. (2022). "Situation of danger or illness Due to work between 2017 - 2021" [Online]. Available: https://www.sso.go.th/wpr/assets/upload/files_storage/sso_th/84b88f068b29c808bf3efe3302802234.pdf (in Thai).

- [2] L. Pongsakorn, K. Jaruwan, "Risk analysis of high-rise building construction in Bangkok," *National and international academic conferences*, Buriram Rajabhat University, 2016, Vol. 4, pp. 451-460. (in Thai).
- [3] K. Sathorn, "Safety system management of high-rise building construction engineering division," *Self-study Master of Engineering*, Engineering Management major Graduate School Kasem Bundit University. (in Thai).
- [4] S. S. Hosseini, "Major theories of construction accident causation models: A literature review". *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 2012, Vol. 4, Issue 2, 53-66.
- [5] Misnan, M S and Mohammed, A H. "Development of safety culture in the construction industry: a conceptual framework". In: *Boyd, D (Ed) Procs 23rd Annual ARCOM Conference*, 3-5 September 2007, Belfast, UK, Association of Researchers in Construction Management, 13-22.
- [6] N. Kovacevic, A. Stoiljkovic, & M. Kovac. "Application of the matrix approach in risk assessment". *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2019, Vol. 2, Issue 2, 55-64.
- [7] Favi, C., Germani, M., & Marconi, M. "A 4M approach for a comprehensive analysis and improvement of manual assembly lines". *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*. Italy: ScienceDirect, Procedia Manufacturing, 2017, 11, pp. 1510-1518.
- [8] Ministry of Labor. (2022, May.). "Announcement of the Department of Labor Protection and Welfare on criteria, methods, and conditions for training executives, supervisors, and employees regarding safety, occupational health, and the working environment. labor law" [Online]. Available: <http://www3.mol.go.th/content/63415/1506054195>. (in Thai).

- [9] Ministerial Regulations. (2022). “Set standards for administration, management, and operations regarding safety, occupational health, and the working environment regarding fire prevention and suppression, 2012” [Online]. Available: <https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2556/A/002/24.PDF>. (in Thai).
- [10] Ministerial Regulation and The Announcement of the Department of Labor Protection and Welfare. (2015). “Subject: Criteria, methods, and conditions for electrical safety training for employees who perform electrical work.” [Online]. Available: <https://www.safesiri.com/wp-content/uploads/2021/03/law-power2558-tr.pdf>. (in Thai).
- [11] T. Likhit. (2008). “Use the right people for the job (Put the right man on the right job).” [Online]. Available: <https://mgronline.com/daily/detail/9510000012355>. (in Thai).
- [12] Ministry of Labor. (2020). “Guidelines for identifying hazards using Job Safety Analysis (JSA). Institute for the Promotion of Safety, Occupational Health and Working Environment (Public Organization) ” [Online]. Available: https://www.tosh.or.th/index.php/media-relations/e-book/item/download/683_21ca7a87e648b6573d3deae800d1ecb7. (in Thai).
- [13] SafetyCulture. (2023). “PPE Safety” [Online]. Available: <https://safetyculture.com/topics/ppe-safety/>. (in Thai).
- [14] Jason Fernando. (2022). “Net Present Value (NPV): What It Means and Steps to Calculate It” [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp>.
- [15] National Safety Council. (2013). “Near Miss Reporting Systems” [Online]. Available: <https://nsccdn.azureedge.net/nsc.org/media/site-media/docs/workplace/near-miss-reporting-systems.pdf?>

ประวัติผู้ประพันธ์ :



ดร.พงษ์ ขาวปลื้ม ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง
เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยระดับวิชาชีพ บริษัท
สโตนเฮนจ์อินเตอร์ จำกัด (มหาชน)
วศ.ม.การจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัย
เกษมบัณฑิต
วศ.บ.วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เอเชียอาคเนย์



ศักดิ์ชาย รักการ ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง
ผู้อำนวยการหลักสูตร วศ.ม.การจัดการงาน
วิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
Ph. D. systems and Control, Case Western
Reserve University, Ohio, USA
วศ.ม.วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์
วศ.บ.วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัย
เกษมบัณฑิต



พจนีย์ ศรีวิเชียร ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง
เลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย อาจารย์ประจำ
บัณฑิตวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ศศ.ม.ภูมิศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย
ศิลปากร

Review of Energy Saving Technologies for Urban Rail Vehicles

Jingjie Yan^{1,2*}, Wirogana Ruengphrathuengsuka²

¹Shanghai Municipal Complete Equipment (Group) Co., Ltd.
Railway Transportation Research Center

²Master of Engineering Program in Engineering Management,
Graduate School, Southeast Asia University, Bangkok 10160, Thailand

Corresponding author:s6542b10005@sau.ac.th/yjj86411@gmail.com

Received: 3 November 2023 / Accepted : 1 December 2023 / Pblished online : 14 December 2023

บทคัดย่อ บทคัดย่อระบบขนส่งมวลชนระบบรางในเมืองต้องใช้ในการพลังงานไฟฟ้าจำนวนมากในการขับเคลื่อน โดยเฉพาะพลังงานเพียงอย่างเดียวคิดเป็นประมาณ 50% ของการใช้ไฟฟ้าของระบบ เมื่อระยะทางในการปฏิบัติงานและจำนวนยานพาหนะเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งตกย้ำความสำคัญอย่างยิ่งยวดในการประหยัดพลังงาน การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์การถ่ายโอนพลังงานและการกระจายตัวของยานพาหนะระบบรางในเมืองอย่างเป็นระบบ โดยเจาะลึกถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในการประหยัดพลังงานด้วยกลยุทธ์และเทคโนโลยีต่างๆ รวมถึงการลดน้ำหนักยานพาหนะ การยึดเกาะของมอเตอร์แม่เหล็กถาวร การใช้งานซิลิคอนคาร์ไบด์ การจัดเก็บพลังงานเบรกแบบสร้างใหม่ การเพิ่มประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์เสริมเครื่องปรับอากาศแบบขับเคลื่อนด้วยความถี่แปรผัน และระบบไฟส่องสว่างอัจฉริยะ การศึกษานี้นำเสนอกลยุทธ์ที่มีศักยภาพในการลดการใช้พลังงานของยานพาหนะระบบรางในเมืองซึ่งจะช่วยเสริมขีดความสามารถในการแข่งขันโดยรวมของระบบขนส่งทางรางใน

คำสำคัญ :การขนส่งมวลชนระบบรางจราจร, การใช้พลังงานของยานพาหนะระบบราง, การประหยัดพลังงาน, การขนส่งสาธารณะ, ความคล่องตัวในเมือง

Abstract Urban rail transit systems have substantial power demands, with traction power alone constituting about 50% of the system's electrical consumption. As the operational mileage and number of vehicles increase, so does the energy consumption, underscoring the paramount importance of energy-efficient vehicles. This study systematically analyzes the energy transfer and the dissipation in urban rail transit vehicles. It delves into the potential energy-saving impacts of various strategies and technologies, including vehicle lightweighting, permanent magnet motor traction, silicon carbide applications, regenerative braking energy storage, efficiency enhancement of auxiliary inverters, variable-frequency drive air conditioning, and

intelligent lighting systems. By elucidating these methods, this study offers potent strategies to curtail the urban rail transit vehicle energy consumption, thereby bolstering the overall competitiveness of urban rail transit systems.

Keywords: Rail transport, Rail vehicles, Vehicle Energy Consumption, Energy saving , Mass public transport , Urban mobility

1. Introduction

The expansion of urban rail transit networks has highlighted the issue of energy consumption. The China Urban Rail Transit Association has reported that in 2022, China's urban rail transit consumed 22.792 billion kWh of electricity, of which 11.315 billion kWh (49.65%) were consumed by traction [1]. China is working towards achieving "dual carbon" goals, which has increased pressure on the transportation sector to accelerate carbon peak and carbon neutrality. Researching energy-saving technologies for urban rail vehicles is important for reducing energy consumption and carbon emissions.

As shown in Figure 1 urban rail vehicle energy consumption mainly includes traction energy consumption and Energy consumption of on-board auxiliary equipment. Extensive research has been conducted by domestic and international scholars to reduce energy consumption in urban rail vehicles. Milroy [2] and Albrecht et al. [3] focused on training automatic control systems, reducing energy consumption through optimizing acceleration and braking processes. Zhang et al. [4] considered aspects such as train traction, slope, and speed limits, thereby effectively reducing train energy consumption by optimizing the automatic running curve using the Grey Wolf

Algorithm. Cong [5] examined the relationship between tracking running interval time and the maximum running speed of the tracking train section, providing parameters to formulate operational diagrams that meet energy-saving needs. Wang [6] studied the correlation between the composition of energy consumption in urban rail transport and its influencing factors, and the main factors affecting vehicle energy consumption were identified.

Furthermore, some scholars have investigated energy-saving technologies that use regenerative braking energy storage. Li and Gao [7] conducted a benefit analysis of the regenerative braking energy storage technology. They determined the relationship between energy recovery rates and rail lines through simulation research. However, they also stated that the application scope of the technology is limited.

This paper takes inspiration from these works and concentrates on energy-saving technologies for each urban rail transit vehicle system device. Specifically, the paper addresses the traction system and auxiliary inverter system of urban rail vehicles. This paper aims to reduce vehicle energy consumption and enhance the competitiveness of rail transport through these technical measures.

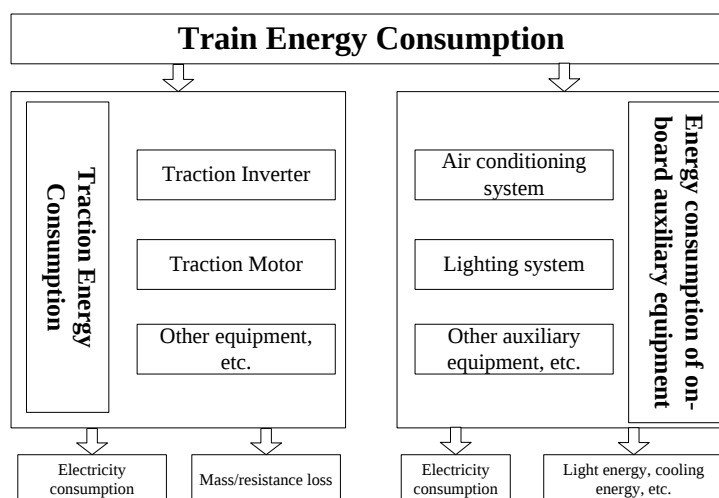


Fig. 1 Composition of vehicle energy consumption

2. Analysis of Vehicle Energy Saving Flow

Figure 2 shows a typical traction energy flow chart for urban rail, Derived from statistics and analyses of energy consumption data of rail transit systems in different European cities [8]. In Figure 2, infrastructure losses refer to the electric losses occurring from the point of common coupling to the pantograph (or collector shoes). Infrastructure losses principally depend on the voltage level of the rail system and its traffic load, being more important for low-voltage networks with heavy traffic. Typical values for infrastructure energy losses can be as high as 22%, 18%, 10%, and 6% for 600 V, 750 V, 1500 V, and 3000V-DC networks, respectively [9,10].

As seen in Figure 2, auxiliary systems consume an important share of the total energy entering the rolling stock. HVAC equipment is generally responsible

for most of this consumption and is strongly influenced by climate conditions [11]. For instance, it has been reported that heating systems account for 28% of the total traction energy in Metro Oslo [12]. Based on Empirical Data Analysis, the auxiliary equipment energy consumption accounts for 9% to 20% of total train energy consumption [13].

Another major share of the traction energy is dedicated to overcoming the motion resistance of the rolling stock. It can be concluded from the available literature that, on average, motion resistance is responsible for approximately 16% of the traction energy use in urban rail services [8].

The most significant portion of traction energy is wasted in braking processes, see Figure 2. The amount of energy dissipated in braking strongly depends on the kind of urban rail system.

Electric motors can also act as generators while braking, so it is possible to recover and reuse a significant proportion of the braking energy [14]. In contrast, about one-third of the braking energy is irreversibly

lost because of friction brakes and the losses occurring in motors, converters, and transmission systems during dynamic braking.

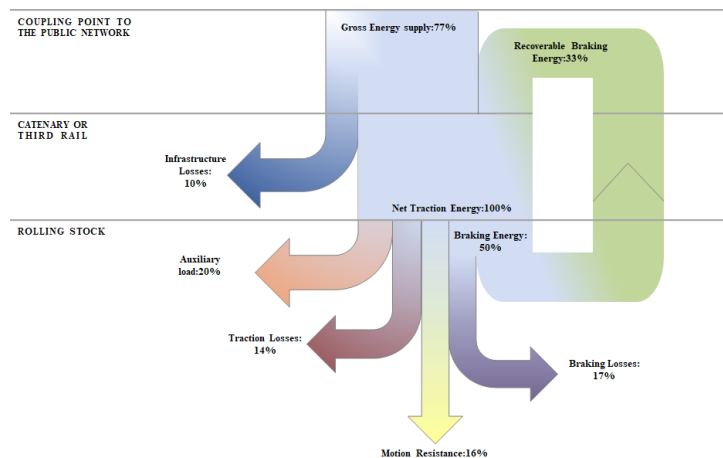


Fig. 2 Typical traction energy flow in urban rail systems

3. Energy-Saving Technologies for Vehicle Traction Systems

3.1 Lightweight Technology in Rail Transit

Carruthers et al. [15] analyzed the weight components of metro vehicles sourced from leading manufacturers such as Siemens, Alstom, and Bombardier. Applying the energy model conceived during the MODURBAN project, a quantitative correlation was delineated between the reduction in metro vehicle weight and operational energy conservation. Under specific circumstances, a decline of 10% in a vehicle's weight can culminate in a 7% reduction in traction energy consumption. Empirical data from the prolonged

operations of the Hong Kong MTR indicates that an annual energy saving of 8,000 kWh can be achieved for every 1 ton reduction in train weight [16].

Mistry et al. [17, 18] led projects anchored on Advanced Composite Integrated Structures (ACIS) to pursue research on rail vehicle lightweighting. The study ascertained those specific components, namely, the vehicle cantilever seat supports, luggage racks, intermediate end wall structures, car body sidewalls, and roof structures, are prime candidates for a Fiber-Reinforced Polymer (FRP) composite redesign. The investigation also introduced a hollow axle design and endorsed the substitution of traditional materials with "bismaleimide matrix plus carbon fiber composite." The outcomes revealed

substantial weight reductions: cantilever seat bracket (73%), luggage rack (50%), intermediate end wall (57%), car body sidewall (47%), roof structure (51%), and axles (50% and 64%), respectively. Such reductions promise a significant decrement in carbon dioxide emissions during train operations.

It can be seen that A lightweight construction strategy for rail vehicles facilitates diminished traction and braking forces during train acceleration and deceleration phases. One can effectively curtail traction energy demands by optimizing the vehicle's internal architecture, space layout, body constituents, and bogie materials and integrating innovative processes and modularization.

3.2 Permanent Magnet Motor Traction Technology

Khare and Shriwastava [19] studied the traction drive field weakening control algorithm of traction permanent magnet synchronous motor (PMSM) and analyzed the influence of various modes of low speed/high speed on the network from the perspective of EMC through simulation experiments. Liu et al. [20] carried out a line simulation of the energy consumption of the permanent magnet synchronous traction system and conducted a detailed

comparison and analysis of the efficiency and energy consumption with the asynchronous traction system and the comprehensive energy saving rate of the permanent magnet traction system was 6.6%~36.9%. Zhang et al. [21] introduced the advantages and disadvantages of a permanent magnet synchronous motor as a traction motor in the field of rail transit and the application of permanent magnet synchronous traction systems at home and abroad. The paper shows that permanent magnet synchronous traction motor has the characteristics of high efficiency, high power factor, small size, lightweight, as well as fully enclosed and low noise, and its efficiency is 3%~5% higher than that of asynchronous motor of the same specification; Volume and mass can be reduced by 20%~30%.

Figure 3 shows an efficiency comparison between a permanent magnet synchronous traction motor and an asynchronous traction motor. Compared with the asynchronous traction motor, the efficiency of the permanent magnet synchronous traction motor is increased by about 5% in the full speed range under the maximum traction characteristic envelope. In the low-speed region, the efficiency improvement is even more significant, with more than 10%.

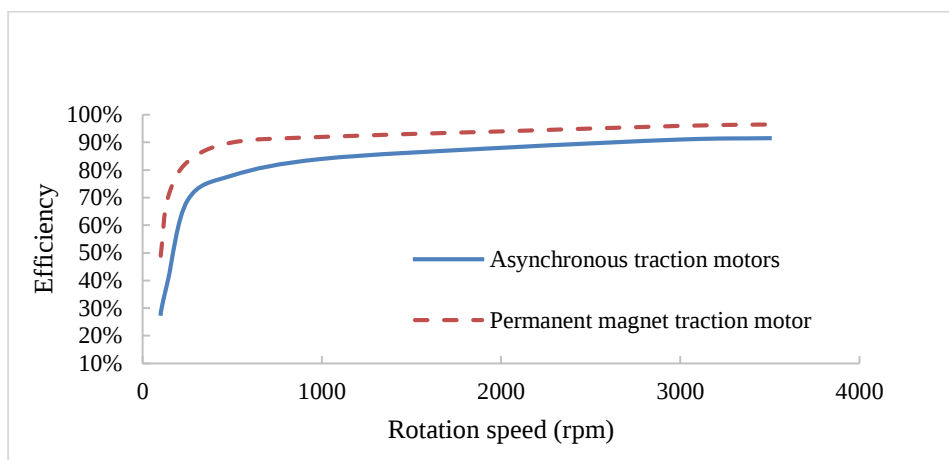


Fig. 3 Schematic diagram for efficiency comparison

Table 1 presents the traction energy consumption statistics of permanent magnet synchronous motor technology and asynchronous traction motor over 7 months [22]. According to the data, the average traction energy consumption per vehicle kilometer for permanent magnet synchronous motor technology is 13.54 kWh, whereas, for the asynchronous traction motor, it is 16.44 kWh. Compared to the latter, permanent magnet synchronous motor technology can save 2.90 kWh/km, reducing energy consumption by about 22%.

3.3 Silicon Carbide Technology

Silicon carbide (SiC) is a third-generation semiconductor material with high voltage

resistance, high temperature, high frequency and high efficiency, which is suitable for traction inverters and auxiliary inverters in rail transit.

Table 2 enumerates the usage of SiC in the railway sector across specific nations globally until 2022. Japan can be considered the pioneer of SiC in rail transport, having implemented hybrid SiC power modules on the Ginza line of the Tokyo Metro in 2012 [24]. Experimental outcomes indicated that the optimized main circuit system operates with stable control, achieving a power consumption rate per vehicle kilometer that is 13.7% more efficient than the conventional silicon power module system.

Table.1 Comparison of average traction energy consumption per kilometer (kWh)

Time	Month 1	Month 2	Month 3	Month 4	Month 5	Month 6	Month 7
Asynchronous traction motors	16.34	16.19	16.28	16.25	16.54	16.48	16.97
Permanent magnet traction motors	13.77	13.85	13.52	13.49	13.41	13.32	13.42
Energy saving	2.57	2.34	2.76	2.76	3.13	3.16	3.55

Then in 2014, Europe was also actively exploring the application of SiC in the field of rail transport.

In recent years, China has made breakthroughs in the development and application of SiC devices. Currently, 8 rail transit lines have adopted SiC technology. A comprehensive study conducted by Fu et al. [23] presented a comparative analysis of the primary technical parameters between SiC devices and IGBT power modules. Under equivalent conditions, the turn-on, turn-off, and reverse recovery losses of the four-switch vehicle-controlled IGBT at 450A were found to be diminished by 40%, 71%, and 91%, respectively, in contrast to the corresponding losses of the single-switch vehicle-controlled IGBT operating at 1500A. In a parallel research venture, Wan et al. [25] retrofitted the diode in reverse parallel within the native IGBT inverter with a SiC material (SiC-SBD). Preliminary findings affirmed that its switching and conduction losses outperformed those of conventional silicon diodes. When utilizing silicon carbide in

traction inverters, there was an average energy consumption reduction of approximately 3.22% compared to silicon-based traction inverters.

The integration of SiC technology in rail transit across China was meticulously examined. Distinctive outcomes were observed in various metro lines and tram systems. On the Suzhou Rail Transit Line 3, the incorporation of silicon carbide devices led to an energy conservation of 5%. In the case of Wuhan Donghu trams, when these devices were employed, the converter's power capacity surged beyond 20kW. This implementation was accompanied by a remarkable 40% reduction in energy consumption and a 30% diminution in both weight and volume. Similarly, for Guangzhou Metro Line 8, the utilization of silicon carbide devices resulted in a 13% weight reduction and an overall energy savings of 15%. Meanwhile, Xi'an Metro Line 4 experienced a comprehensive energy saving of 15% upon adopting silicon carbide technology.

Table.2 Application of SiC rail transit in some countries around the world

Country	Year	Line/Project	System
China	2018.12	Xi'an Metro Line 4	SiC + Permanent Magnet Motor
China	2019.11	Guangzhou Metro Line 8	SiC + Permanent Magnet Motor
China	2020.07	Wuhan East Lake Tram	SiC + Permanent Magnet Motor
China	2020.07	Zhuhai Line 1	SiC + Permanent Magnet Motor
China	2020.10	Shanghai Metro Line 8	SiC + Permanent Magnet Motor
China	2020.10	Shanghai Metro Line 6	SiC + Permanent Magnet Motor
China	2021.03	Suzhou Metro Line 3	All-SiC permanent magnet direct-drive trains
China	2021.05	Shenzhen Metro Line 1	All-SiC traction inverters
Japan	2012.02	Ginza line of the Tokyo Metro	SiC-VVVF Inverters
Japan	2014	Odakyu Electric Railway Train 1000	SiC Power Module Inverter
Japan	2015	N7005 train, JR Tokai	SiC Power Module Inverter
Japan	2019.02	2101 train, Tokyo Metro Marunouchi Line	SiC Power Module Inverter

Table.2 Application of SiC rail transit in some countries around the world (continue)

Country	Year	Line/Project	System
Japan	2019	E235 train, Yamanote Line	SiC Power Module Inverter
Japan	2021.11	E131 Series 500 trains, JR East Sagami Line	SiC-VVVF Inverters
Japan	2022.02	6500 trains on the Toei Mita Subway Line	SiC Power Module Inverter
Japan	2022.03	315 trains, JR Central Chuo Main Line	SiC-VVVF Inverters
Japan	2022.03	E131-600 trainsets, Omiya	SiC-VVVF Inverters
Japan	2022.05	Toei 6500 trains on the Tokyu Nikkoku Line	SiC Power Module Inverter
Europe	2014	Shif2Rail project, EU	SiC Power Module Inverter
Europe	2018.03	C20 metro in Stockholm, Sweden	SiC Power Module Inverter
Europe	2021.03	rail innovation program Horizon Europe 2021-2027, EU	SiC Power Module Inverter
Europe	2021.08	Arsenio tram in Munich, Germany	SiC Power Module Inverter
Europe	2021.12	UK's High Speed 2 (HS2)	SiC Power Module Inverter
Europe	2022.02	Renfe Operadora, Spain	SiC Traction Systems
Europe	2022.02	SNCF Voyageurs' AMLD long-distance electric trains	SiC Power Module Inverter

*Source: 2022 Silicon Carbide (SiC) Industry Research White Paper.

In summary, the energy-saving potential of SiC technology is relatively considerable.

3.4 Regenerative Braking Energy Storage Technology

Regenerative braking operates on the motor's reversibility principle. Under braking conditions, the motor switches to generator mode. The motor's rotor is driven to rotate by the inertia of the vehicle, producing a counter torque. This action converts a portion of the vehicle's kinetic or potential energy into electrical energy during energy recuperation. On-board energy storage systems aid in train traction and facilitate the recovery of this regenerated braking energy.

In Figure 4, the schematic depicts the on-board Hybrid ESS electric model.

Key components include the supercapacitor (Vsc) serving as an energy storage unit, and the Power Flow Controller that manages current direction, regulating power delivery to the load and enabling feedback when necessary. ITRAIN represents the current to or from the vehicle, its magnitude adjusted by the controller to meet dynamic power demands. VLINE is the DC voltage from the overhead contact line. The system also features a battery (VBatt) for supplying extra energy or storing regenerative braking energy. This integrated configuration ensures efficient power management, facilitating optimal energy utilization and exchange between the supercapacitor and the battery based on operational requirements.

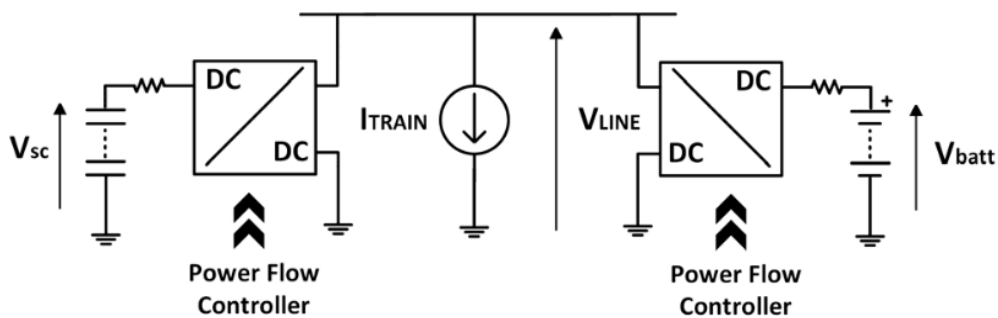


Fig. 4 On-board Hybrid ESS electric model

Graber et al. [26] undertook a comprehensive study on the sizing and energy management of on-board hybrid energy storage systems (H-ESS) tailored for urban rail transit. Their design integrated a lithium battery with a supercapacitor, creating a hybrid system for urban rail transit vehicles. Real-world case studies verified the performance of this on-board H-ESS, noting a significant reduction in line loss and SSE peak current by 43% and 32%, respectively. Building on this, Zhu and Wang [27], Zhang et al. [28] explored the utilization of the vehicle-mounted hybrid energy storage system (HESD) in electric locomotives. They introduced a power distribution scheme that harmonized the static power output of the battery with the dynamic output of the supercapacitor. Moreover, they proposed an optimal sizing for the HESD and utilized a bidirectional three-level DC/DC converter to manage the current and power control of the supercapacitor bank. Analytical and experimental data revealed that, compared to trains without the on-board HESD, there's a potential long-term operational energy saving rate of up to 27.39%.

4. Energy-saving technologies for a vehicle's auxiliary inverter system

A vehicle's auxiliary inverter system mainly consists of medium-voltage and low-voltage loads powered by the auxiliary inverter. There are two main ways to achieve energy savings: Firstly, by optimizing the efficiency of the auxiliary inverter to enhance its operational efficiency; Secondly, by reducing the power consumption of medium and low-voltage loads on the auxiliary inverter side to achieve energy-saving goals.

4.1 Improving efficiency of the auxiliary inverter

Apart from the silicon carbide technology mentioned earlier, there are two other focus areas to enhance the efficiency of the vehicle's auxiliary inverter: three-level power frequency auxiliary conversion technology and high-frequency auxiliary conversion technology.

The optimization to enhance the three-level power frequency auxiliary conversion technology is done by utilizing its structural characteristics, which involves introducing an intermediate level, thus

increasing control freedom. The Hefei University of Technology research team proposed a segmented zero-voltage turn-on (ZVS) optimization method for Dual Active Bridge converters (DAB). They selected a T-type three-level dual active bridge converter as the research object and used phase-shift control to flexibly control the direction of the inductance current. This allowed them to achieve ZVS across the full power range [29]. This optimization method can significantly enhance the auxiliary inverter's efficiency by enabling zero-voltage turn-on across the full power range. This results in reduced switch losses and improved operational efficiency.

It is crucial to focus on designing and developing effective control algorithms to achieve the best results in high-frequency auxiliary conversion technology. An article published in the International Journal of Circuit Theory and Applications highlights the usefulness of a control algorithm known as Leakage Least Mean Fourth (LLMF). This algorithm enables the manipulation of a 5-level series H bridge multilevel inverter (5L SCHB-MLI) [30]. This algorithm uses refined control to regulate the voltages on the two DC links of the H bridge to approximately equal values, which is crucial for high-frequency auxiliary inverters as it ensures system stability during high-frequency operation, improving the efficiency of the auxiliary inverter.

4.2 Energy-saving technology for air conditioning systems

(1) Technology for Frequency Conversion Control

Variable-frequency air conditioning adjusts its capacity continuously by regulating the compressor motor's speed. The compressor motor's speed can be modulated continuously by the inverter, with variations proportional to the indoor air conditioning load. Thus, the variable frequency cooling system can achieve a balance between cooling capacity and heat load by adapting the compressor speed to changes in the indoor heat load.

At the beginning of the operational stage, the variable-frequency air conditioning system operates at a high-frequency state. The compressor runs at maximum speed, rapidly reducing the room temperature. When the temperature in the room approaches the set value, the control program adjusts the compressor's speed and cooling capacity to balance the indoor heat load. The whole adjustment process doesn't require the compressor to stop, thus reducing the loss of available energy. Such a process achieves the purpose of energy saving [31, 32]. During low-frequency operation, the compressor discharges less refrigerant per unit time. This relatively increases the area of the condenser and evaporator, leading to improved efficiency in air conditioning refrigeration and reduced power consumption. Urban rail transit vehicle variable-frequency air conditioning application projects measure an average refrigeration energy-saving rate of 30%.

(2) Technology for High-Efficiency Compressors with Permanent Magnet Synchronous Motors and DC Variable Frequency Control

The ventilation fan, condensing fan, and compressor in the air conditioning

system have a substantial power output. Consequently, the compressor has a significant share of energy consumption. References 19-21 demonstrate the energy-saving benefits of using permanent magnet synchronous motors. Therefore, high-efficiency permanent magnet synchronous motors are approximately 4% more efficient than three-phase asynchronous motors under the same operating conditions. (3) Heat Pump Heating Technology

Heat pump heating technology uses electric energy to drive the compressor, following the reverse Carnot cycle principle to extract low-temperature heat energy with minimum energy consumption from the air. The compressor converts the absorbed heat energy into high-temperature heat, which heats the cabin [33]. Theoretically, heat pump heating technology can save about 60% of electricity compared to electric heating.

4.3 Intelligent Lighting Technology

According to Wang [34], using LED lighting in rail transit vehicles can reduce energy consumption by approximately 50%, thus serving as energy-saving technology. LED's centralized power supply technology replaces the separate power supply for each lamp, reducing energy consumption through limited LED drivers. Such technology is a possible method for increasing energy efficiency. The adaptive dimming control technology can be achieved by installing a photosensitive sensor in the carriage. The LED dimming controller adjusts the output power of LED lighting based on external illumination changes. The advantage of

dimming with LED is that it keeps the luminance in the car at its optimal range. This method significantly enhances energy efficiency compared to the traditional fixed output power supply mode. An analysis carried out by Duan [35] compared the energy-saving effects of LED centralized power supply and adaptive dimming technology with three other lighting solutions using software simulation calculations and physical tests. The findings demonstrate that LED centralized power supply and adaptive dimming control provide the highest degree of energy savings. The simulation data indicates a potential reduction of approximately 30% in energy consumption compared to the non-adaptive dimming scheme of LED. The test results confirmed this point, showing an energy efficiency ratio of about 1.53:1 between the two schemes. The energy-saving effect of the LED centralized power supply dimming scheme is up to 1.8 times greater than traditional fluorescent lamps.

Although adaptive dimming technology is effective, its application range is limited and only suitable for elevated and ground line sections. This article suggests reducing lighting power during non-peak hours or when carriages are unoccupied, implementing segmented lighting modes, and installing passenger sensors. If carriages become unoccupied, lighting will automatically turn off or adjust to low brightness with other management measures in place. Further research is necessary to improve the energy-saving effects of these measures.

5. Conclusions and future research

This study critically examines the energy transfer and dissipation pathways within urban rail transit vehicles. Predominantly, the energy consumption is attributed to the traction system, followed by the air conditioning and lighting system apparatus, and losses due to braking. As shown in Table 3, The paper delves into vehicular energy conservation techniques from two perspectives: diminishing the energy expenditure of the vehicle's traction system and its auxiliary inverter system. Adopting permanent magnet motors, silicon carbide devices, and advanced control strategies can markedly curtail traction-related energy usage for traction systems.

Concerning the auxiliary inverter system, enhancing conversion efficiency through implementing a three-level or high-frequency auxiliary inverter, coupled with reducing load energy intake via technologies such as frequency-variable air conditioning and LED lighting, can drastically minimize the overall energy consumption of the auxiliary system. The holistic integration of these technical interventions holds the potential to considerably decrease the energy consumption spanning the entire life cycle of the vehicle, thereby offering a robust technical framework for curtailing the energy demands of urban rail vehicles.

Table.3 Summary of energy-efficient technologies for urban rail vehicles

Classification	Points	Energy saving potential
Vehicle Lightweighting	Cantilevered seat supports, luggage racks, center end wall structures, body side wall and roof structures, axles	large
Traction Systems	Permanent magnet synchronous traction motors	Larger
	Silicon carbide devices	Larger
Auxiliary Reversing Systems	Three-level frequency-assisted converter technology	Medium
	High-frequency auxiliary converter technology	Medium
Regenerative Braking Energy Storage Technology	On-board energy storage devices	Larger
Vehicle Air Conditioning Systems	Inverter, high-efficiency permanent magnet synchronous motor DC inverter compressor technology, heat pumps	Larger
Vehicle Lighting Systems	LED intelligent lighting	Smaller
Based on the energy consumption share of each subsystem of the vehicle, and by combining the data from the above studies, the energy saving potential is classified into four levels: Large, Larger, Medium, and Smaller.		

The current study provides valuable insights into energy consumption patterns in urban rail transit vehicles and proposes effective measures for energy conservation. However, to further advance this field, future research should delve into a more

granular analysis of the selected technology combination.

REFERENCES

- [1] China Urban Rail Transit Association. "Annual Statistics and Analysis Report on Urban Rail Transit in China," 2023.

- <https://www.camet.org.cn/tjxx/11944>
(in Chinese).
- [2] I. P. Milroy, "Aspects of automatic train control," Ph.D. Dissertation, Diss. Loughborough Univ., 1980.
- [3] A. Albrecht, P. Howlett, P. Pudney, and X Vu, "Optimal train control: analysis of a new local optimization principle." American Control Conference, USA, 29 Jun-1 Jul. 2011, pp. 1928-1933, 2011
- [4] C. Zhang, B. Wang, and S. M. Xie, "Research on energy saving technology of train traction," Modern Urban Rail Transit, Vol. 6, pp. 13-18, 2021. (in Chinese, translated abstract).
- [5] J. S. Cong, "Analysis of Urban Rail Transit Train Operation Chart Parameters for Energy Saving." M.S. thesis, Beijing Jiaotong Univ., 2015. (in Chinese).
- [6] Y. M. Wang, "Quantitative Analysis on the Energy Factors of the Urban Rail Transit System." Ph.D. Dissertation, Beijing Jiaotong University, 2011. (in Chinese, translated abstract).
- [7] X. Li, and Z. Gao, "Cost-benefit analysis for regenerative energy storage in metro." Chinese Manage. Stud. vol. 11, no. 1, pp. 19-34, 2017.
- [8] A. González-Gil, R. Palacin, P. Batty, and J. P. Powell, "A systems approach to reduce urban rail energy consumption." Energy Convers. Manage. vol. 80, pp. 509-524, 2014.
- [9] E. Pilo de la Fuente, J. I. Pérez Arriaga, et al. E. P. de la Fuente, J. I. P. Arriaga, I. L. H. Ausín, and J. Jiménez, "Electricity energy flows for transportation Electricity flows for transport," Technological Research Institute (IIT) of the Comillas Pontifical University of Madrid, Monografía vol. 9, 2008. ISBN: 978-84-89649-42-2 (in Spanish).
- [10] R. Takagi, "Energy saving techniques for the power feeding network of electric railways.," IEEJ Trans. Elec. Electron. Eng. vol. 5, pp. 312-316, 2010.
- [11] J. M. Ortega, H. Ibaiondo, and A. Romo, "Kinetic energy recovery on railway systems with feedback to the grid," 9th World Congress on Railway Research, France, 2011.
- [12] J. P. Powell, A. González-Gil, and R. Palacin, "Experimental assessment of the energy consumption of urban rail vehicles during stabling hours: Influence of ambient temperature," Applied Thermal Eng. vol. 66, pp. 541-547. 2014.
- [13] X. B. Zheng, Y. Bai and S. S. Zhou, "Metro Train Energy Consumption Characteristics Based on Empirical Data Analysis," J. Transport. Syst. Eng. Inform. Tech., vol. 21, no. 6, pp. 264-271, 2021.
- [14] A. González-Gil, R. Palacin, and P. Batty, "Sustainable urban rail systems: Strategies and technologies for optimal management of regenerative braking energy," Energy conversion and management, Vol. 75, pp. 374-388, 2013.
- [15] J. J. Carruthers, M. Calomfirescu, P. Ghys, and J. Prockat, "The application of a systematic approach to material selection for the lightweighting of metro vehicles," Proc. IMechE Vol. 223 Part F: J. Rail and Rapid Transit, vol. 223, no. 5, pp. 427-437, 2009.

- [16] F. Qi, Z. Wang, and Q. F. Jiang. "Research on Energy Saving Measures for Urban Rail Transit." *Rolling Stock* (1002-7602) vol. 61, no. 3, pp. 102–108. 2023. (in Chinese, translated abstract).
- [17] P. J Mistry, M. S. Johnson, and U. Galappaththi, "Selection and ranking of rail vehicle components for optimal lightweighting using composite materials," *Proc IMechE Part F: J Rail and Rapid Transit*, Vol. 235, no. 3) 390-402, 2021.
- [18] P. J. Mistry, and M. S. Johnson. "Lightweighting of railway axles for the reduction of unsprung mass and track access charges," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F: J. Rail and Rapid Transit*, Vol. 234, no. 9, pp. 958-968, 2020.
- [19] A. Khare, and D. S. Shriwastava, "A Survey of Traction Permanent Magnet Synchronous Motor," *Int. J. Sci. Tech. Eng.* Vol. 1, no. 10, pp. 149-152, 2015.
- [20] L. J. Liu, W. G. Chen, X. Liu, and T. He, "Research on energy saving technology of metro permanent magnet synchronous traction system," *Elec. Drive Locomot.* Vol. 6, pp. 23-25, 2018. (in Chinese, translated abstract).
- [21] J. M. Zhang, H. Su, Q. Ren, W. Li, and H. Zhou, "Review on development and key technologies of permanent magnet Synchronous traction system for rail transit," *J. Traffic Trans. Eng.* Vol. 21, no. 6, pp. 63-77, 2021. (in Chinese, translated abstract).
- [22] H. H. Deng, and B. Y. Zhong, "Train energy consumption analysis of permanent magnet synchronous traction system for Changsha metro line 1," *Modern Urban Transit*, Vol. 9, pp. 10-13, 2017. (in Chinese, translated abstract).
- [23] Y. L. Fu, F. Xu, B. Zhang, Y. Zhu, and Y. M. Ma, "Research on the new generation traction system characterized by silicon carbide power modules and permanent magnet motors," *Modern Urban Transit*, Vol. 11, pp. 33-38, 2019. (in Chinese, translated abstract).
- [24] H. M. Peng, "Test Report of Ginza Line 01 Series Subway Train SiC Power Module Main Circuit System," *Foreign Railway Locomotives and Motor Cars*, Vol. 6, pp. 29-34, 2013. (in Chinese).
- [25] J. Wan, J. H. Shi, and Q. Dai, "Research on Traction Energy-saving of Urban Rail Transit Vehicle Based on Hybrid Silicon Carbide Devices," *Urban Rail Transit Research*, Vol. 03, pp. 253-257, 2023. (in Chinese, translated abstract).
- [26] G. Graber, V. Galdi, V. Calderaro, and A. Piccolo, "Sizing and energy management of on-board hybrid energy storage systems in urban rail transit," *Inter. Conf. Electrical Syst. Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & Inter. Trans. Electrification*, November 2016 France. 2016.
- [27] L. Zhu, and X. Wang, "Hybrid energy storage system of storage battery/super capacitor for mine electric locomotive," *J. Phys. Conf. Series* 1633, no. 012081, pp. 1-8, 2020.
- [28] B. Zhang, C. Wu, G. Meng, F. Xue, and S. Lu, "Optimal Sizing of Onboard Hybrid Energy Storage Devices Considering the Long-Term Train Operation," *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 1-12, 2022.

- [29] X. J. Yang, L. H. Kong, Y. Du, J. W. Su, and X. J. B. Zhang, "ZVS Optimization Strategy of T-type Three-level Dual Active Bridge Converter," *High Voltage Eng.*, Vol. 48 no. 5 pp. 1913 – 1923, 2022. (in Chinese).
- [30] S. Mittal, A. Singh, and P. Chittora. "Design and development of leaky least mean fourth control algorithm for single-phase grid-connected multilevel inverter," *Int. J Circ Theory Appl*, pp. 1-18, 2023.
- [31] W. Ma, and Z. G. Cheng, "Discussion on Energy-saving Methods of Shanghai Rail Transit Train Air Conditioning System," *Urban Rail Transit Research*, Vol. 17, no. 11, pp. 54-58, 2014. (in Chinese).
- [32] J. Li, M. T. Liu, and F. X. Gao, "Energy-saving and Comfort Analysis of Urban Rail Transit Vehicle Variable Frequency Air Conditioning System," *Urban Rail Transit*, Vol. 5, no. 18, pp. 99-103, 2015. (in Chinese).
- [33] Z. S. Jin, "Research and Application Practice of Air Source Heat Pump Heating Technology," *Eng. Construct.*, Vol. 5, no. 12, pp. 50-52, 2022. (in Chinese).
- [34] Q. F. Wang, "Application of LED Lighting in Subway Vehicles," *Energy Conservation*, Vol. 32, no. 5, pp. 57-59, 2013. (in Chinese).
- [35] H. L. Duan, "Research on Energy-saving Scheme of Urban Rail Transit Vehicle Lighting System," *Urban Rail Transit Research*, Vol. 21, no. 2, pp. 34-37, 2018. (in Chinese).

Author's Biography:



Jingjie Yan Graduated from Southwest Jiaotong University, majoring in Vehicle Engineering (Urban Railway Transportation Direction) in 2016. He works at Shanghai Municipal Complete Equipment (Group) Co. Ltd., Railway Transportation Research Center as an Engineer, Electrician Technician. He is currently pursuing a master's degree in engineering management at the Graduate School of Southeast Asian University, with a focus on urban rail transit vehicle technology.



Asst. Prof. Dr. Wirogana Ruengphrathuengsuka received his Ph.D. (Chemical Engineering) from Texas A&M University, USA, in 1992. At present, he is a director of the Master of Engineering Program in Engineering Management at SAU. His current research interests are in the areas of multi-phase equilibrium and transport in associated with interfacial science and renewable or alternative energy materials, and engineering

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2566

ชื่อ – นามสกุล	ต้นสังกัด	
รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย	ศรีวิริยรัตน์	มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา	สงวนสัจย์	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญญารัตน์	สายสิริรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์	รัตนมีชัยสกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิระ	สายสร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์	ด้วงทองสุข	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพงศ์	ชัยสายัณห์	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รองศาสตราจารย์ กวี	หวังนิเวศน์กุล	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รองศาสตราจารย์ สิริวิช	ทัดสวน	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
พ.ต.ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา	เกียรติภักษ์	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ	โอธนาทรัพย์	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์	บัตรสุนเนิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติมา	ณ สงขลา	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์	เรืองประเทืองสุข	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ	จันทร์ครบ	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศกร	คชาพงศ์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงนุช	เกตุย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ราชศักดิ์	สมยานนทนากุล	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อริสรา	ฤทธิงาม	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรชญา	มุสิกะพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ (ต่อ)

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2566

ชื่อ – นามสกุล

ต้นสังกัด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิเรก

สุริยะวงศ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ว่าที่ ร.ต.ไพโรฑูล

ไชยวงศา

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

ดร.ภาณุวัฒน์

ศรีโยธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดขอนแก่น

ดร.นเรศ

ฉิมเรศ

มหาวิทยาลัยทักษิณ

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY ตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ โดยมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ บทความที่พิจารณาตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ในการพิจารณาของวารสารอื่นๆ เรื่องที่จะตีพิมพ์จะต้องได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 2 คน กองบรรณาธิการอาจให้ผู้เขียนปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้นและทรงไว้ซึ่งสิทธิ์ในการคัดลอกตีพิมพ์หรือไม่ก็ได้

ประเภทผลงานที่ตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research articles) เป็นผลงานที่เตรียมจากข้อมูลของผู้เขียน หรือทีมงานผู้เขียนได้ค้นคว้าวิจัยด้วยตนเอง
2. บทความวิชาการ (Academic articles) อาจแยกเป็นบทความปริทรรศน์ (Review articles) บทความเทคนิค (Technical article) เรียบเรียงจากการสืบค้น ตรวจสอบเอกสารวิชาการในสาขานั้นๆ และบทความพิเศษ (Special articles) เสนอความรู้ทั่วไปในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การเตรียมต้นฉบับบทความ

บทความหรือผลงานวิจัยที่นำเสนออาจอยู่ในรูปแบบภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ โดยจัดพิมพ์ด้วยโปรแกรมเวิร์ดโปรเซสเซอร์ ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ สำหรับตาราง แผนภาพและภาพประกอบในส่วน of ต้นฉบับจะต้องตามรูปแบบที่กำหนดเพื่อให้พร้อมตีพิมพ์ได้ทันที (Camera ready) ต้นแบบสำหรับบทความสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ saujournalst.sau.ac.th

การส่งบทความ

ส่ง “ต้นฉบับบทความ” โดยไม่ต้องระบุชื่อที่อยู่และประวัติของผู้ประพันธ์และทีมงานและส่ง “ใบรับรองบทความ” ด้วยอิเล็กทรอนิกส์ไฟล์นามสกุล PDF และ ไฟล์ Doc ส่งผ่านระบบ Thaijo ได้ที่ วารสาร SAUJOURNALST

บทความทุกบทความที่เสนอมายังวารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY จะได้รับการกลั่นกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิ หากมีการแก้ไขหรือตอบรับการตีพิมพ์ผู้เขียนต้องส่งต้นฉบับอิเล็กทรอนิกส์ไฟล์นามสกุล PDF และ DOC ของบทความที่แก้ไข สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

โทรศัพท์ : 0-2807-4500-27 # 404 โทรสาร: 0-2807-4528

e-mail : SAUJournalST@sau.ac.th

ต้นฉบับสำหรับบทความที่เขียนเป็นภาษาไทยสำหรับวารสาร

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

ชื่อบทความ

Title of the Paper

ชื่อ-นามสกุล ผู้ประพันธ์ (ภาษาไทย)

ชื่อ-นามสกุล ผู้ประพันธ์ (ภาษาอังกฤษ)

ภาค/สาขาวิชา สถาบัน/มหาวิทยาลัย

ที่อยู่/ประเทศ

ผู้พิมพ์ประสานงาน : Your email address

วันที่รับบทความ: / วันที่แก้ไขบทความ: / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์:

บทคัดย่อ นี่คือนิตยสารต้นฉบับสำหรับบทความของคุณเพื่อเสนอพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY จัดพิมพ์ด้วย Microsoft Word for Windows โดยจัดระยะขอบบน 3.0 ซม. ระยะขอบขวา ขอบซ้ายและขอบล่าง 2.5 ซม. โดยมีการตั้งค่าขนาดของกระดาษ Custom size (19 ซม.x26.5 ซม.) หลัง “คำสำคัญ:” ให้กำหนดรูปแบบเป็น 2 สดมภ์ ด้วยความกว้าง 6.73 ซม. และระยะห่างสดมภ์ 0.5 ซม. พิมพ์บทความด้วยอักษร Angsana New ขนาด 13pt ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า และสำหรับคำ **บทคัดย่อ คำสำคัญ และเอกสารอ้างอิง** ให้กำหนดเป็นตัวเข้ม-เอียงด้วยอักษร Angsana New ขนาด 14pt

คำสำคัญ : เว้น 1 บรรทัดหลังจากบทคัดย่อ แล้วพิมพ์คำสำคัญของบทความ (4-5 คำ)

Abstract This is a template of your full paper for publishing on SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY. Use Microsoft Word for Windows. Leave 3.0 cm. margins from the top, 2.5 cm. from the right side, left side and bottom. Please adjust the page setup to custom size (19 cm.x26.5 cm.) sheet. Use double-column format width of 6.73 cm. with a space of 0.5 cm. between columns after the keywords. Use 11 point Times New Roman font in typing the abstract. The length of paper should not be longer than 15 pages. For the headings, such as **Abstract, Keywords** and **References** use 12 point Times New Roman bold-Italic.

Keywords: Please leave one blank line after the *Abstract* and write your keywords (4-5 words).

1. บทนำ

ชื่อบทความภาษาไทย (ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 20pt ตัวเข้ม กลางหน้ากระดาษ) ตามด้วยชื่อบทความภาษาอังกฤษ (ใช้ตัวอักษร Times New Roman ขนาด 16pt ตัวเข้ม กลางหน้ากระดาษ) จากนั้นเว้น 1 บรรทัด ตามด้วยชื่อผู้ประพันธ์ (ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 13pt ตัวเข้มกลางหน้ากระดาษ) ภาควิชา/สาขาวิชา สถาบัน/มหาวิทยาลัย (ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 13pt กลางหน้า) และที่อยู่/ประเทศ(ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 13pt กลางหน้า) จากนั้นระบุ email address ของผู้พิมพ์/ประสานงาน (ใช้ตัวอักษร Times New Roman ขนาด 10pt กลางหน้า) หัวข้อเรื่องแต่ละข้อ (ใช้ตัวอักษร Angsana New ขนาด 15pt หน้าชิดขอบซ้าย) โดยใช้หมายเลขแบบอินดู อารบิก (1, 2, 3,...) ไม่ใช่แบบเลขโรมัน (I, II, III, ...).

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สรุปอธิบายถึงขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์และมีข้อมูลที่เพียงพอสำหรับคนอื่นๆ ที่จะสามารถที่จะทำให้เกิดการทดลองซ้ำได้

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

สำหรับชื่อหัวข้อใหญ่ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 15pt, ตัวเข้ม ชิดขอบซ้าย เรียงลำดับหัวข้อด้วย 1, 2, 3,... (ไม่ใช่ I, II, III,...) การขึ้นหัวข้อใหม่แต่ละครั้งให้เว้น 1 บรรทัด สำหรับสมการคณิตศาสตร์ให้จัดเรียงด้วย (1), (2), (3),...

3.1 หัวข้อย่อยลำดับที่ 1

หัวข้อข้อย่อยลำดับที่ 1 ใช้ตัวอักษร Angsana New ขนาด 13pt ตัวเข้ม ชิดขอบซ้าย

3.1.1 หัวข้อย่อยลำดับที่ 2

หัวข้อข้อย่อยลำดับที่ 2 ใช้ตัวอักษร Angsana

New ขนาด 13pt ตัวเข้ม ชิดขอบซ้าย

3.2 ตาราง รูป และการอ้างอิง

สำหรับรูปภาพตารางและการอ้างอิงตัวเลขควรเป็นเลขดังนี้ รูปที่ 1 รูปที่ 2, ... ฯลฯ (ที่กึ่งกลาง) และตารางควรจะเป็นเลขดังนี้ Table1, Table2 ... ฯลฯ (ที่ด้านซ้าย) การอ้างอิงในบทความให้ใช้เครื่องหมายวงเล็บเหลี่ยม เช่น [2] จะต้องเรียงลำดับหมายเลขอ้างอิงจากหมายเลขน้อยไปสู่หมายเลขมากให้ถูกต้อง การอ้างอิงหมายเลขที่มีลำดับติดต่อกัน ตัวอย่างเช่น[1-5]

4. สรุปผล

เพื่อให้ทุกบทความที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์มีรูปแบบที่ตรงกัน ผู้ประพันธ์จะต้องจัดทำบทความตามต้นแบบ ไม่เช่นนั้นบทความของท่านจะถูกส่งคืนเพื่อปรับปรุงรูปแบบให้ตรงกับต้นแบบนี้ขอขอบคุณท่านสำหรับการให้ความร่วมมือ

5. กิตติกรรมประกาศ

ในส่วนนี้ไม่จำเป็นต้องมี แต่ท่านสามารถใช้ส่วนนี้ในการนำเสนอให้ทราบถึงผู้ที่สนับสนุนการทำงานวิจัยของท่าน เช่น นักศึกษาที่มีส่วนร่วม ผู้ที่มีส่วนร่วมจากภายในหรือภายนอก หรือองค์กรที่ให้ทุนสนับสนุน

6. หลักเกณฑ์ในการเขียนเอกสารอ้างอิง

การเขียนเอกสารอ้างอิงกำหนดให้ใช้ ตัวอักษร Angsana New ขนาด 13pt และเขียนตามตัวอย่างของเอกสารอ้างอิงในแม่แบบนี้ กรณีที่เป็น

เอกสารอ้างอิง [1] หมายถึง “หนังสือ”

เอกสารอ้างอิง [2] หมายถึง “รายงาน”

เอกสารอ้างอิง [3] หมายถึง “วารสาร”

เอกสารอ้างอิง [4] หมายถึง “ประชุมวิชาการ”

เอกสารอ้างอิง [5] หมายถึง “มาตรฐาน”

เอกสารอ้างอิง [6] หมายถึง “เว็บไซต์”

เอกสารอ้างอิง [7] หมายถึง “ปริญญาโท”

เอกสารอ้างอิง [8] หมายถึง “วิทยานิพนธ์”

เอกสารอ้างอิง [9] หมายถึง “คุณวุฒิบัตร”

โดยในกรณีที่เอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทยให้แปลเป็นภาษาอังกฤษและใส่คำว่า “(in Thai)” ต่อท้าย

เอกสารอ้างอิง

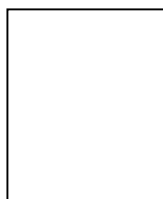
- [1] M. Ned, U. M. Tore and R. P. William, Power Electronic, John Wiley and sons, 1995.
- [2] The Federation of Thai Industries, Executive Summary: Eco-industrial development under the cost to develop green industry, 2013(in Thai).
- [3] D. Susa and H. Nordman, “A Simple model for calculating transformer hot-spot temperature,” *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 24, no.3, pp.1257-1264, Jul. 2009.
- [4] C. Tangsiriworakul, S. Tadsuan, “A Comparison of iron losses and acoustic noise supplied by pwm inverter of dm and spwm techniques,” in *Proc. International Conference on Mechanical and Electrical Technology (ICMET 2009)*, China, 8-11Aug. 2009, pp. 105-110.
- [5] IEEE Guide for loading mineral-oil-immersed overhead and pad-mounted distribution transformers rated 500 kVA and less with 65°C or 55°C average winding rise, ANSI/IEEE C57.91-1981.
- [6] Wikipedia. (2010, Jun. 28). “Biodiesel” [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>
- [7] K. Khianjutturut, W. Chaingam, S. Damrongnavavith, S. Nitcumharn, and A. Duangin, “The software implement for electric energy data logger of single-phase kilowatt-hour meter

with image signal processing,” Student’s Project, Dep. Elec. Eng., Southeast Asia Univ., 2014 (in Thai).

- [8] C. Bundanphrai, “A comparison of electric power and temperature on three- phase induction motor by varying wind flow with damper and pwm inverter supply,” M.S. Thesis, Southeast Asia Univ., 2014 (in Thai).
- [9] V. Kinnares, “Measurement, Analysis and prediction of harmonic power losses in pwm feed induction motors,” Ph.D. Dissertations, Univ., Nottingham, 1997.

หมายเหตุ กรณีที่เอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทย ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษและใส่คำว่า “(in Thai)” ต่อท้าย

ประวัติผู้ประพันธ์ :



ผู้ประพันธ์ระบุประวัติโดยย่อของตนเอง ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับประวัติศึกษาตำแหน่ง สถานที่ทำงาน และงานวิจัยที่สนใจ พร้อม

รูปถ่าย ขนาด 2 ซม. x 2.4 ซม.

Guidelines for Contributors

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY is published two-annually by Southeast Asia University. All articles are considered for publication in this journal will have to follow the following conditions, 1) they have not been published elsewhere and 2) they are not currently being submitted for consideration in any other journals. All articles are independently assessed (peer reviewed) by at least three specialists in their relevant fields. The editor board reserves a privilege to ask the authors to improve their articles, and to decide whether submitted articles should be published or not.

Types of work published

1. Research articles by individual or team researchers.
2. Academic articles include review articles, technical articles, and special articles on science and technology.

Manuscripts

Manuscripts must be prepared to meet professional standards using word processors on Windows. The table, diagrams and illustrations in the contributed manuscripts should be in a camera-ready format. For the template article can be downloaded from the website <http://saujournalst.sau.ac.th>

Submission

The manuscripts of the prospective contributors should be submitted to the editor-in-chief. Authors must submit manuscript (without name, address and authors, biography notifications) with electronic file (PDF) and "Copyright Transfer Form".

- Directly to the editor-in-chief of SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY, Faculty of Engineering, Southeast Asia University.

- By mail to the editor-in-chief of SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY, Faculty of Engineering, Southeast Asia University, 19 / 1, Nongkhangphlu, Nongkhaem, Bangkok 10160, Thailand.

- By online at Website saujournalst.sau.ac.th

All papers submitted to SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY are subject to peer review. If revised or accepted of article should be submitted the manuscript (PDF and DOC) to the editor-in-chief. You may contact us using the information listed at Southeast Asia University, Tel.#: 0-2807-4500-27 EXT 331, FAX : 0-2807-4528 19/1, Nongkhangphlu, Nongkhaem, Bangkok 10160, Thailand; Email address : SAUJournalST@sau.ac.th

Manuscripts of paper writing as english language for SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Title of the Paper

Author's Names

Department, University

Address, (country)

Corresponding author : e-mail address

Received: / Revised: / Accepted:.....

บทคัดย่อ นี้คือต้นแบบสำหรับบทความของคุณเพื่อเสนอพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY จัดพิมพ์ด้วย Microsoft Word for Windows โดยจัดระยะขอบบน 3.0 ซม. ระยะขอบขวา ขอบซ้ายและขอบล่าง 2.5 ซม. โดยมีการตั้งค่าขนาดของกระดาษ Custom size (19 ซม.x26.5 ซม.) หลัง “คำสำคัญ :” ให้กำหนดรูปแบบเป็น 2 สดมภ์ ด้วยความกว้าง 6.73 ซม. และระยะห่างสดมภ์ 0.5 ซม. พิมพ์บทความด้วยอักษร Angsana New ขนาด 13pt ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า และสำหรับคำบทคัดย่อ คำสำคัญ และ**เอกสารอ้างอิง** ให้กำหนดเป็นตัวเข้ม-เอียงด้วยอักษร Angsana New ขนาด 14pt

คำสำคัญ : เว้น 1 บรรทัดหลังจากบทคัดย่อ แล้วพิมพ์คำสำคัญของบทความ (4-5 คำ)

Abstract This is a template of your full paper for publishing on SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY. Use Microsoft Word for Windows. Leave 3.0 cm. margins from the top, 2.5 cm. from the right side, left side and bottom. Please adjust the page setup to custom size (19 cm.x26.5 cm.) sheet. Use double-column format width of 6.73 cm. with a space of 0.5 cm. between columns. Use 11 point Times New Roman font in typing the abstract. The length of paper should not be longer than 15 pages. For the headings, such as **Abstract**, **Keywords** and **References** use 12 point Times New Roman bold-Italic.

Keywords : Please leave one blank line after the Abstract and write your keywords (4-5 words).

1. Introduction

The title of the paper you must use 16 point Times New Roman in Bold at the center of the page. Leave one blank line and type the authors' names, department and country in capital letters with 11 point Times New Roman in Bold and centered. For the corresponding author, use 11 point Times New Roman centered. The heading of each section should be printed in small 12 point, left justified, bold Times New Roman font. Use Hindu-Arabic number (1, 2, 3,...) for the section's numbering and not the Roman Numerals (I, II, III, ...).

2. Materials and Methods

Brief description of the experimental procedure and analysis and sufficient information for others to be able to reproduce the experiments.

3. Results and Discussion

For section heading, use 12 point left justified Times New Roman in bold, numbered as follows : 1, 2, 3,... (not I, II, III,...). Please leave one blank spaces between successive sections. Mathematical equations must be numbered as follows : (1), (2), (3)....

3.1 Subsection

For subsection heading, use 11 point left justified Times New Roman in bold.

3.1.1 Sub-subsection

When including a sub-subsection, use 11 point left justified Times New Roman in bold.

3.2 Figures, Tables and Reference

Figures should be numbered as follows: Fig.1, Fig.2, ... etc.(at center) and Tables should be numbered as follows: Table.1, Table.2, ... etc.(at Left). Type the corresponding number of references in square brackets.

4. Conclusion

Please follow our instructions faithfully, otherwise, you have to resubmit your paper. This will enable us to maintain uniformity in the journal. Thank you for your cooperation.

5. Acknowledgement

This section is optional. You can use this section to acknowledge support you have had for your research from your colleagues, student's participation, internal or external partners' contribution or funding organization.

6. Rules for writing reference

The letter, in 11 point Times New Roman, will be used for writing reference and the reference in this template being subject to the condition as below :

Ref. [1] stand for "Book"

Ref. [2] stand for "Report"

Ref. [3] stand for "Journal"

Ref. [4] stand for "Conference"

Ref. [5] stand for "Standard"

Ref. [6] stand for "Website"

Ref. [7] stand for "Student' Project"

Ref. [8] stand for "Thesis"

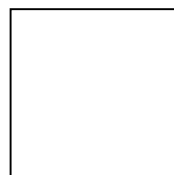
Ref. [9] stand for "Dissertation"

In case of reference written in Thai being used. It need to be translated to English and put the word "(in Thai)" at the back of reference.

References

- [1] M. Ned, U. M. Tore and R. P. William, Power Electronic, John Wiley and sons, 1995.
- [2] The Federation of Thai Industries, Executive Summary: Eco- industrial development under the cost to develop green industry, 2013. (in Thai)
- [3] D. Susa and H. Nordman, "A Simple model for calculating transformer hot- spot temperature," IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 24, no.3, pp. 1257-1264, Jul. 2009.
- [4] C. Tangsiriworakul, S. Tadsuan, "A Comparison of iron losses and acoustic noise supplied by pwm inverter of dm and spwm techniques," in Proc. International Conference on Mechanical and Electrical Technology (ICMET 2009), China, 8-11 Aug. 2009, pp. 105-110.
- [5] IEEE Guide for loading mineral-oil-immersed overhead and pad-mounted distribution transformers rated 500 kVA and less with 65 °C or 55 °C average winding rise, ANSI/ IEEE C57.91-1981.
- [6] Wikipedia. (2010, Jun. 28). "Biodiesel" [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>
- [7] K. Khianjutturut, W. Chaingam, S. Damrongnavavith, S. Nitcumharn, and A. Duangin, "The software implement for electric energy data logger of single-phase kilowatt-hour meter with image signal processing," Student's Project, Dep. Elec. Eng., Southeast Asia Univ., 2014. (in Thai)
- [8] C. Bundanphrai, "A comparison of electric power and temperature on three-phase induction motor by varying wind flow with damper and pwm inverter supply," M.S. Thesis, Southeast Asia Univ., 2014. (in Thai)
- [9] Kinnares, "Measurement, Analysis and prediction of harmonic power losses in pwm feed induction motors," Ph. D. Dissertations, Univ., Nottingham, 1997.

Authors' Biography:



The author should include a brief introduction about his/ her interest in the research topic and a scanned 2 cm.x2.4 cm.

photo attached the original manuscript



หมายเลขบทความ
(เฉพาะเจ้าหน้าที่กรอก)

แบบฟอร์มใบรับรองบทความ SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

1. ประเภทของบทความ

☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการปริทรรศน์ ☐ บทความวิชาการเทคนิค ☐ บทความวิชาการพิเศษ

2. สาขาบทความที่ส่ง

☐ Electrical Engineering ☐ Electronic & communication Engineering ☐ Industrial Engineering
☐ Civil Engineering ☐ Computer Science & Engineering ☐ Mechanical Engineering
☐ Agricultural Engineering ☐ Occupational Health & Safety ☐ Environment Engineering
☐ Energy ☐ Etc.

3. ชื่อบทความ

ภาษาไทย

ภาษาอังกฤษ

4. ชื่อ-สกุลของผู้นิพนธ์ประสานงาน (Corresponding author)

5. สถานที่ติดต่อของผู้นิพนธ์ประสานงาน (Corresponding author) ที่อยู่

.....

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

6. รายชื่อและที่อยู่ของเจ้าของบทความทั้งหมด

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย ตัวบรรจง)	ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ ตัวบรรจง)	หน่วยงาน	โทรศัพท์	E-mail
1.				
2.				
3.				
4.				

7. เสนอรายชื่อผู้ประเมิน

ชื่อ-สกุล	หน่วยงาน	โทรศัพท์	E-mail
1.			
2.			
3.			
4.			

8. การรับรองบทความ

☐ ขอรับรองว่าบทความต้นฉบับนี้ยังไม่เคยได้รับการเผยแพร่และตีพิมพ์ในวารสารอื่นใดมาก่อน
 ขอรับรองว่าข้อความดังกล่าวข้างต้นเป็นจริงทุกประการ

ลงชื่อ.....ผู้พิมพ์และตีพิมพ์
 (.....)
 วัน..... เดือน..... พ.ศ.

หมายเหตุ ส่งแบบฟอร์มนี้มาพร้อมกับบทความตามช่องทางในคำแนะนำสำหรับผู้เขียน (การส่งบทความ)



สมาชิกเลขที่

.....

ใบสมัครสมาชิก SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

วันที่สมัคร

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว สกุล อาชีพ

ที่อยู่ (สำหรับจัดส่งวารสาร) เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์ โทรสาร E-mail

มีความประสงค์สมัครเป็นสมาชิก

อัตราค่าสมาชิก

☐ ปี (2 ฉบับ/ปี)

500 บาท

พร้อมกันนี้ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน บาท

จำนวนเงิน(ตัวอักษร)

โอนเงินเข้าบัญชีธนาคาร ชื่อบัญชี เลขที่บัญชี

หมายเหตุ 1. กรุณาส่งสำเนาใบเสร็จการจ่ายเงินมาที่ E-mail Address : saujournalST@sau.ac.th หรือโทรสารมาที่
หมายเลข 0-2807-4528 พร้อมเขียนชื่อ-นามสกุล และหมายเลขสมาชิก (ถ้ามี)

ลงชื่อ ผู้สมัคร

(.....)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแวง กรุงเทพฯ 10160

โทรศัพท์ 0-2807-4500-27 ต่อ 331 โทรสาร 0-2807-4528 E-mail Address : SAUJournalST@sau.ac.th



มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

SOUTHEAST ASIA UNIVERSITY

สาขาวิชาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เปิดสอน

ปริญญาเอก

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ปริญญาโท

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (วศ.ม.)

สาขาวิชาบริหารงานวิศวกรรมการก่อสร้าง (วศ.ม.)

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (IoT) (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล (วศ.บ.)

สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลและนวัตกรรม (วท.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม (วศ.บ.)

สาขาวิชาดิจิทัลมีเดีย (วท.บ.)

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม (ติดซอยเพชรเกษม 106) เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

โทรศัพท์ : 02-8074500 – 27 ต่อ 190,192

อีเมล : info@sau.ac.th

แฟกซ์ : 02-8074528 – 30

website : www.sau.ac.th

