



การพัฒนากระบวนการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT Development of Electrical Equipment Measurement Control System With IoT Technology สุชาติ คูนนิล	1
การวิจัยและพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมชุมชนเกษตรอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อลดการใช้สารเคมี สารพิษตกค้าง และติดตามสถานการณ์การเจริญเติบโตของพืช Research and develop innovative model for the smart farm community as well unmanned aerial vehicle technology and the Internet of things to reduce the use of chemicals residue And monitoring of plant growth เที่ยง เหมียคโสง และ ศิวาพร เหมียคโสง	17
ระบบการส่งข้อมูลสถานะของเซ็นเซอร์ตรวจจับความร้อนจากการเกิดไฟป่าผ่านโครงข่าย LoRa-Based Mesh Network The status data sending system of the sensor metering the heat from wild fire through LoRa-Based Mesh Network จรรย์ คนแรง มิ่งขวัญ สมพฤกษ์ ไพโรจน์ ศวันทร อธิคม ศิริ และกมล บุญล้อม	29
การประยุกต์ใช้สายอากาศระนาบแบบ 2 คลื่นความถี่ในการวิเคราะห์ระดับความชื้นของข้าวเปลือก Application of dual band planar antenna to analyze the paddy moisture level ปรามินทร์ วงษ์เจริญ และ ประพันธ์ ลีกุล	40
ผลกระทบของควาเค้นต่อเครื่องสูบน้ำหยดไฮดรอลิกในระบบซิลเลอร์ Effect of cavitation on Centrifugal pump on Chiller systems วชิรพล แสนช้าง	50
การพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ Development of renewable energy heat exchangers with solar energy กฤษณ์ชาคริต ฌ วัฒนประเสริฐ กุสุมา ผลาพรม อภิสิทธิ์ อุปกิจ มณฑาทิพย์ สายยศ ธรรมภรณ์ คงตัน พัฒนพงษ์ สุทยานาง พรชัย ตามถิ่นไทย และ อภิชาติ มาศมาลัย	58
การวิเคราะห์รูปแบบการใช้ไฟฟ้าแบบ Real time ของอาคารที่ใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย Real-time power consumption analysis of building using power from power grid combine photovoltaic system. Case Study of the Office of the President of Chiang Rai Rajabhat University. วิลาสินี ศรีสุวรรณ และ ปราณต์ เมฆอากาศ	69
การปรับปรุงกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษา บริษัท ขวดพลาสติก จำกัด Improving the production process of plastic bottle packaging to increase productivity Case Study of Plastic Bottle Co., Ltd. ชินันท์ อินเฒ่าม พรทีพย์ เหลียวตระกูล และ สุรพงษ์ รามัญจิตต์	77
การจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวที่มีต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ : กรณีศึกษา บริษัท เสดต้า อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) Green Logistics and Green Supply Chain Management affecting To The Operational Efficiency of Electronic Equipment and Components Industry: A Case Study of Delta Electronics (Thailand) Public Company Limited อนุวัฒน์ คำคุณ และ สิริพร ทัดทวี	86
ปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวที่ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักแรมในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี Tourism Logistics Factors affecting to The Competitive Advantage of Accommodation Establishments in Mueang District, Kanchanaburi Province ธีระพงศ์ สิงห์บุตร และ สิริพร ทัดทวี	98
การประเมินค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติของการผลิตหินปูน กรณีศึกษา: เหมืองแร่หินปูน เพื่ออุตสาหกรรมเคมี ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง Environmental Damage Assessment of Natural Resource Depletion In Limestone Production Case Study: Limestone Mining for the chemical industry of the Electricity Generating Authority of Thailand, Mae Moh, Lampang Province ประกอบ ประมมะ สุรัตน์ เศษโพธิ์ และ พุทธิ อุบลสุข	107
การเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์โดยใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากอีวาพอเรเตอร์ Enhancement the Heat Transfer of the Condenser Using Waste Cooling Energy from the Evaporator สิริสวัสดิ์ จิงเจริญนิษฐ	115

วารสารวิชาการเทพสตรี I-TECH
ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

บรรณาธิการ

รศ.ว่าที่ ร.ต.ดร.ชูชาติ พยอม

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผศ.ดร.ลลิตธร มะระกานนท์ ผศ.ดร.กุลสมทรัพย์ เย็นน้ำชิต ผศ.ดร.ธาดา คำแดง

ผู้ทรงคุณวุฒิในกองบรรณาธิการ

ศ.ดร.สุมาลี สังข์ศรี	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ศ.ดร.จรัญ จันทลักขณา	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ศ.ดร.สายัณห์ ทัดศรี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.วุฒิพงศ์ อารีกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.ธีรศิลป์ ทุมวิภาต	สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
รศ.ดร.สุมาลี อุณหวนิชย์	สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
รศ.ดร.ชนศักดิ์ ป้ายเที่ยง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.กฤษณ์ อ่างแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ชูสิทธิ์ ประดับเพชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ฝ่ายจัดการวารสาร

นางนภาพร รอดแก้ว นางสาวชญาณ์พิมพ์ จตุพรเนตรทอง

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ อุตสาหกรรมการเกษตร เทคโนโลยีสารสนเทศ การจัดการอุตสาหกรรม

กำหนดการออกวารสาร

ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม

ลักษณะบทความ

1. ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารอื่นใดมาก่อนหรือต้องไม่อยู่ในขั้นตอนการพิจารณาเพื่อเผยแพร่ในวารสารอื่น
2. ต้องเป็นผลงานวิจัยที่มีผลกระทบในวงกว้างที่ไม่ใช่งานวิจัยในระดับสถาบัน

บทความที่ลงพิมพ์เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น

ผู้เขียนจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น

การพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

Development of Electrical Equipment Measurement Control System With IoT Technology

สุชาติ ดุมนิล
Suchat Dumnil

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
Electric Technology, Faculty of Industrial Technology Surin Rajabhat University
Email: Linesky0007@gmail.com
Received: December 18, 2022; Revised: February 28, 2023, Accept: March 20, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพ ประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT และความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT กระบวนการวิจัยได้ดำเนินการผ่านการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน จากนั้นนำไปพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT แล้วนำระบบไปถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อประเมินหาความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีการใช้งานของระบบ กับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นอาจารย์ นักศึกษา เจ้าหน้าที่ และกลุ่มเกษตรกรที่สนใจ จำนวน 30 คน ได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลแล้วนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ ได้แก่ การหาค่าเฉลี่ย และการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย พบว่า การพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT นั้น สามารถช่วยแก้ปัญหาที่ผู้วิจัยพบเจอในปัจจุบัน คือ สามารถแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ควบคุมแบบทันเวลา สามารถช่วยแจ้งเตือนกรณีอุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุด และสามารถควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของผู้วิจัยที่ต้องการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าและควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ด้วย IoT

แบบประเมินความพึงพอใจการใช้งานของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT มีโดยรวมพบว่ามีความพึงพอใจในระดับดีมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.74 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.40 โดยที่ด้านความสำคัญของเทคโนโลยี มีความพึงพอใจในระดับที่ดีมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.81 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.37 รองลงมา ด้านความสามารถของระบบ มีความพึงพอใจในระดับที่ดีมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.72 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.41 และด้านประโยชน์และการใช้งาน มีความพึงพอใจในระดับที่ดีมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.68 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.43

ดังนั้น ในการพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าและควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ด้วย IoT ให้ดียิ่งขึ้นในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: ระบบควบคุม, อุปกรณ์ไฟฟ้า, เทคโนโลยี, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

The purpose of this research is to develop and determine the efficacy. Assess the quality of electrical metering control systems with IoT technology and user satisfaction towards the development of electrical metering control systems with IoT technology. The research process was conducted through an evaluation by 5 experts, then To develop a control system for measuring electrical equipment with IoT technology, and then transfer the technology to assess the user's satisfaction with the use of the system. with a sample group of 30 teachers, students, officers and interested farmers, obtained by purposive selection In this research, the data were collected and analyzed by statistical methods, including averaging. and the determination of the standard deviation

The results of the research showed that the development of electrical metering control systems with IoT technology can help solve the problems that researchers currently encounter, namely, to be able to display the results of electric power consumption in a timely manner. Can help alert in case of electrical equipment damage And can control the power supply efficiently, etc., which is in line with the needs of researchers who want to monitor power consumption and control power supply to devices with IoT

The user satisfaction assessment form of the electrical measurement control system with IoT technology found that Satisfaction at a very good level The mean was 4.74 and the standard deviation was 0.40. Satisfaction at a very good level The mean was 4.81, the standard deviation was 0.37, followed by the ability of the system. Satisfaction at a very good level The mean was 4.72, the standard deviation was 0.41, and the usefulness and usability aspect Satisfaction at a very good level The mean was 4.68 and the standard deviation was 0.43.

Therefore, in developing a control system for measuring electrical equipment with IoT technology, it can be used to solve problems effectively. To monitor power consumption and control the power supply to devices with IoT to be better in the future.

Keywords : Control System, Electrical Equipment, Technology, Internet of Things

1. บทนำ

ประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในทุกปีทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน จากรายงานประจำปีของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2554-2564 มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง [1] และจากการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าในอนาคตจะมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น [2] อุปกรณ์ในระบบสายส่งและระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจึงรับภาระโหลดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลงเมื่อใช้งานเป็นเวลานานและต่อเนื่อง การลดลงของประสิทธิภาพการทำงานก็จะส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะการทำงานของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์

ในภาพรวมด้วยหนึ่งในตัวแปรด้านกำลังงานที่อาจช่วยสะท้อนประสิทธิภาพและสมรรถนะของอุปกรณ์ในระบบคือคุณภาพของกำลังไฟฟ้า (Power Quality) ซึ่งหากสามารถตรวจสอบหรือคาดการณ์ได้ล่วงหน้าแล้วทำการซ่อมบำรุงให้อุปกรณ์มีสภาพดีหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ชำรุดได้ทันเวลาที่ก็จะสามารถป้องกันความสูญเสียกำลังไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่สูงได้ จากข้อมูลข้างต้นการศึกษในส่วนของคุณภาพกำลังไฟฟ้าจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจและนำมาพิจารณาเป็นอย่างมาก

ปัจจุบันเทคโนโลยีใหม่ได้เข้ามาสร้างโอกาสในการนำมาประยุกต์ใช้มากขึ้นอาทิเช่น เทคโนโลยีด้านสารสนเทศ หรือ

Internet of Things (IoT) เป็นต้น อีกทั้งจากความแพร่หลายของอุปกรณ์สมองกลฝังตัวบอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กตัวตรวจรู้ (Sensor) และมอดูลเชื่อมต่อการสื่อสารไร้สายต่างๆ รวมไปถึงการพัฒนาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งไม่จำเป็นที่จะต้องเข้าไปรวมวงในส่วนของผู้ผลิตต้นน้ำเพราะในปัจจุบันการแข่งขันในการผลิตชิปมีค่อนข้างสูงและมีความหลากหลายให้เลือกใช้ จึงทำให้มีการผลิตออกมาเป็นบอร์ดสำเร็จรูปที่พร้อมสำหรับการพัฒนาพร้อมโค้ดตัวอย่างที่มุ่งหวังเพื่อให้ นักพัฒนาสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ง่ายที่สำคัญบอร์ดเหล่านี้อยู่ในรูปแบบของฮาร์ดแวร์แบบเปิดมีผู้คนมากมายนำมาใช้พัฒนา และมีชุมชนเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลความรู้ซึ่งกันและกัน ที่สำคัญอย่างมากอีกประการหนึ่งคือ ราคาของผลิตภัณฑ์เหล่านี้เป็นราคาที่นักพัฒนาสามารถเข้าไปจับต้องได้และสามารถที่จะซื้อเข้ามาใช้งานได้ง่ายกว่าในอดีตเป็นอย่างมากจึงทำให้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งสามารถนำมาใช้งานได้จริงและเกิดประโยชน์ในการดำเนินชีวิตประจำวันหรือเพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆ ในการทำงาน [3] เนื่องจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเทคโนโลยี ซึ่งมีความไวต่อการตอบสนองต่อคุณภาพของกำลังไฟฟ้ามากกว่าอดีต ส่วนมากในอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ จะมีการต่อตัวเก็บประจุซึ่งจะทำให้เกิดฮาร์มอนิกสูงขึ้นในระบบไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ทางไฟฟ้ามีการเสื่อมคุณภาพเร็วยิ่งขึ้น [4] ความเสื่อมสภาพของระบบป้องกันในบางอุปกรณ์อาจไม่ทำงานทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์การตรวจวัดคุณภาพทางไฟฟ้าจึงเป็นการเฝ้าระวังดูแลคุณภาพและประสิทธิภาพในระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นการสำรวจตรวจวัดคัดกรองวิเคราะห์ค่าต่างๆ ในระบบไฟฟ้าเพื่อสำรวจถึงสาเหตุของการเกิดปัญหา รวมไปถึงการแก้ไขปรับปรุงให้คุณภาพกำลังไฟฟ้ามีเสถียรภาพเพิ่มมากขึ้น

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT โดยนำเอาอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า มาเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า PZEM-004T เพื่อรับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยได้นำตัวเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า PZEM-004T ไปตรวจวัดการใช้พลังงานในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เราต้องการและส่งข้อมูลไปยังสมาร์ตโฟนและเมื่ออุปกรณ์เชื่อมต่อกับ

อินเทอร์เน็ตจะสามารถรับข้อมูลการใช้พลังงานและควบคุมการสั่งการเปิด-ปิด การจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

1.1.2 เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพและประเมิณหาคุณภาพของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

1.1.3 เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและประเมินหาความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อการใช้งานของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

1.2 สมมติฐานของการวิจัย

1.2.1 การหาประสิทธิภาพของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT อยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 80 ขึ้นไป

1.2.2 การประเมินหาคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญ ของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT อยู่ในระดับมากขึ้นไป

1.2.3 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและประเมินหาความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อการใช้งานของการพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT อยู่ในระดับพอใจมาก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัย ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.3.1 ขอบเขตด้านการพัฒนา

การพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ผู้วิจัยได้นำขั้นตอนกระบวนการเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ดังนี้ [5]

- 1) ขั้นตอนที่ 1 กำหนดปัญหาหรือความต้องการ
- 2) ขั้นตอนที่ 2 รวบรวมข้อมูล
- 3) ขั้นตอนที่ 3 เลือกวิธีการ
- 4) ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบและปฏิบัติการ
- 5) ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบ
- 6) ขั้นตอนที่ 6 ปรับปรุงแก้ไข
- 7) ขั้นตอนที่ 7 ประเมินผล

1.3.2 ขอบเขตด้านประสิทธิภาพ

ในการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการทดสอบหาประสิทธิภาพ ได้แก่

- 1) ทดสอบการทำงานของระบบการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยรีเลย์
- 2) ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ PZEM-004T ด้วยการวัดค่าแรงดันและค่ากระแสของอุปกรณ์ไฟฟ้าตามกำหนด
- 3) ทดสอบการควบคุมการทำงานสำหรับการตั้งเวลาเพื่อให้ระบบทำงานตามกำหนดผ่านโทรศัพท์มือถือ

1.3.3 ขอบเขตด้านคุณภาพ

ในการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตในการประเมินคุณภาพมี 5 ด้าน คือ ด้านการออกแบบ ด้านวัสดุอุปกรณ์ ด้านการใช้งาน ด้านการประกอบติดตั้ง การบำรุงรักษาและความปลอดภัย

1.3.4 ขอบเขตด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยี

ในการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ผู้วิจัยได้กำหนดพื้นที่ในการทดสอบและถ่ายทอดเทคโนโลยี คือ ร้านทิพพาวรรณ บ้านหนองเต่า ตำบลเนินยาง อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ และการประเมินความพึงพอใจในครั้งนี้

1.3.5 ขอบเขตด้านตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

- 1) ตัวแปรต้น หมายถึง การพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT
- 2) ตัวแปรตาม หมายถึง ประสิทธิภาพและคุณภาพของการพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT
- 3) ความพึงพอใจในการถ่ายทอดเทคโนโลยีของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

2. การออกแบบและการทำงานของระบบที่

นำเสนอ

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.1.1 การพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

2.1.2 แบบบันทึกผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

2.1.3 แบบประเมินคุณภาพของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

2.1.4 แบบประเมินหาความพึงพอใจของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

2.2 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.2.1 การพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ผู้วิจัยได้นำแนวคิดกระบวนการเทคโนโลยี [5] มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT มีขั้นตอน ดังนี้

1) กำหนดปัญหาหรือความต้องการ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสาร หนังสือและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้า และนำปัญหาการทำระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้า มาดำเนินการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น และความต้องการของผู้วิจัย จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสรุปและดำเนินการออกแบบระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ที่เหมาะสม ที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้

2) รวบรวมข้อมูล จากการศึกษาปัญหาและความต้องการผู้วิจัยได้นำมารวบรวม และแบ่งความสำคัญของปัญหาและความต้องการเป็นอะไรที่มีความสำคัญมากก็ควรจะทำดำเนินการปรับปรุงแก้ไขก่อน เช่น ปัญหาที่ไม่สามารถตรวจสอบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกินความจำอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ตอบสนองไม่สามารถตรวจสอบต้นเหตุได้ในกรณีที่การจ่ายพลังงานไฟฟ้าเกิดขัดข้องการตัดพลังงานทำได้ล่าช้า

3) เลือกวิธีการผู้วิจัยได้เลือกพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ซึ่งเป็นระบบที่ง่ายต่อการตรวจสอบและควบคุมปัจจัยภายนอก เช่น ปัญหาที่ไม่สามารถตรวจสอบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกินความจำอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ตอบสนองไม่สามารถตรวจสอบต้นเหตุได้ในกรณีที่การจ่ายพลังงานไฟฟ้าเกิดขัดข้องการตัดพลังงานทำได้ล่าช้าและ ได้นำระบบเทคโนโลยีอัจฉริยะมาผสมผสานกับเทคโนโลยี IoT เข้ามาช่วยในการทำงาน โดยการนำเทคโนโลยี IoT ที่เป็นนวัตกรรมดิจิทัลไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถสั่งการทำงานและแสดงผลการทำงานผ่าน

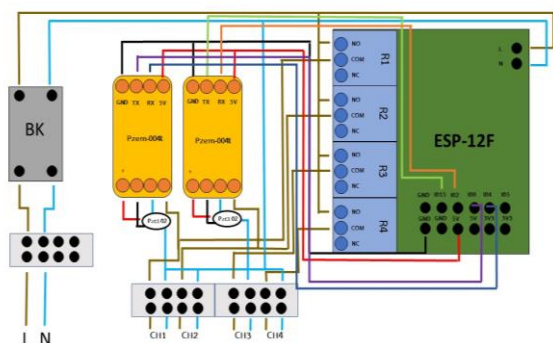
โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟนในการตรวจสอบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตรวจเช็คอุปกรณ์ไฟฟ้าและควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ผู้วิจัยสามารถควบคุมและตรวจสอบได้ตามความต้องการ

4) ออกแบบและปฏิบัติการพัฒนา ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและการพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1) ขั้นตอนการร่างแบบ (Sketch) ผู้วิจัยได้ดำเนินการร่างแบบตู้ควบคุม และส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT โดยกำหนดรายละเอียดคร่าว ๆ ถึงรูปแบบตู้ควบคุมและส่วนประกอบของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

4.2) ขั้นตอนการออกแบบ (Design) ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบจากการร่างแบบและกำหนดสัดส่วนตู้ควบคุม ส่วนประกอบของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการออกแบบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1) การออกแบบตู้ควบคุม ก) รวบรวมข้อมูล และจัดวางออกแบบตู้ควบคุม เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของอุปกรณ์ในแต่ละรูปแบบ ข) คัดเลือกรูปแบบตู้ควบคุมที่ออกแบบจากลักษณะที่มีข้อดีข้อเสีย และความยากง่ายของการหาอุปกรณ์ในการซ่อมบำรุง ค) รวบรวมข้อมูล เช่น คุณสมบัติ, ราคา ของอุปกรณ์ที่ใช้ภายในตู้ควบคุม



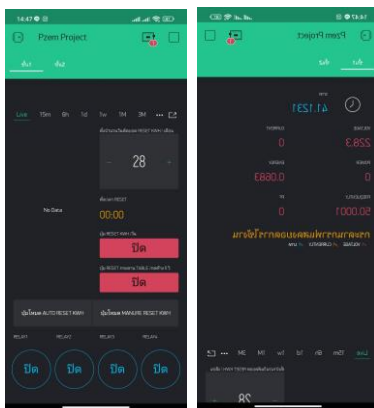
รูปที่ 1 ออกแบบวงจรระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

4.2.2) การออกแบบการทำงานของระบบ IoT ก) ในการออกแบบระบบ IoT จะแบ่งเป็นระบบแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบแจ้งเตือนกรณีอุปกรณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ข) เลือกอุปกรณ์สำหรับ ระบบแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบแจ้งเตือนกรณีอุปกรณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ค) ออกแบบวงจร และประกอบวงจรระบบแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบแจ้งเตือนกรณีอุปกรณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ง) ทดสอบการทำงานของวงจร ระบบแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบแจ้งเตือนกรณีอุปกรณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้า จ) เขียนโปรแกรมการทำงานทั้ง 3 ระบบ คือระบบแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบแจ้งเตือนกรณีอุปกรณ์ไฟฟ้าขัดข้องและระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยกำหนดเงื่อนไขดังนี้ เงื่อนไข ข้อ 1) ระบบแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยตั้งค่าเมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับตู้ควบคุมเริ่มทำงาน อุปกรณ์วัดค่าไฟฟ้า PZEM T-04 ที่อยู่ตู้ควบคุมจะทำการคำนวณค่าไฟฟ้าและ แสดงผลส่งมาที่จอสมาร์ตโฟนแบบเรียลไทม์ 2) ระบบแจ้งเตือนกรณีอุปกรณ์ไฟฟ้าขัดข้อง โดยตั้งค่าเมื่อตู้ควบคุมไม่สามารถตรวจวัดค่าพลังงานที่อุปกรณ์ใช้งานได้ จะทำการแจ้งเตือนไปที่สมาร์ตโฟนในรูปแบบสถานะ LED สีแดง 3) ระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยตั้งค่า ปุ่มควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าในสมาร์ตโฟน ซึ่งสามารถส่งการ เปิด-ปิด การจ่ายพลังงานได้จากระยะไกล กรณีที่ อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดการเสียหาย และจ่ายกระแสไฟฟ้าเกินความจำเป็น

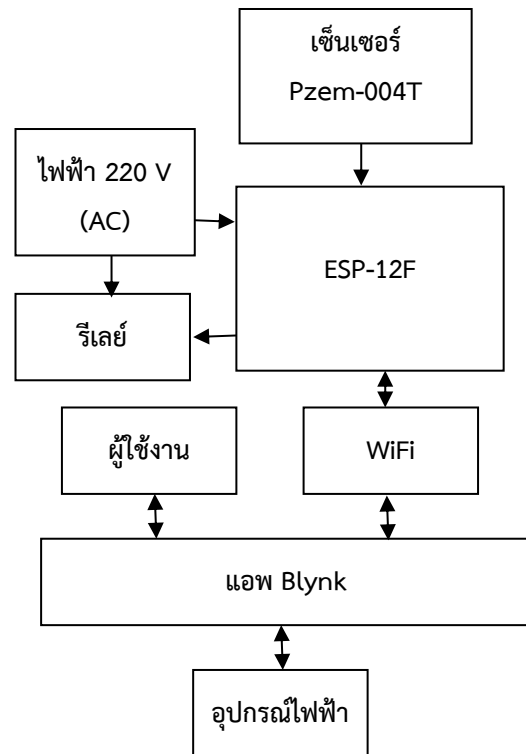
4.2.3) ขั้นตอนการสร้าง (Making) ผู้วิจัยได้นำแบบจาก การออกแบบระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT มาทำการสร้างตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยเริ่มจากการสร้างตู้ควบคุม และประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามแบบ



รูปที่ 2 การออกแบบและสร้างตู้ระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT



รูปที่ 3 แผงควบคุมในแอปพลิเคชันที่ใช้ในการสั่งการ



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT



รูปที่ 5 ภาพรวมการทดสอบระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้า

5) ทดสอบ (Action)

5.1) ตรวจสอบตู้ควบคุม ให้เป็นไปตามแบบที่ได้ ออกแบบไว้ข้างต้น

5.2) ทดสอบการแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าบนสมาร์ทโฟน ทดสอบการทำงานแอปพลิเคชันในการแจ้งเตือน และระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้า

6) ปรับปรุงแก้ไข ผู้วิจัยได้นำผลจากการทดสอบในกรณีที่มี ข้อผิดพลาดเพื่อดำเนินการปรับปรุงแก้ไข ให้ระบบ มีความสมบูรณ์ ดังนี้

6.1) ปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า ในส่วน ของอุปกรณ์อุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า ให้มีความเสถียรและทนทานมากขึ้น ในการติดตั้งครั้งแรก ได้ใช้ อุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่มีความทนทานต่ำ และส่งค่าได้ล่าช้า เนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์ทำงานอยู่ตลอดเวลา ปัญหาที่เกิดขึ้นคืออุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า เกิดความร้อนสูงทำให้การทำงานของอุปกรณ์ผิดพลาด เมื่อเปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีความเสถียรและทนทานมากขึ้นทำให้ทนต่อสภาวะการทำงานดีขึ้น และค่าที่ได้ตรงตามที่ต้องการ

6.2) ปรับปรุงแก้ไขในส่วนของการแสดงผล และควบคุมทางสมาร์ทโฟนในส่วนหน้าจอแอปพลิเคชันให้มีความละเอียดที่โดดเด่น เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบและใช้งาน ได้สะดวกยิ่งขึ้น

7) ประเมินผล ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT มาดำเนินการประเมินผลโดยการประเมินคุณภาพ ดังแสดงในวิธีการดำเนินการวิจัยดังแสดงในขั้นตอนต่อไป

2.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ซึ่งมีรายละเอียดของการเก็บรวบรวมข้อมูลตามลำดับขั้นตอน สามารถสรุปได้ดังนี้

2.3.1 การทดลองประสิทธิภาพของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT มีขั้นตอนดังนี้

- 1) คณะผู้วิจัยได้จัดเตรียมชุดระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT
- 2) ขั้นตอนที่ 1 เสียบปลั๊กไฟเข้ากับระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT และเปิดเบรกเกอร์
- 3) ขั้นตอนที่ 2 เปิดสวิตช์หน้าตู้ ทำการเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตเข้ากับบอร์ด ESP12f ให้เรียบร้อย
- 4) ขั้นตอนที่ 3 ทดลองประสิทธิภาพของระบบการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยรีเลย์ และบันทึกผลการทดลอง
- 5) ขั้นตอนที่ 4 ทดลองประสิทธิภาพของระบบเซนเซอร์วัดค่า PZEM-004T ด้วยค่าแรงดันและค่ากระแส ของอุปกรณ์ไฟฟ้าตามกำหนด และบันทึกผลการทดลอง
- 6) ขั้นตอนที่ 5 ทดลองประสิทธิภาพระบบตั้งเวลาในการทำงาน และบันทึกผลการทดลอง

2.3.2 คณะผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT จากผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ และด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

1) ดำเนินการติดต่อประสานงานผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ความสามารถ ที่เป็นอาจารย์สอนหรือผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ และด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยมีประสบการณ์ไม่น้อยกว่า 5 ปี ในการประเมินคุณภาพ ระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

2) คณะผู้วิจัยนัดวัน เวลา และสถานที่ในการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

3) คณะผู้วิจัยเริ่มจากการแนะนำตนเอง ชี้แจงถึงวัตถุประสงค์จุดมุ่งหมายของการวิจัยในครั้งนี้ และแนะนำการใช้งานระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

4) คณะผู้วิจัยให้ผู้เชี่ยวชาญทดลองการใช้งานของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

5) คณะผู้วิจัยแจกแบบประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ให้ผู้เชี่ยวชาญ

6) ผู้เชี่ยวชาญดำเนินการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

2.3.3 คณะผู้วิจัยนำผลที่ได้จากการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล จากศึกษาประสิทธิภาพ และจากการประเมินคุณภาพของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปการวิจัยต่อไป

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัย เรื่อง ระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

2.4.1 ค่าร้อยละ (Percentage) [6]

2.4.2 การวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean) [7]

2.4.3 การวิเคราะห์หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) [7]

2.4.4 การวิเคราะห์คุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale) แบ่งระดับความคิดเห็นออกเป็น 5 ระดับ คือ [8]

คะแนนเท่ากับ 5 คือ คุณภาพดีมาก

คะแนนเท่ากับ 4 คือ คุณภาพดี

คะแนนเท่ากับ 3 คือ คุณภาพปานกลาง

คะแนนเท่ากับ 2 คือ คุณภาพน้อย

คะแนนเท่ากับ 1 คือ คุณภาพน้อยที่สุด

และเกณฑ์การประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT จัดระดับค่าเฉลี่ยเป็น 5 ระดับ คือ [8]

คะแนนเท่ากับ 4.50-5.00 มีคุณภาพดีมาก

คะแนนเท่ากับ 3.50-4.49 มีคุณภาพดี

คะแนนเท่ากับ 2.50-3.49 มีคุณภาพปานกลาง

คะแนนเท่ากับ 1.50-2.49 มีคุณภาพน้อย

คะแนนเท่ากับ 1.00-1.49 มีคุณภาพน้อยที่สุด

2.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

2.5.1. ค่าร้อยละ (Percentage)

ค่าร้อยละ หมายถึง การคำนวณหาสัดส่วนของข้อมูลในแต่ละตัวเทียบกับข้อมูลรวมทั้งหมด โดยให้ข้อมูลรวมทั้งหมดมีค่าเป็นร้อยละ [6]

$$\text{ร้อยละ (\%)} = \frac{X \times 100}{n}$$

เมื่อ X แทน จำนวนข้อมูล (ความถี่) ที่ต้องการนำมาหาค่าร้อยละ

N แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.5.2 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) หมายถึง การหารผลรวมของข้อมูลทั้งหมดด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด [7] ดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของเลขคณิต
 $\sum x$ แทน ผลรวมของข้อมูลทุกค่า
 n แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.5.3. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) เป็นค่าวัดการกระจายที่สำคัญทางสถิติ เพราะเป็นค่าที่ใช้บอกถึงการกระจายของข้อมูลได้ดีกว่าค่าพิสัย [7] ดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})}{n - 1}}$$

เมื่อ S.D. แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 X แทน ข้อมูล (ตัวที่ 1,2,3...,n)
 $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
 n แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการเปิด-ปิดจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยรีเลย์

การพัฒนาาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT คณะผู้วิจัยได้นำตารางการบันทึกผลจากการทดสอบประสิทธิภาพ โดยมีผลของการทดสอบหาประสิทธิภาพ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1: ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการเปิด-ปิดจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยรีเลย์

จำนวนครั้ง	ระบบการเปิด-ปิดจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยรีเลย์ (เปอร์เซ็นต์)				หมายเหตุ
	รีเลย์1	รีเลย์2	รีเลย์3	รีเลย์4	
1	1	1	1	1	1=รีเลย์ทำงาน 0=รีเลย์ไม่ทำงาน
2	1	1	1	1	
3	1	1	1	1	
4	1	1	1	1	
5	1	1	1	1	
6	1	1	1	1	
7	1	1	1	1	
8	1	1	1	1	
9	1	1	1	1	
10	1	1	1	1	
คิดเป็นร้อยละ 100					

หมายเหตุ 1 ระบบการเปิด-ปิดจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยรีเลย์ ทำงาน
0 ระบบการเปิด-ปิดจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยรีเลย์ ไม่ทำงาน

สรุปผลจากตารางที่ 1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพระบบการเปิด-ปิดจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยรีเลย์ ในภาพรวมพบว่าสามารถทำงานตามการสั่งจำนวน 10 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100 ของประสิทธิภาพในการทำงาน

ตารางที่ 2 : ผลการทดสอบประสิทธิภาพเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า PZEM-004T (เฉพาะโหลดไฟ 20 วัตต์ จำนวน 2 โหลด ใช้เวลา 5 นาที)

ครั้งที่	ค่าที่วัดจากคลิป์แอมป์มิเตอร์			ค่าที่วัดจากเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า			สถานะ	หมายเหตุ
	ดิจิตอล			PZEM-004T				
	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)		
1	225	0.59	132	225	0.72	162	1	1= PZEM-004T
2	224	0.59	132	224	0.71	159	1	ทำงาน
3	222	0.60	133	222	0.72	159	1	ส่งข้อมูลได้
4	225	0.60	135	225	0.71	159	1	0= PZEM-004T
5	223	0.59	131	223	0.71	158	1	ไม่ทำงาน
6	225	0.60	135	225	0.72	162	1	ส่งข้อมูลไม่ได้
7	223	0.60	133	223	0.71	158	1	
8	222	0.59	130	222	0.71	157	1	
9	222	0.59	130	222	0.70	155	1	
10	223	0.59	131	223	0.71	158	1	
คิดเป็นร้อยละ							100	

หมายเหตุ สถานะ 1 ระบบเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า PZEM-004T ทำงานส่งข้อมูลได้

สถานะ 0 ระบบเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า PZEM-004T ไม่ทำงานส่งข้อมูลไม่ได้

สรุปผลจากตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพระบบเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า PZEM-004T (เฉพาะหลอดไฟ 20 วัตต์ จำนวน 2 หลอด) จะพบว่าในการทดสอบสั่งทำงานตามการสั่งจำนวน 10 ครั้ง ประสบความสำเร็จในการสั่งทำงานตามการสั่งจำนวน 10 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100 ของประสิทธิภาพในการทำงาน

ตารางที่ 3 : ผลการทดสอบประสิทธิภาพเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า PZEM-004T (เฉพาะพัดลม 85 วัตต์ ใช้เวลา 5 นาที)

ครั้งที่	ค่าที่วัดจากคลิปแอมป์มิเตอร์			ค่าที่วัดจากเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า			หมายเหตุ
	ดิจิตอล			PZEM-004T			
	แรงดัน	กระแส	กำลัง	แรงดัน	กระแส	กำลัง	
	ไฟฟ้า	ไฟฟ้า	ไฟฟ้า	ไฟฟ้า	ไฟฟ้า	ไฟฟ้า	
	(โวลต์)	(แอมป์)	(วัตต์)	(โวลต์)	(แอมป์)	(วัตต์)	สถานะ
1	222	0.36	79	222	0.46	102	1
2	222	0.35	77	222	0.45	99	1
3	222	0.35	77	222	0.45	99	1
4	221	0.36	79	221	0.46	101	1
5	223	0.35	78	223	0.45	100	1
6	221	0.35	77	221	0.45	99	1
7	221	0.35	77	221	0.45	99	1
8	223	0.36	80	223	0.46	102	1
9	224	0.36	80	224	0.46	103	1
10	223	0.35	78	223	0.45	100	1
คิดเป็นร้อยละ							100

1= PZEM-004T ทำงานส่งข้อมูลได้
0= PZEM-004T ไม่ทำงานส่งข้อมูลไม่ได้

หมายเหตุ สถานะ 1 ระบบเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า PZEM-004T ทำงานส่งข้อมูลได้

สถานะ 0 ระบบเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า PZEM-004T ไม่ทำงานส่งข้อมูลไม่ได้

สรุปผลจากตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า PZEM-004T (เฉพาะพัดลม 85 วัตต์) จะพบว่าในการทดสอบสั่งทำงานตามการสั่งจำนวน 10 ครั้ง ประสบความสำเร็จในการสั่งทำงานตามการสั่งจำนวน 10 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100 ของประสิทธิภาพในการทำงาน

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ในภาพรวม

ลำดับ	รายการ	ร้อยละ
1	ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพระบบการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยรีเลย์	100
2	ผลการทดสอบประสิทธิภาพเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า PZEM-004T (เฉพาะหลอดไฟ 20 วัตต์ จำนวน 2 หลอด)	100
3	ผลการทดสอบประสิทธิภาพเซนเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า PZEM-004T (เฉพาะพัดลม 85 วัตต์)	100
ค่าเฉลี่ยรวม		100

จากตารางที่ 4 พบว่า ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ในภาพรวม มีระดับการทดสอบประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งหมด ซึ่งเกินสมมติฐานที่ตั้งไว้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2. ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ผู้วิจัยได้ดำเนินการหาประสิทธิภาพ โดยมีผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีไฟฟ้าและ

อิเล็กทรอนิกส์ ด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ และด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ในด้านการออกแบบ ด้านวัสดุอุปกรณ์ ด้านการใช้งาน ด้านการประกอบติดตั้ง การบำรุงรักษาและความปลอดภัย ดังนี้

ตารางที่ 5 : ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ด้านการออกแบบ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. การออกแบบโครงสร้าง ที่เหมาะสมในการใช้งาน	4.60	0.55	ดีมาก
2. การออกแบบระบบควบคุมการทำงาน ที่เหมาะสมในการใช้งาน	4.80	0.45	ดีมาก
3. การออกแบบระบบ IoT ที่เหมาะสมในการใช้งาน	4.40	0.55	ดี
ค่าเฉลี่ย	4.60	0.51	ดีมาก

จากตารางที่ 5 พบว่า ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ด้านการออกแบบ มีระดับความคิดเห็นในภาพรวมอยู่ในระดับที่มีคุณภาพในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.60 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.51

ตารางที่ 6 ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ด้านวัสดุอุปกรณ์

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. วัสดุอุปกรณ์ที่เลือกใช้ทำโครงสร้าง มีความแข็งแรงทนทาน	4.80	0.45	ดีมาก
2. วัสดุอุปกรณ์ที่เลือกใช้ทำตู้ควบคุม มีความแข็งแรงทนทาน	4.80	0.45	ดีมาก
3. วัสดุอุปกรณ์ที่เลือกใช้ทำระบบไฟฟ้า มีความแข็งแรงทนทาน	4.60	0.55	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	4.73	0.48	ดีมาก

จากตารางที่ 6 พบว่า ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ด้านวัสดุอุปกรณ์ มีระดับความคิดเห็นในภาพรวมอยู่ในระดับที่มีคุณภาพในระดับดีมากมีค่าเฉลี่ย 4.73 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.48

ตารางที่ 7 ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ด้านการใช้งาน

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. การใช้งานอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าสามารถทำงานถูกต้องแม่นยำ	5.00	0.00	ดีมาก
2. การใช้งานระบบแจ้งเตือนสามารถทำงานถูกต้องแม่นยำ	4.60	0.55	ดีมาก
3. การใช้งานระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสามารถทำงานถูกต้องแม่นยำ	5.00	0.00	ดีมาก
4. การใช้งานผ่านสมาร์ทโฟน สามารถใช้งานได้ดี ถูกต้องแม่นยำ	4.80	0.45	ดีมาก
5. การแสดงผลการใช้งานผ่านสมาร์ทโฟน สามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ	4.80	0.45	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	4.84	0.28	ดีมาก

จากตารางที่ 7 พบว่า ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ด้านการใช้งาน มีระดับความคิดเห็นในภาพรวม อยู่ในระดับที่มีคุณภาพในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.84 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.28

ตารางที่ 8 ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ด้านการประกอบติดตั้ง การบำรุงรักษา และความปลอดภัย

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. การประกอบติดตั้งโครงสร้างและการบำรุงรักษา	4.60	0.55	ดีมาก
2. การประกอบติดตั้งระบบตู้ควบคุม มีความปลอดภัย	4.60	0.55	ดีมาก
3. การประกอบติดตั้งระบบไฟฟ้า มีความปลอดภัย	4.40	0.55	ดี
4. การบำรุงรักษาระบบตู้ควบคุม ดูแลง่าย	4.80	0.45	ดีมาก
5. การบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า ดูแลง่าย	4.20	0.45	ดี
6. ในภาพรวมระบบมีความปลอดภัย มีระบบป้องกันไฟเกิน เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์	4.20	0.45	ดี
ค่าเฉลี่ย	4.46	0.49	ดี

จากตารางที่ 8 พบว่า ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ด้านการประกอบติดตั้ง การบำรุงรักษา และความปลอดภัย มีระดับความคิดเห็นในภาพรวมอยู่ในระดับที่มีคุณภาพในระดับดี มีค่าเฉลี่ย 4.46 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.49

ตารางที่ 9 ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ในภาพรวม

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. ด้านการออกแบบ	4.60	0.51	ดีมาก
2. ด้านวัสดุอุปกรณ์	4.73	0.48	ดีมาก
3. ด้านการใช้งาน	4.84	0.28	ดีมาก
4. ด้านการประกอบติดตั้ง การบำรุงรักษา และความปลอดภัย	4.46	0.49	ดี
ค่าเฉลี่ย	4.66	0.44	ดีมาก

จากตารางที่ 9 พบว่า ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ในภาพรวม มีระดับความคิดเห็นในภาพรวม อยู่ในระดับที่มีคุณภาพดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.66 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.44 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านสามารถสรุประดับความคิดเห็นจากมากไปหาน้อย พบว่า ด้านการใช้งาน อยู่ในระดับที่มีคุณภาพดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.84 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.28 รองลงมา คือ ด้านวัสดุอุปกรณ์ อยู่ในระดับที่มีคุณภาพดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.73 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.48 ต่อมาคือ ด้านการ

ออกแบบ อยู่ในระดับที่มีคุณภาพดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.60 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.51 และด้านการประกอบติดตั้ง การบำรุงรักษา และความปลอดภัยอยู่ในระดับที่มีคุณภาพดี มีค่าเฉลี่ย 4.46 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.44 ตามลำดับ

3.3. ผลการประเมินความพึงพอใจการใช้ระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

ผลการประเมินความพึงพอใจสำหรับแสดงความคิดเห็นของผู้ใช้งานที่มีต่อการใช้งานของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT แบ่ง 3 ตอน คือ ตอนที่ 1

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ตอนที่ 2 แบบประเมินระดับความพึงพอใจในการใช้ระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT และตอนที่ 3 ส่วนข้อเสนอแนะของผู้ใช้งานดังแสดงผลตามตารางที่ 10 และตารางที่ 11

ตารางที่ 10 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

ข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถาม		จำนวน	
		คน	ร้อยละ
เพศ	ชาย	22	73.30
	หญิง	8	26.70
อายุ	ต่ำกว่า 25 ปี	3	10.00
	ระหว่าง 25-30 ปี	10	33.30
	ระหว่าง 31-40 ปี	15	50.00
	ระหว่าง 41-50 ปี	2	6.70
	ตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไป	-	0.00
ระดับการศึกษา	ประถมศึกษา	-	0.00
	มัธยมศึกษาหรือเทียบเท่า	5	16.70
ระดับการศึกษา	อนุปริญญาหรือเทียบเท่า	10	33.30
	ระดับปริญญาตรี	13	43.30
	สูงกว่าปริญญาตรี	2	6.70
	อื่น ๆ โปรดระบุ.....	-	0.00
อาชีพ	ครู/อาจารย์	5	16.70
	เจ้าหน้าที่	4	13.30
	นักศึกษา	5	16.70
	ธุรกิจส่วนตัว	6	20.00
	อื่น ๆ โปรดระบุ.....	-	0.00
ท่านมีความสนใจในการใช้งานของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT หรือไม่	1 มีความสนใจ	30	100
	2 ไม่มีความสนใจ	-	0.00

จากตารางที่ 10 พบว่า ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT มีผู้ตอบแบบประเมินทั้งสิ้น 30 คน แบ่งเป็น เพศชาย 22 คน คิดเป็นร้อยละ 73.30 เพศหญิง จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 26.70 และข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถามที่มีความสนใจในการใช้งานของระบบควบคุมการวัดค่า

อุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT หรือไม่ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถาม มีความสนใจจำนวน 30 คน คิดเป็นร้อยละ 100

ตารางที่ 11 แบบประเมินความพึงพอใจการใช้งานของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	$\bar{X}$	S.D.	ความพึงพอใจ
1.ด้านความสำคัญของเทคโนโลยี IoT			
1.1 เทคโนโลยี IoT มีความจำเป็นและสำคัญในยุคปัจจุบันทำให้มีความสะดวกสบายยิ่งขึ้น	4.83	0.38	ดีมาก
1.2 การนำเทคโนโลยี IoT มาใช้ทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมดูแลสั่งงาน การทำงานของระบบต่าง ๆ ได้ จากทุกที่ทุกเวลา ทันต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้	4.93	0.25	ดีมาก
1.3 Internet of Things มีความเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของคนในยุคปัจจุบัน	4.67	0.48	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	4.81	0.37	ดีมาก
2.ด้านความสามารถของระบบ			
2.1 แสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าได้	4.90	0.31	ดีมาก
2.2 แสดงการแจ้งเตือนกรณีพลังงานไฟฟ้าขัดข้องได้	4.40	0.50	ดี
2.3 สามารถควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้	4.73	0.45	ดีมาก
2.4 สามารถใช้งานระบบหรือสั่งการผ่านสมาร์ทโฟนได้จากทุกที่ ทุกเวลาที่มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้	4.83	0.38	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	4.72	0.41	ดีมาก
3.ด้านประโยชน์และการใช้งาน			
3.1 ผู้ควบคุมระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ทำให้ผู้ใช้งานสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น	4.67	0.48	ดีมาก
3.2 ช่วยให้ผู้ใช้งานมีการจัดการที่ดีขึ้น ตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิน	4.90	0.31	ดีมาก
3.3 ระบบช่วยควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีคุณภาพและเพิ่มความปลอดภัยจากการสัมผัสอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรง	4.47	0.51	ดี
ค่าเฉลี่ย	4.68	0.43	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด	4.74	0.40	ดีมาก

จากตารางที่ 11 พบว่า แบบประเมินความพึงพอใจการใช้งานของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT มีโดยรวมพบว่า มีความพึงพอใจในระดับดีมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.74 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.40 โดยที่ด้านความสำคัญของเทคโนโลยี มีความพึงพอใจในระดับที่ดีมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.81 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.37 รองลงมา ด้านความสามารถของ

ระบบ มีความพึงพอใจในระดับที่ดีมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.72 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.41 และด้านประโยชน์และการใช้งาน มีความพึงพอใจในระดับที่ดีมาก ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.68 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.43 ตามลำดับ

4. อภิปรายผลและสรุปผล

ผลการพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT พบว่า ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT อย่างเป็นระบบเพราะได้นำเอาแนวคิดกระบวนการ เทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวมีขั้นตอนที่ชัดเจน ที่เริ่มตั้งแต่ขั้นตอน ในการศึกษาปัญหาและความต้องการของผู้วิจัย จากนั้นได้รวบรวมข้อมูล เลือกวิธีการออกแบบและสร้าง ทดสอบ ปรับปรุงแก้ไข และประเมินผล ทำให้สิ่งที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ไขปัญหาและตอบสนองความต้องการของผู้วิจัย ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดที่ว่า ในปัจจุบันเทคโนโลยีเครือข่ายและเครือข่ายไร้สายได้เข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้นในชีวิตประจำวัน และ IoT (Internet of Things) ที่กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบันที่สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เข้าไว้ด้วยกันได้ โดยผ่านระบบอินเทอร์เน็ตซึ่งในจุดนี้สามารถนำมาใช้ในการสื่อสารกับอุปกรณ์ที่ใช้วัดพลังงานไฟฟ้าได้เพื่อสร้างระบบเครือข่ายให้สามารถนำข้อมูลจากอุปกรณ์มาเก็บได้อย่างอัตโนมัติ เพื่อลด ความยุ่งยากในการจัดเก็บข้อมูลและการนำมาใช้งาน [9].

ผลการทดสอบประสิทธิภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT มีระดับความคิดเห็นในภาพรวม มีระดับการทดสอบประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 100 ดังนั้น ระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำงานได้จริงตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธรรมรัฐ มนุธรรมธร ที่ว่า อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ประกอบด้วย Node MCU โมดูลวัดไฟฟ้า ผลที่ได้คืออุปกรณ์ทุกตัวสามารถทำงานได้ปกติอุปกรณ์ส่งข้อมูลได้ถูกต้องใน การทดสอบ ไม่มีปัญหาในการส่งค่าเข้าไบบันทึกลงในฐานข้อมูลตามที่กำหนดไว้ [10].

ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ในภาพรวม มีระดับความคิดเห็น

ในภาพรวม อยู่ในระดับที่มีคุณภาพดีมาก มีค่าเฉลี่ย 4.66 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.44

ผลการประเมินความพึงพอใจการใช้งานของระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT จากการที่ผู้วิจัยได้ทำการสาธิต และถ่ายทอดการใช้ระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT ให้กับผู้ใช้งานนั้น โดยรวมพบว่า มีความพึงพอใจในระดับดีมาก

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและให้ข้อเสนอแนะแนวทางในการจัดทำงานวิจัยเป็นอย่างดี และที่สำคัญอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณนางสาวศิริรัตน์ ผดุงดี ภรรยาที่ได้ให้การสนับสนุนทุกอย่างของการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณนายเตมีย์ วงษ์ศรี นายธฤต อย่างรัมย์ ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ และด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรม อาจารย์ ดร.สุรีย์ฉาย สุนันธรัตน์ อาจารย์ ดร.เรวัฒน์ เตมิกกล้า อาจารย์สุรัตน์ สุขมัน นายทวิสิทธิ์ เจริญดี และนายวิษณุ ภูวจิตร ผู้เชี่ยวชาญในการประเมินคุณภาพการพัฒนาระบบควบคุมการวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT จนการดำเนินการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ตลอดจนให้ข้อคิดต่างๆ อันก่อให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าและเป็นแนวทางในการจัดทำงานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าของบทความ เอกสาร ตำราและหนังสือ ที่คณะผู้วิจัยใช้ในการสืบค้นในบรรณานุกรมท้ายเล่มทุกท่าน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] External Communications Division Corporate Communications and Public Relations Department EGAT. Record Highest Annual Power Demand [Online]. (2021). [Cited July 14, 2022]. Available: <https://shorturl.asia/WurFh>.

- [2] Office of Jobs and Energy Plans. Usage Trends.
[Online]. (2021) [Cited July 15, 2022]. Available :
<http://www.eppo.go.th/epposite/index.php/th/electricity#>.
- [3] T.Kamolchum, Internet of Things For Appliance Control and Energy Data Logger.[Online]. (2016).
[Cited July 15 ,2 0 2 2] . Available :
<https://citly.me/lqCUj>.
- [4] T.Boonpokkrong. “Power Quality Analysis : Case Study A.U.T Company Limited”. Ph.D dissertation, Engineerring Sripatum University, Bangkok, 2012 (in Thai).
- [5] Design and Technology. Technological Process.
Bangkok : Institute promotes the teaching of science and technology, 2011. (in Thai).
- [6] T.Silpcharu. *Research and statistical analysis with SPSS and AMOS*. (17th edition) Business R&D, 2017. (in Thai).
- [7] M.Songthong. *Principles of Statistics*. Bangkok. C.E.D U.K, 2014. (in Thai).
- [8] S.Chanchalor. *Measurement and Evaluation*. Bangkok. Plate Co., Ltd., Sumamfilm, 1999. (in Thai).
- [9] S.Wongpaiboon. The system measures the use of electricity over a wireless IPv6 network.[Online]. (2015). [Cited July 17, 2022]. Available : <https://citly.me/ca4F1>.
- [10] T.Manuthammathorm. Tham mathorn mansion prototype Management System. [Online]. (2019). [Cited July 19, 2022]. Available : <https://citly.me/ZA78c>.

**การวิจัยและพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมชุมชนเกษตรอัจฉริยะ
ด้วยเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
เพื่อลดการใช้สารเคมี สารพิษตกค้างและติดตามสถานการณ์การเจริญเติบโตของพืช
Research and develop innovative model for the smart farm
community as well unmanned aerial vehicle technology and the
Internet of things to reduce the use of chemicals residue
And monitoring of plant growth**

เที่ยง เหมียดไธสง^{1*} และ ศิวาพร เหมียดไธสง²

Thiang Meadthaisong ^{1*} and Siwaporn Meadthaisong²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

²สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ประยุกต์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

¹Department of Electrical Technology , Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University

²Department of computer apply , Faculty Of Information Technology, Phetchaburi Rajabhat University

*Email: thiangoneone@gmail.com

Received: December 19, 2022; Revised: February 27, 2023; Accepted: March 20, 2023

บทคัดย่อ

ปัญหาสารพิษตกค้างเป็นปัญหาที่สำคัญของผู้ผลิตและผู้บริโภค จากการตรวจเลือดเกษตรกรทั้งสิ้น 317,051 ราย พบว่าในจำนวนนี้ 107,820 ราย มีผลตรวจเลือดอยู่ในระดับไม่ปลอดภัย นั้นหมายถึงจำนวน 34 เปอร์เซ็นต์ หรือ 1/3 ของ เกษตรกรมีความไม่ปลอดภัยจากการใช้สารเคมี บทความนี้นำเสนอ นวัตกรรมชุมชนเกษตรอัจฉริยะเพื่อการลดการใช้สารเคมี และสารพิษในสวนกล้วยหอมทอง ตำบลท่าแลง อำเภอยาง่าง จังหวัดเพชรบุรี โดยออกแบบระบบเงื่อนไขการทดสอบ ประกอบด้วยฮาร์ดแวร์ 5 ส่วน คือ 1) โหนดเซนเซอร์ตรวจวัดธาตุอาหารพืช ไนโตรเจน(N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) 2) โหนดเซนเซอร์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (PH) 3) โหนดเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นแสง เซนเซอร์ตรวจวัด ความชื้นในดิน และเซนเซอร์วัดตรวจอุณหภูมิในดิน 4) โหนดเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความกดดันบรรยากาศ 5) โหนดฐานประกอบด้วยระบบWIFI และ Air card ส่วนซอฟต์แวร์ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) โปรแกรมอาดูโนเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการอ่านค่าข้อมูลโหนดเซนเซอร์ 4 โหนด 2) โปรแกรมเวิร์ดเพรส สำหรับการสร้างเว็บไซต์ 3) โปรแกรม PHP สำหรับการจัดการฐานข้อมูล ผลการวิจัยได้ทดสอบใน 6 ส่วนคือ 1)สภาพแวดล้อมในการทดสอบพบว่า การติดตั้งโหนดเซนเซอร์ห่างจากโหนดฐาน 20-30 เมตร ระหว่างโหนดเซนเซอร์ 20-25 เมตร 2) การทดสอบเสถียรภาพของเซนเซอร์พบว่า เซนเซอร์ทำงานได้สมบูรณ์โดยสามารถตรวจวัดสภาพอากาศและสภาพของดินโดยมี ความถูกต้องของข้อมูล 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวิเคราะห์ในแต่ละเซนเซอร์พบว่า เซนเซอร์โหนด NPK โดยมีค่าธาตุอาหารไนโตรเจน(N)เฉลี่ย 130 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ธาตุอาหารฟอสฟอรัส (P) เฉลี่ย 28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ ธาตุอาหารโพแทสเซียม (K) เฉลี่ย 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเป็นกรด-ด่าง พบว่ามีค่าอยู่ที่ 6.5 เป็นค่าที่เหมาะสมในการปลูกกล้วยหอม ความชื้นในดินอยู่ที่ 55 % และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28 องศาเซลเซียส 3) การทดสอบการส่งข้อมูล ทดสอบการส่งข้อมูลแต่ละโหนดเซนเซอร์ไปยังโหนดฐาน

พบว่า ข้อมูลที่ถูกบันทึกในฐานข้อมูลของโหนดฐาน ถูกต้อง 90 เปอร์เซ็นต์ การส่งข้อมูลจากโหนดฐานไปยังโฮส เป็นการส่งข้อมูลผ่านระบบ Wi-Fi ข้อมูลที่ส่งไปยังโฮสพบว่าข้อมูลมีความถูกต้อง 80 เปอร์เซ็นต์ 4) การแสดงผลส่วนสำคัญคือ เมนูแสดงสถานะตรวจวัด 1 และ 2 ภายในสถานะตรวจวัด 1 และ 2 จะมีเมนูย่อย โหนดที่ 1 – โหนดที่ 4 และการปิดเปิดรีเลย์ 5) ผลการทดสอบการวิเคราะห์พืชด้วยอากาศยานไร้คนขับ พบว่า ต้องทำการบินที่ระดับความสูง 15 เมตร เมื่อวิเคราะห์ภาพ A จะพบว่า มีความสมบูรณ์ของกล้วยมากกว่า ภาพ B และภาพ C ในภาพรวมจะพบว่า ความสมบูรณ์ของกล้วย จะสมบูรณ์จากภาพ A สมบูรณ์มากที่สุด ภาพ B สมบูรณ์ระดับปานกลาง และภาพ C กล้วยถูกเชื้อราเข้าทำลายใบแห้ง เสียหายสมบูรณ์น้อยสุด 6) การนำเทคโนโลยีลงสู่ชุมชนจะถ่ายทอดในลักษณะของการร่วมกันสร้างและเรียนรู้ไปด้วยกันโดยเกษตรกรที่รับการถ่ายทอดจะเป็นเกษตรกรรุ่นใหม่ที่มีอายุ 25-30 ปี

คำสำคัญ : เกษตรอัจฉริยะ, นวัตกรรมชุมชน, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, อากาศยานไร้คนขับ

Abstract

Pesticide residues pose a significant problem for both producers and consumers. In a study conducted on 317,051 farmers, 107,820 were found to have unsafe levels of pesticides in their blood, which amounts to 34% or one-third of the farmers being at risk from chemical exposure. This article presents the Smart Agricultural Community Innovation for Chemical and Toxin Reduction in Hom Thong Banana Plantation, located in Tha Lang Sub-district, Tha Yang District, Phetchaburi Province. The system consists of five hardware components: (1) sensor nodes to measure plant nutrients, including nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K); (2) sensor nodes to measure pH; (3) light intensity sensor nodes, soil moisture sensor, and soil temperature sensors; (4) temperature sensor nodes, relative humidity, and barometric pressure; and (5) the base node, which includes WIFI and Air card systems. The software used in this system comprises three parts: (1) Arduino program used to read data from the four sensor nodes; (2) Word press program for creating websites; and (3) PHP programs for database management. The research was tested in six parts: (1) installation of the sensor nodes at a distance of 20-30 meters from the base node and 20-25 meters between the sensor nodes; (2) a sensor stability test that found the sensors to be fully functional, with an accuracy of 80% in measuring weather and soil conditions. Analysis of the data obtained from each sensor node found that the nutrient nitrogen (N) value was 130 mg/kg, phosphorus (P) averaged 28 mg/kg, and potassium (K) averaged 80 mg/kg. The pH value was 6.5, which is suitable for growing bananas, and the soil moisture was 55%, with an average temperature of 28°C; (3) a data transmission test that found the data recorded in the database of the base node to be up to 90% accurate, and data transmitted via WiFi to be 80% accurate; (4) the main display menu showing measuring stations 1 and 2, with a node sub-menu at node1 – node 4 and relay on and off; (5) An unmanned aerial plant analysis test that found flying at an altitude of 15 meters. Analysis of picture found that the bananas were more mature than in picture B, and figure C showed damage caused by fungi on the banana leaves; (6) the system will be transferred to the community in the form of co-creation and learning together, with the target new farmers aged 25-30 years old.

Keywords: Smart Agriculture, Community Innovation, Internet of Things, Unmanned Aerial Vehicles.

1. บทนำ

ปัญหาสารเคมีเกษตรมีผลกระทบต่อผู้บริโภคและเกษตรกร เป็นปัญหาใหญ่ของประเทศ จากการสำรวจของ ไทยแพน (Thai-pan) พบว่า ข้อมูลตั้งแต่ปี 2546-2555 มีผู้ป่วยที่ได้รับพิษจากสารเคมีที่ใช้กำจัดศัตรูพืชเฉลี่ยปีละ 1,734 ราย สำหรับผลการตรวจปี 2555 ทำการตรวจเกษตรกรไปทั้งสิ้น 244,822 ราย พบเกษตรกรที่มีผลตรวจเลือดอยู่ในระดับไม่ปลอดภัยจำนวน 75,749 ราย คิดเป็น 30.94 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปี 2556 ทำการตรวจเกษตรกรไปทั้งสิ้น 314,805 ราย ในจำนวนนี้พบผลตรวจเลือดอยู่ในระดับไม่ปลอดภัยจำนวน 96,227 ราย คิดเป็น 30.54% และในปี 2557 ที่ได้ทำการตรวจเกษตรกรไปทั้งสิ้น 317,051 ราย พบว่าในจำนวนนี้ 107,820 ราย มีผลตรวจเลือดอยู่ในระดับไม่ปลอดภัย นั่นหมายถึงจำนวน 34 เปอร์เซ็นต์ หรือ 1/3 ของเกษตรกรมีความไม่ปลอดภัยจากการใช้สารเคมีเกษตรข้อมูลในส่วนนี้จะบอกว่า ทิศทางความเสี่ยงของเกษตรกร ผู้ที่มีการสัมผัสมากที่สุดนั้นยังไม่ได้ลดลงเมื่อดูตามรายจังหวัด จังหวัดที่มีความเสี่ยงที่พบผู้ป่วยจากสารเคมีสูงที่สุดคือ จังหวัดสุโขทัย คิดเป็น 89 % อันดับต่อมา จังหวัดอุดรธานี และจังหวัดเลย คิดเป็น 75 % อันดับที 4 จังหวัดอำนาจเจริญ คิดเป็น 72% และอันดับที่ 5 จังหวัดเพชรบุรี คิดเป็น 68% ทั้งหมดเป็นความเสี่ยงที่เกินครึ่งทั้งหมด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอาการเจ็บป่วยเหล่านี้เกิดจากการสัมผัสด้วยการใช้การบริโภค ในแต่ละพื้นที่ซึ่งมีความเสี่ยงสูงมาก[1]

จากการศึกษาการปลูกพืชพบว่า สิ่งที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืชจะศึกษาใน 2 ปัจจัยคือสภาพความสมบูรณ์ของดินและสภาพอากาศ สำหรับบทความนี้ได้เน้นการเติบโตของพืชในส่วนของสภาพดินซึ่งคือธาตุอาหารหลักได้แก่ค่า NPK โดยธาตุอาหารในดินที่มีความสมบูรณ์โดยเฉลี่ยของ ไนโตรเจน(N) มีค่า 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) ธาตุอาหารนี้จะช่วยในการสังเคราะห์แสงสร้างคลอโรฟิลล์ ทำให้พืชมีใบสีเขียว ลำต้นแข็งแรง ธาตุฟอสฟอรัส (P) มีค่า 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(mg/kg) ช่วยในการออกดอก ผสมเกสร เร่งสร้างผล และธาตุโพแทสเซียม (K) มีค่า 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) ธาตุอาหารนี้จะช่วยเร่งสร้างผล สร้างเมล็ด แป้งและน้ำตาล

ความเป็นกรด-ด่าง (PH) ของดิน มีความสำคัญในการทำให้พืชดูดซึมแร่ธาตุอาหารต่างๆได้ดีโดยระดับความเป็นกรด-ด่างแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ 1) ค่า PH 4.0-6.0 เป็นกรด 2) PH 6.0-7.0 เป็นกลาง 3) PH 7.0-10.0 เป็นด่าง ทั้ง 3 ช่วงจะมีความสำคัญในการดูดซึมแร่ธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ธาตุแต่ละชนิดและพืชที่ปลูก

สภาพความชื้นในดินเป็นตัวแปรที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง โดยสามารถแบ่งระดับความชื้นดินเป็น 4 ระดับคือ 1) ความชื้น 70%-100% สภาวะนี้เป็นอันตรายต่อพืช ถ้าเกิดขึ้นเป็นเวลานานจะทำให้เกิดโรคเชื้อรา และโรครากเน่า 2) ความชื้น 50%-69% เป็นสภาวะความชื้นที่เหมาะสมกับพืช 3) ความชื้น 30%-49% เป็นสภาวะที่ดินแห้งจะต้องให้น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับดิน 4) 1%-39% สภาวะนี้จะทำให้พืชแห้งเหี่ยวและตายในที่สุด สำหรับอุณหภูมิในดินจะมีค่าที่เหมาะสม 20-30 องศาเซลเซียส ตัวแปรสภาพดินต่างๆที่กล่าวข้างต้นมีความสำคัญต่อการปลูกพืชและดูแลพืช สำหรับการเกษตรแบบดั้งเดิมจะไม่มีข้อมูลและสามารถกำหนดและวิเคราะห์ความต้องการได้ ทำให้เกษตรกรใส่ปุ๋ยเคมีซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักเกินความจำเป็น ทำให้ปุ๋ยที่ใส่เกินความจำเป็นเหลือจากการใช้งานของพืชเป็นสารตกค้างทำให้พืชไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเกินความจำเป็น ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างซึ่งมีความสำคัญในการดูดซึมแร่ธาตุอาหารถ้าขาดข้อมูลนี้จะทำให้การใส่ปุ๋ยเกินความจำเป็นเช่นเดียวกัน ส่วนสภาพอากาศเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่เกษตรกรจะต้องมีข้อมูล ในการบริหารจัดการ สภาพอากาศเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดโรคและแมลง โดยเฉพาะความชื้นสัมพัทธ์ถ้ามีความชื้นสูงจะทำให้เกิดโรคเชื้อรา ระบาด และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะทำให้เพลี้ยระบาด เป็นต้น การขาดเทคโนโลยีและเครื่องมือสมัยใหม่ทำให้เกษตรกรใช้สารเคมีสารพิษเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการตกค้างสารพิษในดินและพืชเป็นจำนวนมาก ผลการตรวจเลือดของเกษตรกรจึงอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย การหาทางแก้ปัญหาด้วยระบบระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทุกคนเข้าถึงได้ทุกที่ทุกเวลา สามารถจัดการเรื่องยากให้เป็นเรื่องง่ายได้ จึงเป็นสิ่งที่จะต้องดำเนินการให้เป็นรูปธรรมกับชุมชนโดยเฉพาะการนำเทคโนโลยีเข้าสู่ชุมชนให้ชุมชนมีส่วนร่วม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการแสดงให้เกษตรกรเห็นปัจจัย 2 ปัจจัยข้างต้นคือ สภาพ

ความสมบูรณ์ของดิน และสภาพอากาศมีความสำคัญและจำเป็นสำหรับการปลูกพืชการให้ปุ๋ยการฉีดยากำจัดศัตรูพืช

การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาในการทำเกษตรอัจฉริยะจะศึกษาเพียงสภาพอากาศเป็นหลักเช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ แสงสว่าง และความชื้นในดิน เป็นหลัก แต่ในความเป็นจริงยังมีตัวแปรของสภาพดินเป็นตัวแปรที่สำคัญในการปลูกพืช คือ ธาตุอาหารหลัก ความเป็นกรด-ด่าง ความชื้นในดินและอุณหภูมิในดิน ผู้วิจัยมองเห็นความสำคัญของการวิจัยที่จะต้องมีการศึกษาและผสมผสานระหว่างตัวแปรสภาพดินและสภาพอากาศเพื่อการปลูกพืชในระบบการผลิตสมัยใหม่ และต้องการให้เกษตรกรได้เข้าถึงข้อมูลด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งการนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช เพราะที่ผ่านมามีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี มักจะสร้างเทคโนโลยีแล้วนำไปให้เกษตรกรใช้ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้เกษตรกรใช้เทคโนโลยีในระยะแรกแต่เมื่อการวิจัยสิ้นสุดลง เกษตรกรจะเลิกใช้เนื่องจากเทคโนโลยีและวิธีการในการใช้งาน องค์กรความรู้ไม่ได้เกิดจากการเรียนรู้และการสร้างสรรค์ของชุมชนเอง ทำให้เกิดการสูญเปล่าทางเทคโนโลยี และทรัพยากร

ในบทความนี้จะนำเสนอ ต้นแบบนวัตกรรมชุมชนเกษตรอัจฉริยะด้วย เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อลดการใช้สารเคมี สารพิษตกค้างและติดตามสถานการณ์การเจริญเติบโตของพืช

2.วิธีการวิจัย

2.1 ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) หรือ ไอโอที (IOT) หมายถึงเครือข่ายของวัตถุ อุปกรณ์ พาหนะ สิ่งปลูกสร้าง และสิ่งของอื่นๆ ที่มีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ เซ็นเซอร์ และการเชื่อมต่อกับเครือข่าย ฝังตัวอยู่ และทำให้วัตถุเหล่านั้นสามารถเก็บบันทึกและแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งทำให้วัตถุสามารถรับรู้สภาพแวดล้อมและถูกควบคุมได้จากระยะไกลผ่านโครงสร้างพื้นฐานเครือข่ายที่มีอยู่แล้วทำให้เราสามารถผสานโลกกายภาพกับระบบคอมพิวเตอร์ได้แนบแน่นมากขึ้น ผลที่ตามมาคือประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และประโยชน์ทางเศรษฐกิจที่เพิ่มมากขึ้น [2]

มีนักวิจัยพัฒนางานวิจัยด้านเกษตรอัจฉริยะได้มีการพัฒนาระบบ เช่น งานวิจัย [3] พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้ IOT สำหรับการตรวจสอบพื้นที่การเกษตรและเงื่อนไขต่างๆ ด้วยการใช้บอร์ด โหนด เอ็ม ซี ยู (Node MCU) แบบโอเพนซอร์ส (Open source) สามารถสร้างเซ็นเซอร์ให้ตรวจสอบอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความชื้นในดิน และสามารถแจ้งเตือนเกษตรกรให้ตรวจสอบสถานะของสปริงเกอร์ในการเปิดให้น้ำจากระยะไกล [4] การพัฒนาระบบที่เป็นบริการ IOT ช่วยในการแบ่งปันข้อมูลที่สามารถทำการประมวลผลด้วยเทคนิค บิ๊กดาต้า(Big Data) โดยเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบคลาวด์ (Cloud)การสร้างและออกแบบระบบดังกล่าวโดยใช้โมดูลกล้องสำหรับเก็บภาพข้อมูล ซึ่งโมดูลนี้ช่วยในการจับภาพที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ชนิดของใบพืชว่าเป็นโรคอะไรหรือไม่ [5] การพัฒนาระบบที่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดินและการเคลื่อนไหวของสัตว์ซึ่งอาจทำลายพืชผลในแปลงเกษตรผ่านเซ็นเซอร์ตรวจจับโดยใช้บอร์ด อาร์ดูโน้ (Arduino) และในกรณีที่เมื่อข้อขัดข้องให้ส่ง เอส เอ็ม เอส การแจ้งเตือน ระบบมีลิงค์การสื่อสารแบบสองทาง สามารถตรวจสอบข้อมูลและการให้น้ำพืชตลอดจนการตั้งเวลาให้ทำงานโดยตั้งโปรแกรมผ่านแอปพลิเคชันแอนดรอยด์ [6] เป็นการพัฒนา Wireless Sensor Network (WSN) ใช้ในการแก้ปัญหาตามเวลาจริง (Real Time) มีการพัฒนาเซ็นเซอร์แบบไร้สายในการตรวจวัดสภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ระบบการให้น้ำอัตโนมัติ โหนดเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการตรวจสอบพืชผล อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดิน และการโจรกรรมอื่น ๆ ซึ่งช่วยเพิ่มผลผลิตของเกษตรกร [7] พัฒนาระบบ IOT ที่ประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดค่า PH เซ็นเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิในดิน เซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ , โพรบเซ็นเซอร์ตรวจวัดสารอาหารในดิน ค่าNPK โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ติดตั้ง Wi-Fi ในตัว และ ระบบ คลาวด์ สำหรับจัดเก็บข้อมูล เซ็นเซอร์จะวัดค่าสภาพแวดล้อมและส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์คลาวด์ เซ็นเซอร์เหล่านี้ทำงานร่วมกันและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่เกษตรกรและนักวิเคราะห์ อัลกอริทึม และแผนผังการตัดสินใจ ค่าข้อมูลดินที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชในฟาร์มจะถูกวิเคราะห์และนำไปใช้งาน [8] การตรวจหาโรคพืชอย่างทันท่วงที่เป็นสิ่งสำคัญในการป้องกัน

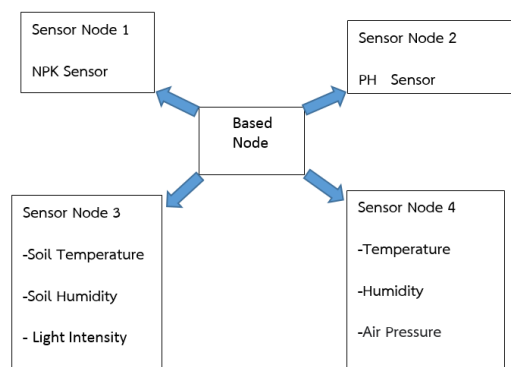
โรคระบาดและเพื่อลดผลกระทบต่อพืชผล มากที่สุด อัลกอริทึมอัตโนมัติที่แม่นยำสำหรับการระบุโรคพืชโดยใช้ภาพพืชไร่ นั้นขึ้นอยู่กับความลึกการเรียนรู้ การศึกษานี้ แนะนำอัลกอริทึม Few-Shot Learning (FSL) สำหรับใบพืช [9] พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการตรวจจับและป้องกันการแพร่กระจายของโรคสู่พืชผลและผลในการผลิตพืชผล คุณภาพสูง ฐานข้อมูลของใบต่างๆรูปภาพถูกสร้างและประมวลผลโดยใช้รูปภาพ k-Means [10] พัฒนาอุปกรณ์ IOT ด้วยระบบคลาวด์อัลกอริทึมแผนผังการตัดสินใจ การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ที่มีประสิทธิภาพ อัลกอริทึมถูกนำไปใช้กับข้อมูลที่ ทำนายผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ที่ได้ผ่านอัลกอริทึมแผนผังการตัดสินใจจะถูกส่งผ่านการแจ้งเตือนทางอีเมลไปยังเกษตรกร ซึ่งช่วยในการตัดสินใจล่วงหน้าในการจัดหาน้ำ [11] นำเสนอสถาปัตยกรรมระบบและการใช้งานที่ขยายความเป็นไปได้ของแอปพลิเคชันการเกษตรและการทำฟาร์มอัจฉริยะด้วยการประมวลผล Edge and Fog และเทคโนโลยี LPWAN สำหรับการครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ นำเสนอและใช้ระบบที่ประกอบด้วยโหนดเซ็นเซอร์ เกตเวย์ Edge ตัวทำซ้ำ LoRa เกตเวย์ Fog เซิร์ฟเวอร์คลาวด์ และแอปพลิเคชันเทอร์มินัลของผู้ใช้ ที่เลเยอร์ Edge [12] นำเสนอการออกแบบและการทดลองระบบเกษตรอัจฉริยะซึ่งใช้ความสามารถในการทำนายเหตุการณ์ในฟาร์มโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI)

จากงานวิจัย[3-12] มีรูปแบบการพัฒนาที่ขึ้นอยู่กับการใช้เทคโนโลยีและพื้นที่ที่แตกต่างกัน ขาดการเจาะลึกลงไปในการตรวจวัดสภาพดิน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความชื้นกับการดูแลพืชและการมีส่วนร่วมของชุมชน จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่การตรวจวัดสภาพดิน และตรวจวัดสภาพอากาศ การเก็บข้อมูล การแสดงผลข้อมูล และการถ่ายทอดลงสู่ชุมชน

2.2 กรอบแนวคิดในการพัฒนาระบบเกษตรอัจฉริยะ

การพัฒนาระบบได้ออกแบบระบบประกอบด้วย 5 ส่วน คือ 1) โหนดเซ็นเซอร์ตรวจวัดธาตุอาหารพืช NPK 2) โหนดเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง(PH) 3) โหนดเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน และเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในดิน 4) โหนดเซ็นเซอร์ตรวจวัด อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความกดดัน

บรรยากาศ 5) โหนดฐานประกอบด้วยระบบWIFI และAir card ภาพรวมระบบแสดงดังรูปที่ 1

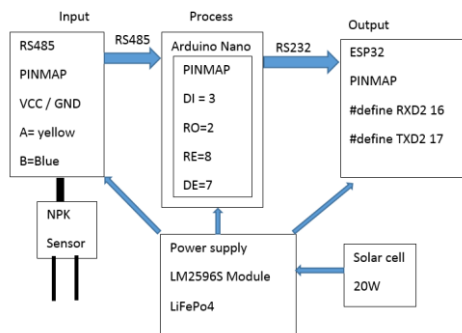


รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมภาพรวมของระบบ

2.3 การออกแบบและพัฒนาระบบ

2.3.1 เซนเซอร์โหนดตรวจวัดธาตุอาหารพืช NPK

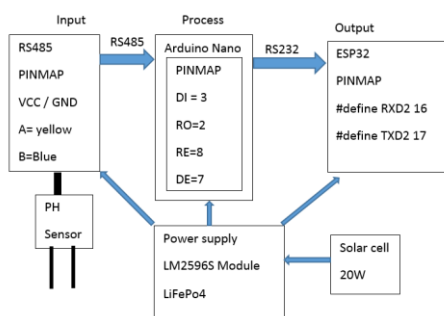
การออกแบบจะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1) การเก็บและจ่ายพลังงาน ในส่วนนี้จะรับพลังงานจากโซลาร์เซลล์ขนาด 10 วัตต์ จำนวน 2 แผ่น เพื่อมาประจุให้กับแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่จะใช้แบตเตอรี่ แบตลิเทียมฟอสเฟต ขนาดความจุแรงดัน 3.2 โวลต์ การแส 6.7 แอมแปร์/ชั่วโมง จำนวน 2 ก้อน BMS ควบคุมการชาร์จ BMS 2S 6.4 โวลต์ 8 แอมแปร์ ควบคุมการชาร์จและจ่ายพลังงานด้วยบอร์ด โมดูลเรกูเลเตอร์ แปลงไฟ 4-35 โวลต์ เป็น 1.25-35 โวลต์ LM2596S Module (3A) 2) ไมโคร คอนโทรลเลอร์ ESP32 ในส่วนนี้จะอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์ NPK ผ่านทาง RS232 เพื่อส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบอินเทอร์เน็ต 3) ชุดอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์ NPK การอ่านข้อมูลจะอ่านในรูปแบบ RS-485 ในส่วนนี้จะสร้างชุดอ่านข้อมูลจากเซนเซอร์ควบคุมการอ่านข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano ภาพรวมเซนเซอร์ตรวจวัดธาตุอาหาร NPK แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 บอร์ดเซนเซอร์ โหนด 1 NPK

2.3.2 เซนเซอร์โหนดตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างของดิน

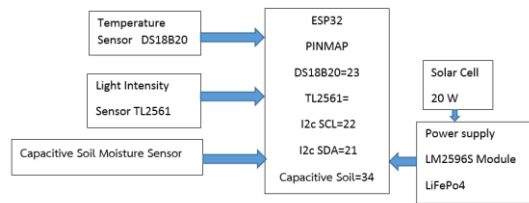
เซนเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง(PH) จะสามารถวัดค่า ได้ ในช่วง 3-9 PH ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1)ชุดจ่ายพลังงาน แบตเตอรี่ และโซล่าเซลล์2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นส่วนประมวลผล 3) ชุดRS485 สำหรับการส่งข้อมูลจาก เซนเซอร์และเซนเซนเซอร์ PH สำหรับเซนเซอร์ที่ใช้ในการ วัดค่าความเป็นกรด-ด่างแสดง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมเซนเซอร์โหนด 2 วัดค่าความเป็น กรด-ด่าง(PH)

2.3.3 เซนเซอร์โหนดตรวจวัดอุณหภูมิในดิน ความชื้นใน ดิน และ ความเข้มแสง

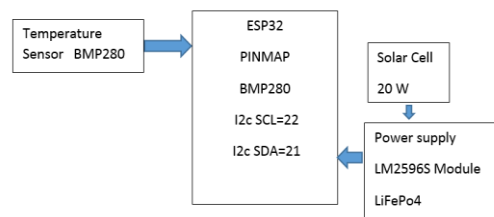
ชุดเซนเซอร์ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ 1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ESP32 สำหรับการอ่านค่าจาก เซนเซอร์ต่างๆเพื่อส่งไปยังโหนดฐาน 2) ชุดแบตเตอรี่สำหรับ ให้พลังงาน โดยสามารถประจุพลังงานจากโซล่าเซลล์ เซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิ และความชื้นในดิน ความเข้มแสงแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมเซนเซอร์โหนด 3 ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นในดิน และ ความเข้มแสง

2.3.4 เซนเซอร์โหนดตรวจวัด อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความกดดันบรรยากาศ

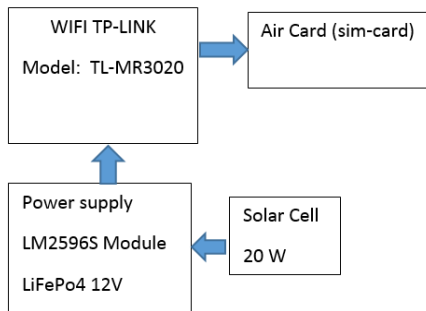
ชุดเซนเซอร์ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1) ไมโคร คอนโทรลเลอร์ ESP32 สำหรับอ่านค่าจากเซนเซอร์และส่ง ข้อมูลไปยังโหนดฐาน 2) ชุดแบตเตอรี่ที่จ่ายพลังงานและ สามารถชาร์จแบตเตอรี่จากโซล่าเซลล์ 3) เซนเซอร์ BMP280 ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เซนเซอร์โหนด 4 ตรวจวัด อุณหภูมิ ความชื้น สัมพัทธ์และความกดดันบรรยากาศ

2.3.5 โหนดฐาน

โหนดฐานเป็นโหนดสำหรับรับข้อมูลจากโหนดเซนเซอร์ เพื่อเก็บในโหนดฐานและทำการส่งไปยังโฮส ประกอบด้วย 1) WIFI TP-LINK รุ่น TL-MR3020 2) อาร์การ์ด 3) ระบบ จ่ายไฟ ใช้โซล่าเซลล์ขนาด 10 วัตต์ 2 แผ่น และแบตเตอรี่ LG 18650 จำนวน 8 เซลล์ ขนาดแรงดัน 12 โวลต์ โหนด ฐานแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 โหนดฐาน

2.3.6 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมเกษตรอัจฉริยะ

การพัฒนาโปรแกรมมีการใช้โปรแกรมต่าง ๆ ดังนี้

2.3.6.1 โปรแกรมอา두โนเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการอ่านค่าจากเซนเซอร์ทั้ง 4 โหนดเซนเซอร์และทำการประมวลผลส่งไปยังโหนดฐาน โปรแกรมแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 โปรแกรมอาดูโน

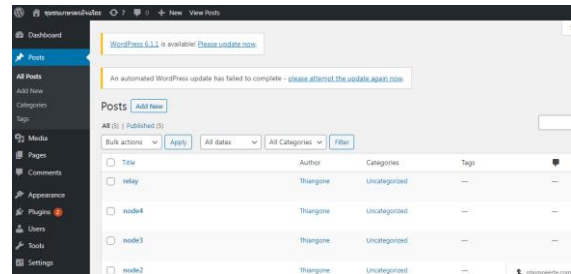
2.6.3.2 โปรแกรม WordPress เป็นโปรแกรมสำหรับการสร้างเว็บไซต์โดยการประยุกต์โปรแกรมให้สามารถรับค่าและแสดงผลสภาพอากาศและสภาพดินในพื้นที่ โปรแกรม WordPress เกษตรกรสามารถดาวโหลดมาใช้งานได้ฟรีไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ โดยสามารถดาวโหลดเพื่อใช้งานโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 หน้าจอ WordPress ในเว็บไซต์

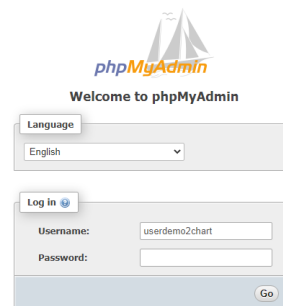
ที่มา: <https://th.wordpress.org/>

การใช้งานในการออกแบบหน้าเว็บไซต์ สามารถศึกษาได้จากแหล่งที่ดาวโหลดโปรแกรมและเว็บไซต์สอนการใช้งานต่างๆได้ โดยเมื่อติดตั้งระบบแล้วจะแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 หน้าจอโปรแกรม WordPress

2.6.3.3 โปรแกรม php เป็นโปรแกรมสำหรับการเก็บข้อมูลและการแสดงผลข้อมูลบนเว็บไซต์โปรแกรม PHP แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 โปรแกรม PHP

การแสดงผลบนเว็บไซต์สวนกล้วยหอมชุมชนเกษตรอัจฉริยะตำบลท่าแลง อำเภอยาง่าง จังหวัดเพชรบุรี เป็นชุมชนที่ปลูกกล้วยหอมส่งออกต่างประเทศและบริโภคภายในประเทศ หน้าจอประกอบด้วยเมนูหลักได้แก่ หน้าหลัก เกี่ยวกับเรา แสดงสถานีวิจัยวัด1 แสดงสถานีวิจัยวัด2 ติดต่อเรา แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 หน้าจอสวนกล้วยหอมกลุ่มชุมชนเกษตรอัจฉริยะ

3 ผลการวิจัย

3.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

สภาพแวดล้อมในการทดสอบจะทำการติดตั้งโหนดเซนเซอร์จำนวน 8 โหนดและโหนดฐาน 1 โหนด ทำการติดตั้งในสวนกล้วยหอมทอง แสดงดังรูปที่ 12 การติดตั้งโหนดเซนเซอร์ติดตั้งห่างจากโหนดฐานระยะ 20-30 เมตร ระยะห่างระหว่างโหนดเซนเซอร์ ระยะ 20-25 เมตร



รูปที่ 12 การติดตั้งโหนดเซนเซอร์และโหนดฐาน

การทดสอบจะทำการติดตั้งและอ่านข้อมูลเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อดูความเสถียรของระบบและการทำงานของเซนเซอร์แต่ละตัว ในการรับส่งข้อมูลของเซนเซอร์แต่ละอุปกรณ์ การส่งข้อมูลระหว่างโหนดเซนเซอร์และโหนดฐาน การส่งข้อมูลจากโหนดฐานเข้าสู่ระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อแสดงผลบนเว็บไซต์

3.2 ผลการทดสอบเสถียรภาพของเซนเซอร์

ในการทดสอบจะทำการเก็บค่าข้อมูลจากแหล่งกล้วยหอมจริงเป็นเวลา 1 เดือน โดยทำการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพดินดังรูปที่ 13 จากการทดสอบการเซนเซอร์พบว่า เซนเซอร์ทำงานได้สมบูรณ์โดยสามารถตรวจวัดสภาพอากาศและสภาพของดินโดยมีความถูกต้องของข้อมูล 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวิเคราะห์ในแต่ละเซนเซอร์พบว่า เซนเซอร์โหนด NPK โดยมีค่าธาตุอาหารไนโตรเจน(N)เฉลี่ย 130 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ธาตุอาหารฟอสฟอรัส (P) เฉลี่ย 28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ ธาตุอาหารโพแทสเซียม (K) เฉลี่ย 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งน้อยกว่าค่าความสมบูรณ์มาตรฐาน ซึ่งค่ามาตรฐานไนโตรเจน(N) มีค่า 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม(mg/kg) ธาตุฟอสฟอรัส (P) มีค่า 40 มิลลิกรัม

ต่อกิโลกรัม(mg/kg) และธาตุโพแทสเซียม (K) มีค่า 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) ข้อมูลนี้จึงมีความสำคัญสำหรับเกษตรกรในการปรับปรุงดิน ให้ได้ค่าตามค่าความสมบูรณ์ของดินมาตรฐาน

ความเป็นกรด-ด่าง(PH) พบว่ามีค่าอยู่ที่ 6.5 เป็นค่าที่เหมาะสมในการปลูกกล้วยหอม โดยค่ามาตรฐานอยู่ที่ 6.0-7.0 สำหรับความชื้นในดินเกษตรกรสามารถมอนิเตอร์ความชื้นผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้โดยพบว่า ความชื้นที่พืชต้องการจะถูกจำกัดอยู่ที่ 50%-59% ซึ่งขึ้นอยู่กับการให้น้ำของเกษตรกร จากระบบความชื้นอยู่ที่ 55 % อุณหภูมิเกษตรกรสามารถมอนิเตอร์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตและสามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 20-30 องศาเซลเซียสได้ จากระบบพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28 องศาเซลเซียส ข้อมูลเหล่านี้เกษตรกรจะสามารถนำไปวางแผนในการใส่ปุ๋ย ฝัดยากำจัดแมลงได้



รูปที่ 13 การติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพดิน

3.3 ผลทดสอบการส่งข้อมูล

การทดสอบการส่งข้อมูลจะทำการทดสอบใน 2 ลักษณะคือ 1) ทดสอบการส่งข้อมูลแต่ละโหนดเซนเซอร์ไปยังโหนดฐาน จากการทดสอบพบว่า การส่งข้อมูลจากโหนดเซนเซอร์ไปยังโหนดฐานสามารถส่งข้อมูลได้ถูกต้องโดยทำการทดสอบการส่งข้อมูลเป็นเวลา 1 เดือน พบว่า ข้อมูลที่ถูกบันทึกในฐานข้อมูลของโหนดฐาน ถูกต้องถึง 90 เปอร์เซ็นต์ 2) การส่งข้อมูลจากโหนดฐานไปยังโฮส เป็นการส่งข้อมูลผ่านระบบ Wi-Fi ข้อมูลที่ส่งไปยังโฮสพบว่าข้อมูลมีความถูกต้อง 80 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 14

รูปที่ 14 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล

3.4 ผลทดสอบการแสดงผล

การแสดงผลส่วนสำคัญคือ เมนู แสดงสถานะตรวจวัด 1 และ 2 ภายในสถานะตรวจวัด 1 และ 2 จะมีเมนูย่อย โหนดที่ 1 – โหนดที่ 4 และการปิดเปิดรีเลย์ แสดงดังรูปที่ 15 เมื่อเข้าสู่เมนูโหนด จะแสดงผล ตารางข้อมูล กราฟ และเกจวัด ค่าสภาพดินและสภาพอากาศ การทดสอบให้ผู้ใช้งานเข้าใช้งานและทำตามคู่มือการใช้งานพบว่า สามารถใช้งานได้โดยทำตามคู่มือการใช้งานและแนะนำเบื้องต้น

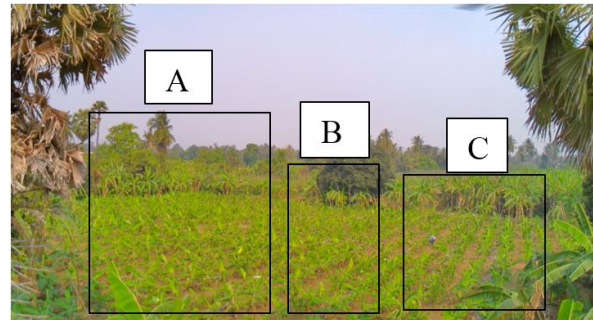


รูปที่ 15 หน้าเว็บไซต์ชุมชนเกษตรอัจฉริยะ

3.5 ผลการทดสอบการวิเคราะห์พืชด้วยอากาศยานไร้คนขับ

จากการถ่ายภาพทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ แสดงดังภาพที่ 16 เป็นกล้วยหอมทองรุ่นที่ 2 พบว่าต้องทำการบินที่ระดับความสูง 15 เมตร ถ้าบินต่ำกว่าระดับ 15 เมตร ใบกล้วยจะโดนลมจากใบพัดอากาศยานเสียหาย ในภาพ A ได้ทดลองบินต่ำกว่า 15 เมตร ใบกล้วยจะเกิดการพับ และเสียหาย เมื่อวิเคราะห์ภาพ A จะพบว่า มีความสมบูรณ์ของกล้วยมากกว่า ภาพ B และภาพ C ในภาพรวมจะพบว่า ความสมบูรณ์ของกล้วย จะสมบูรณ์จากภาพ A สมบูรณ์มากที่สุด ภาพ B สมบูรณ์ระดับปานกลาง และภาพ C กล้วยถูกเชื้อราเข้าทำลายใบแห้งเสียหาย จึงทำให้การ

เติบโตน้อยกว่า ภาพ A และ ภาพ B จากภาพเกษตรกรรมสามารถมองเห็นภาพรวมทั้งหมดของแปลงกล้วยหอมได้ และได้ทำการแก้ไขบริเวณกล้วยหอมภาพ C และคอยเฝ้าระวังโดยการบินสำรวจเป็นระยะ



รูปที่ 16 ภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ

3.6 การนำเทคโนโลยีลงสู่ชุมชนอัจฉริยะ

การนำเทคโนโลยีลงสู่ชุมชนจะถ่ายทอดในลักษณะของการร่วมกันสร้างและเรียนรู้ไปด้วยกัน ปัจจุบันในระบบการผลิต ศักยภาพและข้อจำกัดของชุมชนตำบลท่าแลง ส่วนใหญ่มีสวนกล้วยหอมเป็นของตนเอง มีแม่น้ำเพชรบุรี และคลองชลประทาน สำหรับการเพาะปลูก มีอุปกรณ์ในการทำเกษตรเป็นของตนเอง พึ่งแรงงานสำหรับระบบการผลิตในชุมชน

กลยุทธ์ทางเลือกในการบรรลุเป้าหมายการผลิตในปัจจุบัน เกษตรกรจะทำการผลิตโดยใช้กลยุทธ์การปลูกพืชแบบผสมผสานเพื่อการเก็บผลผลิตในแต่ละช่วงเวลาที่มีลำดับการให้ผลผลิต ได้แก่ ปลูกข้าวโพด พริก มะละกอ กล้วยหอม และปลูกมะนาว แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 17 การปลูกพืชผสมผสาน พริก มะละกอ กล้วยหอม และปลูกมะนาว

การปลูกแบบผสมผสานจะปลูกพร้อมกันและไล่เลี่ยกัน แต่การเก็บเกี่ยว จะเก็บเกี่ยวตามช่วงเวลาที่แตกต่างกันตามอายุของพืชชนิดนั้นๆ การปลูกพืชแบบผสมผสานเป็นกลยุทธ์ของเกษตรกรชาวตำบลท่าแลง ทำให้การผลิตสามารถสร้างรายได้ตลอดระยะเวลาที่ปลูก โดยในระยะแรกผลผลิตที่ได้คือข้าวโพด ต่อมาเป็นพริก มะละกอ กลัวยหอมทอง และสุดท้ายจะเป็นมะนาว สำหรับงานวิจัยนี้จะติดตั้งอุปกรณ์เพื่อศึกษาและทดลอง กลัวยหอมทอง ส่วนมะนาว จะเป็นการศึกษาระยะต่อไป

การจัดการระบบการผลิต เกษตรกรจะเลือกต้นพันธุ์มะนาวและกลัวยหอมในชุมชนเป็นหลักไม่ได้นำมาหรือซื้อจากที่อื่น เนื่องจากพันธุ์กลัวยหอมทองทำอย่างเป็นกลัวยหอมที่ต้องการของตลาด มะนาวเป็นกิ่งพันธุ์มะนาวจากต้นพันธุ์ในชุมชนและเป็นมะนาวที่ให้ผลดีมีคุณภาพเช่นเดียวกัน เกษตรกรจะมีการวางแผนการใส่ปุ๋ยและฉีดยาจากประสบการณ์ที่ถ่ายทอดกันมา

ทางเลือกเกษตรกรอัจฉริยะ การนำระบบเกษตรกรอัจฉริยะเข้าไปใช้ในชุมชน จะเริ่มจากการแนะนำเกษตรกรรุ่นใหม่ที่มีความสนใจในเทคโนโลยี โดยมีการวางแผนร่วมกัน ในการเก็บข้อมูลพื้นที่ สร้างความเข้าใจกับข้อมูล วางแผนการใส่ปุ๋ยฉีดยากำจัดแมลงโดย วางแผนการเก็บข้อมูลและสร้างโหนดเซนเซอร์ร่วมกัน 3 กลุ่มคือ 1) ข้อมูลสภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดดันอากาศ 2) ข้อมูลสภาพดิน ได้แก่ ธาตุอาหารพืช NPK ความเป็นกรด-ด่าง PH ความชื้นในดิน อุณหภูมิในดิน และความนำไฟฟ้าในดิน 3) ข้อมูลโรคและแมลง จากอากาศยานไร้คนขับ

จากการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างผู้วิจัยกับเกษตรกรรุ่นใหม่พบว่า เกษตรกรรุ่นใหม่สามารถเรียนรู้และใช้งานอุปกรณ์ระบบเกษตรกรอัจฉริยะดังนี้

1 สิ่งแรกที่เกษตรกรเข้าใจง่ายและสามารถใช้งานและควบคุมได้โดยไม่ยุ่งยากซับซ้อนคือ การเปิดปิดน้ำให้กับสวนกลัวยหอมทอง ซึ่งเกษตรกรสามารถใช้งานได้และเข้าใจง่าย

2 การอ่านค่าอุณหภูมิ และความชื้นดิน

3 ค่าความกดดันอากาศ

4 ค่า อุณหภูมิในดิน

5 ค่าความชื้นในดิน

6 ค่า ธาตุอาหาร NPK

7 ค่า ความเป็น กรด-ด่าง

8 ค่าความนำไฟฟ้า

จากการทดสอบและเรียนรู้ร่วมกัน ชุมชนเกษตรกรอัจฉริยะเกษตรกรสามารถเรียนรู้และเข้าใจสภาพดินและสภาพอากาศได้อย่างรวดเร็ว และเกษตรกรบางคนสามารถไปค้นหาข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับสภาพดินและสภาพอากาศที่พืชแต่ละชนิดต้องการ เพื่อมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เก็บได้จากแปลงกลัวยหอมของตนเอง เกษตรกรที่ยอมรับในการใช้เทคโนโลยีนี้อายุอยู่ระหว่าง 25-30 ปี

4.การอภิปรายผล

จากการทดสอบเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพดินและสภาพอากาศพบว่า เซนเซอร์ทำงานได้สมบูรณ์โดยสามารถตรวจวัดสภาพดินและสภาพอากาศโดยมี ความถูกต้องของข้อมูล 90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้อมูลที่ถูกบันทึกในฐานข้อมูลของโหนดฐานที่ถูกส่งไปยังโหนดเซนเซอร์ ถูกต้อง 90 เปอร์เซ็นต์เช่นเดียวกัน เนื่องจากการส่งข้อมูลอยู่ในพื้นที่สวนกลัวยหอมจึงทำให้ข้อมูลที่ส่งไม่ผิดพลาดมาก ส่วนข้อมูลที่ส่งไปยังโฮสพบว่าข้อมูลมีความถูกต้อง 80 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากการใช้ระบบซิมการ์ดโทรศัพท์ทำให้การส่งข้อมูลต้องขึ้นอยู่กับสัญญาณโทรศัพท์และเครือข่ายด้วย จึงทำให้การส่งข้อมูลมีความผิดพลาดในบางครั้ง

การเก็บค่าข้อมูลและแสดงผลข้อมูล ข้อมูลสภาพอากาศ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความกดดันบรรยากาศ เกษตรกรสามารถมอนิเตอร์สภาพดินและสภาพอากาศจากเว็บไซต์ได้ตลอดเวลาได้ทุกที่ทุกเวลา ทำให้เกษตรกรชุมชนเกษตรกรอัจฉริยะสามารถเฝ้าระวังโรคและแมลงได้ จากที่ผ่านมาเกษตรกรจะไม่ทราบความเปลี่ยนแปลงสภาพดินและสภาพอากาศ ข้อมูลเหล่านี้เกษตรกรสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพดินและสภาพอากาศได้ สำหรับการแสดงผลค่าสภาพดินพบว่าจากการปลูกพืชที่ผ่านมา เกษตรกรไม่เคยทราบสภาพของดิน จนกว่าพืชจะแสดงอาการขาดธาตุอาหารโดยพืชจะแสดงออกทางใบ บางครั้งลำต้น และผล เกษตรกรไม่ทราบว่าพืชไม่โตเพราะอะไร ทั้งที่ได้ใส่ปุ๋ยให้น้ำดูแลอย่างดี แต่เนื่องจากก่อนปลูกเกษตรกรไม่ทราบความสมบูรณ์ในดิน จึงทำให้ไปตามประสบการณ์ที่เคยทำ จึงทำให้เกษตรกรต้องใส่ปุ๋ย

นิตยาเกินความจำเป็น ระบบที่ออกแบบขึ้นสามารถช่วยเหลือเกษตรกร ในการตัดสินใจให้ปุ๋ยนิตยากำจัดแมลงได้ โดยเฉพาะการแสดงผลการตรวจวัดสภาพดิน พบว่า ธาตุอาหารไนโตรเจน(N)เฉลี่ย 130 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ธาตุอาหารฟอสฟอรัส (P) เฉลี่ย 28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และธาตุอาหารโพแทสเซียม (K) เฉลี่ย 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นข้อมูลให้เกษตรกรได้วางแผนการปรับปรุงดิน เป็นต้น ข้อมูลสภาพดินแบบเวลาจริงของระบบนี้ ทำให้เกษตรกรทราบธาตุอาหารในดิน ทำให้เกษตรกรสามารถที่จะใส่ปุ๋ยควบคุมธาตุอาหารในดินได้ และระบบการตรวจวัดสภาพอากาศ ทำให้เกษตรกรสามารถนิตยากำจัดโรคและแมลงตรงตามสภาพที่เป็นจริงได้ ควบคุมความชื้นดิน ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิได้ ทำให้ประหยัดต้นทุน และลดการตกค้างของสารเคมีต่อการผลิตพืชเพื่อผู้บริโภคที่ปลอดภัย และปลอดภัยสำหรับเกษตรกรด้วยเช่นเดียวกัน

5. การสรุปผลการวิจัย

การพัฒนานวัตกรรมอัจฉริยะสำหรับชุมชนปลูกกล้วยหอมทองตำบลท่าแลงอำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี โดยสรุปผลการวิจัยเป็น 3 ส่วนคือ

5.1 ผลการออกแบบและสร้างระบบ

ได้ออกแบบและสร้างระบบออกเป็น 5 ส่วนคือ 1) เซนเซอร์โหนดตรวจจับธาตุอาหารพืช NPK 2) เซนเซอร์โหนดตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง (PH) ของดิน 3) เซนเซอร์โหนดตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นในดิน และความเข้มแสง 4) เซนเซอร์โหนดตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความกดดันบรรยากาศ 5) โหนดฐาน

5.2 ผลการวิจัย

การติดตั้งโหนดเซนเซอร์ได้ติดตั้งจำนวน 8 โหนดและโหนดฐาน 1 โหนด การติดตั้งโหนดเซนเซอร์ติดตั้งห่างจากโหนดฐานระยะ 20-30 เมตร ระยะห่างระหว่างโหนดเซนเซอร์ ระยะ 20-25 เมตร จากการทดสอบเซนเซอร์พบว่า เซนเซอร์ทำงานได้สมบูรณ์โดยสามารถตรวจวัดสภาพอากาศและสภาพของดินโดยมี ความถูกต้องของข้อมูล 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวิเคราะห์ในแต่ละเซนเซอร์พบว่า เซนเซอร์โหนด NPK โดยมีค่าธาตุอาหารไนโตรเจน(N)เฉลี่ย 130 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ธาตุอาหารฟอสฟอรัส (P) เฉลี่ย 28

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ ธาตุอาหารโพแทสเซียม (K) เฉลี่ย 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งน้อยกว่าค่าความสมบูรณ์ของดินมาตรฐาน ความเป็นกรด-ด่าง พบว่ามีค่าอยู่ที่ 6.5 เป็นค่าที่เหมาะสมในการปลูกกล้วยหอม ความชื้นที่พืชต้องการจะถูกจำกัดอยู่ที่ 50%-59% โดยการควบคุมการให้น้ำ อุณหภูมิจะถูกจำกัดที่อุณหภูมิ 20 – 30 องศาเซลเซียสด้วยการพ่นน้ำด้วยสปริงเกอร์ การทดสอบการส่งข้อมูลข้อมูลที่ถูกต้องในฐานข้อมูลของโหนดฐาน ถูกต้องถึง 90 เปอร์เซ็นต์ การส่งข้อมูลจากโหนดฐานไปยังโฮส พบว่าข้อมูลมีความถูกต้อง 80 เปอร์เซ็นต์ ผลทดสอบการแสดงผลการทดสอบให้ผู้ใช้งานเข้าใช้งานและทำตามคู่มือการใช้งานพบว่า สามารถใช้งานได้โดยทำตามคู่มือการใช้งาน ผลการทดสอบการวิเคราะห์พืชด้วยอากาศยานไร้คนขับ พบว่าต้องทำการบินที่ระดับความสูง 15 เมตร ถ้านบินต่ำกว่าระดับ 15 เมตร ใบกล้วยจะโดนลมจากใบพัดอากาศยานเสียหาย ในภาพ A ได้ทดลองบินต่ำกว่า 15 เมตร ใบกล้วยจะเกิดการพับ และเสียหาย เมื่อวิเคราะห์ภาพ A จะพบว่า มีความสมบูรณ์ของกล้วยมากกว่า ภาพ B และภาพ C ซึ่งภาพ C ถูกเชื้อราเข้าทำลาย

5.3 การนำเทคโนโลยีลงสู่ชุมชน

การนำเทคโนโลยีลงสู่ชุมชนจะใช้กลยุทธ์ทางเลือกในการบรรลุเป้าหมายการผลิตโดยในปัจจุบัน เกษตรกรจะทำการผลิตโดยใช้กลยุทธ์การปลูกพืชแบบผสมผสาน มีการวางแผนร่วมกัน ในการเก็บข้อมูลพื้นที่ สร้างความเข้าใจกับข้อมูล วางแผนการใส่ปุ๋ยนิตยากำจัดแมลง เรียนรู้ร่วมกันระหว่างผู้วิจัยกับเกษตรกรรุ่นใหม่ การถ่ายทอดเทคโนโลยีและการติดตามผล เกษตรกรที่รับเทคโนโลยีจะเป็นเกษตรกรรุ่นใหม่ที่มีอายุ 25- 30 ปี เกษตรกรสามารถเรียนรู้และเข้าใจสภาพดินและสภาพอากาศได้อย่างรวดเร็ว

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทุนวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ โปรแกรมวิชาคอมพิวเตอร์ประยุกต์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่เอื้อเพื่อห้องปฏิบัติการเจ้าของพื้นที่บริเวณกลุ่มแม่น้ำเพชรบุรีทุกท่าน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thaipublica Title. Toxic-food-crisis [Online]. (2022). [Cited November 1, 2022]. Available: [https://thaipublica.org/2015/04/toxic-food-crisis-15\(in Thai\).](https://thaipublica.org/2015/04/toxic-food-crisis-15(in Thai).)
- [2] Wikipedia Title. Internet of Things [Online]. (2022). [Cited November 19, 2022]. Available: [https://th.wikipedia.org/wiki/Internet of Things \(in Thai\).](https://th.wikipedia.org/wiki/Internet_of_Things (in Thai).)
- [3] K. Raviteja and M. Supriya, "IOT-Based Agriculture Monitoring System" in *Data Engineering and Communication Technology*, Singapore:Springer, 2020, pp. 473-483.
- [4] M. Manideep, R. Thukaram and S. M, "Smart Agriculture Farming with Image Capturing Module," *2019 Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)*, Bangalore, India, 2019, pp. 1-5.
- [5] G. Sushanth and S. Sujatha, "IOT Based Smart Agriculture System," *2018 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, Chennai, India, 2018, pp. 1-4.
- [6] D. D. K. Rathinam, D. Surendran, A. Shilpa, A. S. Grace and J. Sherin, "Modern Agriculture Using Wireless Sensor Network (WSN)," *2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)*, Coimbatore, India, 2019, pp. 515-519.
- [7] R. Reshma, V. Sathiyavathi, T. Sindhu, K. Selvakumar and L. SaiRamesh, "IoT based Classification Techniques for Soil Content Analysis and Crop Yield Prediction," *2020 Fourth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)*, Palladam, India, 2020, pp. 156-160.
- [8] D. Argüeso, A. Picon, U. Irusta, A. Medela, M. G. San-Emeterio, A. Bereciartua, et al., "Few-Shot Learning approach for plant disease classification using images taken in the field", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 175, pp. 1-8, Aug. 2020.
- [9] G. Kuricheti and P. Supriya, "Computer Vision Based Turmeric Leaf Disease Detection and Classification: A Step to Smart Agriculture," *2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*, Tirunelveli, India, 2019, pp. 545-549.
- [10] K. S. Pratyush Reddy, Y. M. Roopa, K. Rajeev L.N. and N. S. Nandan, "IoT based Smart Agriculture using Machine Learning," *2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, Coimbatore, India, 2020, pp. 130-134.
- [11] T. N. Gia, L. Qingqing, J. P. Queralta, Z. Zou, H. Tenhunen and T. Westerlund, "Edge AI in Smart Farming IoT: CNNs at the Edge and Fog Computing with LoRa," *2019 IEEE AFRICON*, Accra, Ghana, 2019, pp. 1-6.
- [12] A. Dahane, R. Benameur, B. Kechar and A. Benyamina, "An IoT Based Smart Farming System Using Machine Learning," *2020 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)*, Montreal, QC, Canada, 2020, pp. 1-6.

ระบบการส่งข้อมูลสถานะของเซ็นเซอร์ตรวจจับความร้อน จากการเกิดไฟป่าผ่านโครงข่าย LoRa-Based Mesh Network

The status data sending system of the sensor metering the heat from wild fire through LoRa-Based Mesh Network

จรัญ คนแรง¹ มิ่งขวัญ สมพฤษ^{1*} ไพโรจน์ ด้วนนคร¹ อธิคม ศิริ² และกมล บุญล้อม³
Jarun khonrang¹, Mingkwan Somphruek^{1*}, Pairroj Duangnakhorn¹, Atikhom Siri²
and Kamol Boonlom³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

²สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

³ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์กายภาพ มหาวิทยาลัยอีสต์ สหราชอาณาจักร

¹Department of Energy Engineering, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University

²Department of Computer Engineering, Faculty of Computer and Information Technology, Chiang Rai Rajabhat University

³School of Electronic and Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Physical Sciences, University of Leeds,
United of Kingdom.

*Email: Mingkwan.som@crru.ac.th

Received: December 27, 2022; Revised: March 21, 2023; Accepted: April 07, 2023

บทคัดย่อ

ไฟป่านั้นเป็นปัญหาใหญ่ในหลายพื้นที่ของโลกที่ยากต่อการจัดการอันเนื่องมาจากข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีการแจ้งเตือนและระยะทางที่ไกลยากแก่การเข้าถึง ปัจจุบันมีเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งที่เข้ามามีบทบาทและทำหน้าที่ส่งข้อมูลการแจ้งเตือนในงานหลายๆ ด้านทำให้สะดวกต่อการเก็บรวบรวมและติดตามข้อมูล อย่างไรก็ตามเทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งยังมีข้อจำกัดด้านระยะทางที่ไม่สามารถส่งข้อมูลกันได้ไกล ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งในรูปแบบการสื่อสารที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกล นั่นคือ LoRa ซึ่งเป็นเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตระยะไกล ใช้พลังงานต่ำและราคาต้นทุนที่ต่ำ อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปการใช้งาน LoRa นั้นจะมีการใช้งานในแบบทั่วปคือ การติดต่อสื่อสารกันแบบ Star-to-Star และใช้กันอย่างแพร่หลายดังตัวอย่างที่ใช้งานกันคือ LoRaWAN แต่ก็ยังมีข้อจำกัดสำหรับงานในบางประเภทที่ต้องการเพิ่มระยะทางให้ไกลมากยิ่งขึ้นในขณะที่มีการใช้กำลังงานปริมาณเท่าเดิม

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ขอเสนอการศึกษาเบื้องต้นสำหรับการใช้งานเครือข่ายแบบเมชที่ใช้ LoRa โดยไม่ต้องพึ่งพาการเชื่อมต่อ LoRaWAN ที่ทำการส่งข้อมูลการติดต่อสื่อสารกันแบบ Star-to-Star โดยอาศัยการส่งข้อมูลของโหนดเซ็นเซอร์ที่ทำการส่งข้อมูลกันแบบ Peer to Peer โดยไม่อาศัยเกตเวย์เหมือนกับ LoRaWAN และในกรณีที่ต้องการเพิ่มระยะทางให้ไกลขึ้นระบบจะทำการเชื่อมต่อกันแบบ Multi-Hop โดยเป็นการนำเสนอต้นแบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์โดยใช้อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำในโดยจะทำการทดสอบแบบ Point to Point และทำการวัดค่าของสัญญาณที่รับได้ด้วยเครื่องมือวัดและทำการเทียบกับโมเดลตามหลักทฤษฎี จากนั้นก็จะทำการทดลองหาค่าระยะทางสูงสุดและค่าระยะเวลาในการส่งข้อมูลระหว่างการส่งแบบ Single-Hop และแบบ Two-hop ซึ่งผลจากการวิจัยโดยใช้เทคนิคนี้สามารถนำไปใช้งานด้านการส่งข้อมูลในระยะทางไกลโดยใช้กำลังงานที่ต่ำได้ในภาคอุตสาหกรรมหรือด้านอื่นๆ ได้อีกในอนาคต

คำสำคัญ : เซนเซอร์โครงข่าย LoRa, เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งแบบไร้สาย, เซนเซอร์ตรวจวัดไฟป่า

Abstract

Wildfire is a big problem in several areas across the world which is difficult to manage due to the limitation of warning technology and the distant locations is difficult to access. Today, Internet of things plays an important role and functions sending warning data of many jobs which is convenient to send and follow the data. However, Internet of things still has the limitation in sending the data in a long distance. Thus, the application of Internet of things which is enable to receive and send the data in a long distance, known as LoRa, a distant internet technology which has low cost and low energy consumption. Thus, in general, LoRa communicates in the form of Star-to-Star which is widely used, known as LoRaWAN. However, there are limitations of some jobs requiring a longer distance while the amount of power used is the same as before.

Thus, this study proposes the LoRa-Based Mesh Network without relying on LoRaWAN connection sending the communication data in the form of Star-to-Star. It sends the data in the form of peer-to-peer without the gateway as LoRaWAN does. In the case that a longer distance is needed, the system is connected by a means of multi-hop presenting the hardware and software model through the use of low voltage power. Then, the testing is done using point to point and the received signal is measured by a gauge and compared with the model in accordance with the theoretical principle. Finally, the testing on the maximum distance value and the delivery time during sending the data both single-hop and two-hop features. The result gained from the use of this technique can be applied in sending data in a long distance by consuming low power in industrial section or the others in the future.

Keywords : LoRa-Based Mesh Sensor, Wireless Internet of Things Technology (WIoT), Wildfire Sensor

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้าน Wireless Internet of Things (WIoT) ได้กลายเป็นส่วนสำคัญที่จำเป็นและแพร่หลายในสังคม มากไปกว่านั้นยังมีการนำไปประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมการค้าและบริการลูกค้ามากขึ้นเรื่อยๆ โดยทำการรวบรวมข้อมูลที่มาจากอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมายที่ตั้งอยู่บริเวณในหลายตำแหน่งของเครือข่าย ดังนั้นในการส่งข้อมูลในระยะทางที่ไกลมากๆ เป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งที่อุปกรณ์บางชนิดมีขอบเขตของการใช้พลังงานที่มีจำกัดและข้อกำหนดทางกฎหมาย และในอดีตที่ผ่านมาเทคโนโลยีบางประเภทนั้นไม่สามารถตอบโจทย์ของการใช้งานในระยะทางที่ไกลดังที่ได้กล่าวมาในเบื้องต้น ดังนั้นจึงมีการคิดค้นและพัฒนาเทคโนโลยี Wireless Internet of Things (WIoT) ที่สามารถส่งข้อมูลในระยะทางที่ไกลได้ หลากไกลเมตรในขณะที่มีการใช้กำลังงานที่ต่ำเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น เทคโนโลยี LoRa, LoRaWAN, SigFox และ

(NB-IoT) เป็นต้น เทคโนโลยีที่เป็นที่รู้จักกันดีและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายและได้รับความนิยม คือ LoRa เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สามารถส่งข้อมูลได้ระยะทางไกล ใช้กำลังงานต่ำ และที่สำคัญคือ เป็นเทคโนโลยีที่เป็นแบบไม่ต้องขออนุญาตซึ่งไม่เสียค่าบริการในการใช้งานส่งผลให้เกิดความนิยมของผู้ใช้บริการและผู้พัฒนาด้านงานวิจัย เทคโนโลยี LoRa เป็นการใช้เลเซอร์ทางกายภาพที่รวมการปรับคลื่นวิทยุแบบ Chirp Spread Spectrum (CSS) ดังนั้น LoRa กลายเป็นอุปกรณ์ทางกายภาพที่ได้มีการยอมรับอย่างกว้างขวาง

เครือข่าย LoRaWAN ประกอบด้วยองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมสามส่วนคือ อุปกรณ์ปลายทางเกตเวย์และเซิร์ฟเวอร์เครือข่ายระยะไกล ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้เชื่อมต่อข้อมูลกันในรูปแบบการเชื่อมโยง ชนิด Star to Star ซึ่งอุปกรณ์ปลายทางสื่อสารกับเกตเวย์ตั้งแต่หนึ่งตัวขึ้นไป โดยใช้ LoRa เป็น ชั้นกายภาพ (Physical Layer) และในแต่

ละเกตเวย์สามารถส่งเฟรมของ LoRaWAN ไปยังเครือข่ายเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้อินเทอร์เน็ตเพชชนิด backhaul ที่มี Higher-Throughput ตัวอย่างเช่น WiFi หรือ 5G จากนั้นแอปพลิเคชันการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์สามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่รวบรวมได้ดีที่สุด

หนึ่งในข้อจำกัดที่แข็งแกร่งที่สุดของ LoRaWAN คือรูปแบบการเชื่อมโยงที่นำมาใช้ซึ่งอนุญาตให้เฉพาะมีการสื่อสารแบบ Single-Hop โดยตรงระหว่างอุปกรณ์ปลายทางและเกตเวย์ แม้ว่าการกำหนดค่านี้อาจเหมาะสำหรับการใช้งานจำนวนมาก ในบางกรณี เช่นเมื่อต้องรวบรวมหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลจากในพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึงในพื้นที่ระยะทางที่ไกลซึ่งจะเหมาะกับการรับส่งข้อมูลรูปแบบนี้ที่สุด [1]

จากการสืบค้นในผลงานจำนวนมากได้มีการเปิดใช้งานแบบเครือข่ายเมชและการสื่อสารแบบมัลติฮอป(Multi-Hop) บนสถาปัตยกรรมแบบ LoRa ซึ่งอุปกรณ์ปลายทางสามารถทำหน้าที่เป็นโหนดรีเลย์เพื่อขยายความครอบคลุมของเครือข่ายและปรับปรุงการใช้พลังงานของอุปกรณ์แม้ว่างานเหล่านี้จะมีการพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญ แต่เชื่อว่ายังคงเป็นเพียงขั้นกลางที่สามารถพัฒนาต่อยอดขึ้นไปได้อีกและสามารถนำประโยชน์จากการสื่อสารแบบมัลติฮอปบนสถาปัตยกรรมแบบ LoRa ไปประยุกต์ใช้งานสำหรับระบบการแจ้งเตือนหรือการส่งข้อมูลระยะทางไกลได้เป็นอย่างดี [2]

ในงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอระบบการส่งข้อมูลสถานะของเซ็นเซอร์ตรวจจับความร้อนจากการเกิดไฟฟ้าโดยการนำโครงข่าย LoRa มาประยุกต์ใช้งานในการส่งข้อมูลเนื่องจากในการใช้งานจริงของระบบเซ็นเซอร์การวัดการเกิดจุดความร้อนของไฟป่านั้นมีระยะทางที่ไกลเป็นอย่างมากซึ่งห่างจากพื้นที่เกตเวย์อาจจะไกลเกินกว่า 10 กิโลเมตร ซึ่งจะส่งผลให้อุปกรณ์เซ็นเซอร์นั้นไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังเกตเวย์ได้และทำให้ไม่ครอบคลุมพื้นที่การใช้งาน หากมีการใช้งานโครงข่ายการเชื่อมโยงข้อมูลที่เป็นแบบ Star to Stars ดังนั้นในการเลือกใช้งานดังกล่าวจึงอาจจะไม่เหมาะสม อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวสามารถที่จะถูกกำจัดออกไปเมื่อมีการปรับเปลี่ยนการใช้งานในรูปแบบการเชื่อมโยงการสื่อสารแบบมัลติฮอปบนสถาปัตยกรรมแบบ LoRa หรือที่เรียกกันว่าการเชื่อมโยงข้อมูล แบบเมช ซึ่งสามารถส่งข้อมูล

กันในระยะทางที่ไกลได้มากขึ้นโดยการส่งผ่านข้อมูลกันเป็นแบบมัลติฮอปแต่จะมีข้อเสียในเรื่องของการประวิงเวลาของข้อมูลที่มากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้เป็น การนำเสนอรูปแบบที่ประกอบไปด้วย ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ LoRa โดยทำการติดตั้งจำนวนโหนดเซ็นเซอร์จำนวน 3 ตัวซึ่งสามารถสื่อสารแบบ Peer to Peer ระหว่างอุปกรณ์ปลายทาง LoRa ในขณะที่ยังรักษาฟังก์ชันของเครือข่ายแบบมัลติฮอปและแบบเมชตามที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น และส่งข้อมูลไปยังเกตเวย์ที่ประกอบด้วยโมดูล LoRa ที่ทำการเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตด้วยเทคโนโลยี WiFi

2. การออกแบบและวิธีการทดลอง

ชั้นกายภาพ (Physical Layer) ของ LoRa มีพารามิเตอร์ที่กำหนดค่าได้มากมายรวมถึง SF, อัตราการเข้ารหัสข้อผิดพลาด, Header Types, Preamble Length และแบนด์วิธ และอย่างที่ทราบ LoRa Radios สามารถใช้สำหรับการสื่อสารแบบจุดต่อจุด(Point-to-Point) และยังสามารถใช้ในเครือข่าย LoRaWAN ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสื่อสารกับสถานีฐานแบบรวมศูนย์ ในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะกล่าวถึงแนวทางที่แตกต่างเรื่องของการสร้างเครือข่ายแบบเมช (Mesh) ของโหนด LoRa เครือข่ายแบบเมชเป็นโครงสร้างเครือข่ายที่โหนดสื่อสารระหว่างกันโดยตรง (หากอยู่ในระยะ) หรือโดยอ้อมผ่านโหนดระดับกลาง ยกตัวอย่างเช่น หากโหนด 1 ต้องการส่งข้อความไปยังโหนด 2 แต่อยู่ห่างจากโหนด 2 มากเกินไป ข้อความจะถูกกำหนดเส้นทางโดยอัตโนมัติผ่านโหนดกลางที่อยู่ในช่วง สมมติว่าโหนด 3 เป็นต้น

หนึ่งในผลงานชิ้นแรกๆ ที่ทำการใช้ความสามารถของ LoRa เพื่อสร้าง IoT mesh ทั่วไปและเครือข่ายแบบมัลติฮอปที่เป็นงานวิจัยอ้างอิงนั่นคือ Lora Blink ที่มีโปรโตคอล (Protocol) ที่รองรับการสื่อสารข้อมูลแบบมัลติฮอป [3] ซึ่งสถาปัตยกรรมที่นำมาใช้ประกอบด้วยโหนดที่ใช้ LoRa หลายตัวและทำการซิงค์กัน ซึ่งเป็นส่วนปลายทางสุดท้ายของข้อความทั้งหมดโดยจะถูกสร้างขึ้นจากโหนด ซึ่งในงานวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นว่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล (Packet Delivery Ratio) นั้นสามารถที่จะปรับปรุง

ได้ด้วยการใช้เครือข่ายแบบเมช โดยต้องคำนึงถึงการเชื่อมโยงแบบ Star โดยเป็นพื้นฐาน

ในส่วนของสภาพแวดล้อมเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จะต้องคำนึงถึงเนื่องจากค่ากำลังสูญเสีย (The Path Loss) การถูกบดบัง (The Shadowing) และ เส้นทางเดินของสัญญาณ (The Multipath Fading) เป็นพารามิเตอร์สำคัญสำหรับคุณลักษณะของช่องสัญญาณของระบบสื่อสารแบบไร้สาย ดังนั้นในสภาพแวดล้อมของชนบทที่มีลักษณะเป็นป่าไม้มักจะมีคุณลักษณะที่เป็น การถูกบดบัง และ เส้นทางเดินของสัญญาณ อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสัญญาณการรับส่งข้อมูล ในการวิเคราะห์เบื้องต้นของประสิทธิภาพการกระจายสัญญาณในสภาพแวดล้อมชนบทที่มีป่าไม้จะมีผลกระทบในแง่ของระยะทางและระดับสัญญาณที่ได้รับได้

โดยพารามิเตอร์บ่งชี้ PT นั้นคือกำลังส่งที่แพร่กระจายด้วยเครื่องส่งสัญญาณ ในส่วนของ GT และ GR คือ อัตราการขยายสัญญาณของสายอากาศทั้งฝั่งด้านรับและด้านฝั่งส่งตามลำดับ โดยที่ L_p คือ The Path Loss Attenuation ในส่วนของ PR คือ กำลังงานที่ได้จากตัวรับ โดยที่ค่าของ PR สามารถที่จะคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$P_R |_{dBm} = P_T |_{dBm} + G_T |_{dB} + G_R |_{dB} - L_P |_{dB} \quad (1)$$

โดยทั่วไปนั้นจะไม่มี Path Loss Models เฉพาะเจาะจงสำหรับเทคโนโลยี LoRa เพื่อใช้ในการประมาณการค่า อย่างไรก็ตามยังมีแบบจำลองการแพร่กระจายเชิงประจักษ์จำนวนมากที่ได้มาจากการวัดโดยใช้มาตรฐานที่แตกต่างกัน ความถี่ที่แตกต่างกันและในสภาวะการแพร่กระจายที่หลากหลาย โดยผู้คนบางส่วนใช้สำหรับย่านความถี่ที่ยอมรับสำหรับ LoRa ในยุโรป ตัวอย่างเช่น Erceg Model นั้นสามารถใช้กับผลลัพธ์ที่คาดหวังเพื่อเปรียบเทียบกับ การวัดทดลองในช่วงความแตกต่างของระยะทาง 100 เมตร อย่างไรก็ตามโมเดลของ Erceg มักจะประเมินระยะทางที่สูงเกินไปในสภาพแวดล้อมที่เป็นเมือง ในส่วนของการวิเคราะห์แบบจำลองของ Lee's การจำลองการแพร่กระจายโมเดล [4] สามารถนำมาใช้งานได้ทั้งแบบ Area to Area, and Point to Point การบังคับใช้ Lee's การแพร่กระจายโมเดลนั้น มีประสิทธิภาพโดยจะเกิดขึ้นในทันที

ที่มีการกำหนดตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับเฉพาะในแต่ละเมือง แต่สำหรับประเทศไทยโดยเฉพาะเมืองที่อยู่ต่างจังหวัดออกไปนั้นจะมีความแตกต่างเป็นอย่างมากเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่มีความแตกต่างจากตัวอย่างของเมืองที่ Lee's การแพร่กระจายโมเดลนั้นทำการออกแบบจะไม่มีค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะสำหรับแบบจำลองของ Lee's การแพร่กระจายโมเดล

เมื่อจัดการกับการส่งสัญญาณระหว่าง 100 ถึง 1500 MHz ในเขตเมือง, ในรูปแบบเชิงประจักษ์ของ Okumura-Hata (O-H) Model, นั้น พัฒนาขึ้นมาเพื่อระบบไร้สายโดยเฉพาะสามารถใช้การสื่อสารในสภาพแวดล้อมได้ [5-6] โดยที่ The Path Loss LP นั้นสามารถประเมินได้จากสมการที่ 2

$$L_P |_{dB} = 69.55 + 26.16 \log_{10} f + (-13.82 \log_{10} h_T - a(h_R)) + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_T) \log_{10} d \quad (2)$$

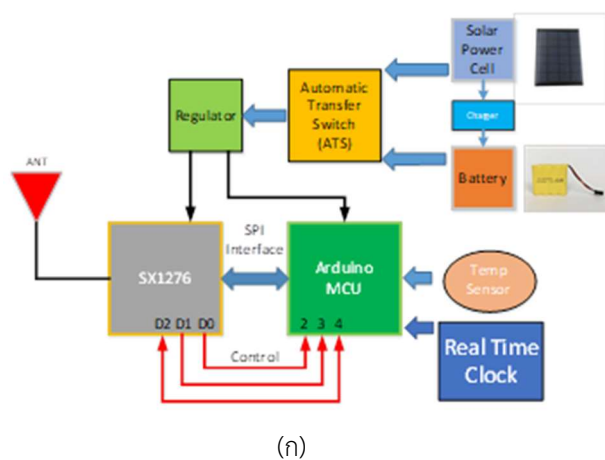
โดยที่ทราบค่า Operating Frequency (f) นั้นมีค่าเป็น MHz ความสูงของตัวส่งและตัวรับ คือ h_T และ h_R แสดงค่าในหน่วยเป็นเมตรและระยะทาง d ระหว่างตัวส่งและตัวรับแสดงเป็นหน่วยกิโลเมตร

โดยที่ The correction parameter เกิดจากประเภทพื้นที่และทำการพิจารณาโดยสามารถหาได้จากสมการที่ 3

$$a(h_R) = 3.2 [\log_{10} (11.75 \cdot h_R)]^2 - 4.97 \quad (3)$$

สำหรับอุปกรณ์ตัวโหนดของเซ็นเซอร์ตรวจจับความร้อนจากการเกิดไฟป่า นั้นจะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ที่ทำการเชื่อมต่อผ่านอินเตอร์เฟซชนิด SPI กับโมดูล LoRa เบอร์ SX1276 [7] ซึ่งทำหน้าที่เป็นโมดูลรับและส่งข้อมูลระยะทางไกลแบบไร้สาย LoRa ที่ย่านความถี่ใช้งาน 920 - 925 MHz และอยู่ในย่านที่อนุญาตให้ใช้งานได้ในประเทศไทยตามข้อกำหนดของคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ที่มีกำลังส่งอยู่ที่ +14 dBm หรือกำลังส่งโดยประมาณ 25 มิลลิวัตต์ และอีกส่วนหนึ่งของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะทำการเชื่อมต่อกับ

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิเพื่อทำการวัดค่าความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อมีเหตุการณ์ไฟฟ้าเกิดขึ้น และระบบจ่ายกำลังงานที่ใช้แหล่งจ่ายกำลังงานแบบกระแสตรงจากเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 12 V กำลังงาน 5 วัตต์ ร่วมกับแบตเตอรี่ขนาด 12 V ขนาดของกระแส 8 แอมแปร์และทำการเชื่อมต่อกับระบบไมโครกริดที่ทำการเลือกแหล่งจ่ายแบบอัตโนมัติ และทำการจ่ายกำลังงานให้แก่วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์และโมดูล LoRa SX1276 และมาพร้อมกับวงจรการจัดการแบตเตอรี่ที่ทำให้การใช้งานง่ายขึ้นเมื่อทำงานกับ LoRa ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) และ (ข)



รูปที่ 1 (ก) บล็อกไดอะแกรมของวงจรเซ็นเซอร์ตรวจจับความร้อนจากการเกิดไฟฟ้า (ข) วงจรที่สร้างจริงของเซ็นเซอร์ตรวจจับความร้อนจากการเกิดไฟฟ้า

มากกว่านั้นบอร์ดที่ทำการออกแบบเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับเครือข่ายแบบเมชเพราะมีความสามารถในการ

คำนวณที่ดีเนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano นั้นสามารถรองรับการคำนวณที่มีขนาดเล็กเพียงพอในขณะที่ใช้กำลังงานต่ำมาก ซึ่งประสิทธิภาพของ CPU จะมาพร้อมกับ RISC Architecture กับ 2 Kbytes internal SRAM และ 32 K bytes of In-System Self-Programmable Flash Program Memory [9-10] สำหรับโมดูล LoRa นั้นจะมีไลบรารี Radiohead รองรับการทำงานด้านการส่งสัญญาณหลายอย่างบนชิป SX1276 ที่แตกต่างกันในแง่ของ แบนด์วิธ (BW), Coding Rate (CR) and Spreading Factor (SF) ซึ่ง CR นั้นหมายถึงสัดส่วนของบิตที่ส่งข้อมูลจริง และค่า SF คือจำนวนบิตต่อสัญลักษณ์ ในขณะที่ BW หมายถึงความแตกต่างระหว่างบนและล่างความถี่ที่ถูกครอบครองโดย The Chirp ในส่วนเทคนิคของ Spread-Spectrum Modulation นั้น Chirp เป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป [8] [10]

ในการตั้งค่าการวัดถูกสร้างขึ้นโดยเครื่องรับเดี่ยวและเครื่องส่งสัญญาณตั้งแต่หนึ่งเครื่องขึ้นไปตามการทดสอบที่แตกต่างกันแสดงได้ในรูปที่ 2 โหนดเซ็นเซอร์ตรวจจับความร้อนจากการเกิดไฟฟ้านั้นประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์ที่มีชนิดเดียวกัน รวมถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตเบอร์เดียวกันคือ Arduino Nano และโมดูล LoRa เบอร์ SX1276 ที่ทำการต่อรวมอยู่กับสายอากาศชนิดโมโนโพลขนาดอัตราการขยายสัญญาณ Gain เท่ากับ ($G=3.16\text{dB}$) SATEL ISM Antenna 900 MHz Model และทำการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการทดสอบแต่ละครั้งโดยใช้ Arduino IDE

รูปที่ 2 การทดสอบเครื่องรับเดี่ยวและเครื่องส่งสัญญาณ

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการกำหนดพารามิเตอร์ทั่วไปในการส่งของโมดูล LoRa ที่สามารถสื่อสารกันได้ระหว่าง Point to Point และย่านความถี่ที่เลือกใช้ในการทดลองในการส่งข้อมูลดังที่แสดงให้เห็นในตารางดังต่อไปนี้

LoRa Module	Transmitted power	14 dBm
SX1276	(Tx power, dBm)	
Configuration	spreading factor	10
	(SF)	
	Bandwidth (BW, kHz)	125 kHz
	Frequency (MHz)	923.2 MHz
	Antennas gain (dBi)	3.16 dBi
Spectrum Analyzer	Center frequency	923 MHz
	(CF,MHz)	
Configuration	Resolution bandwidth	10 kHz
	(RBW,kHz)	
	Video bandwidth	30 kHz
	(VBW,kHz)	
	Sweep time(ms)	5 ms
	Span(kHz)	500 kHz

ในการทดสอบเบื้องต้นจะดำเนินการติดตั้งชุดของการวัดแบบคงที่ด้วยตัวรับสัญญาณอยู่ในตำแหน่งคงที่และตัวรับตามในตำแหน่งต่างๆ ของโหนดเซ็นเซอร์จุดที่ 1, 2 และ จุดที่ 3 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดง ตำแหน่งของตัวส่ง node ที่ 1, node ที่ 2 และ Node ที่ 3 ตามลำดับ และตัวรับ RX ด้วยระยะทางสัมพัทธ์

ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับคือ 381 เมตร สำหรับ Node ที่ 1 กับ 621 เมตรสำหรับ Node ที่ 2 และ 844 เมตร สำหรับ Node ที่ 3 ทางด้านตัวรับถูกวางไว้ที่ระยะความสูง 30 เมตร จากพื้นดิน และสำหรับตำแหน่งทั้งหมดเครื่องส่งอยู่ในระดับเดียวกับสายตากับเครื่องรับ ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับคือเทียบได้กับระยะห่างสูงสุดระหว่างสองโหนดของเครือข่ายมากกว่าที่จะนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมในพื้นที่ชนบท

โมดูลทางตัวรับถูกตั้งโปรแกรมเพื่อให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับคุณภาพของสัญญาณประกอบไปด้วย รับสัญญาณตัวบ่งชี้ความแรง (RSSI) ของแพ็คเก็ต, อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) และค่าเฉลี่ยของตัวบ่งชี้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับ โดยชุดของข้อมูลที่วิเคราะห์ประกอบด้วยบล็อกละ 1,000 แพ็คเก็ต และสำหรับตำแหน่งเครื่องส่งสัญญาณ การตั้งค่าและการกำหนดค่าที่ใช้สำหรับตัวส่งและตัวรับมีการแสดงในตารางที่ 1

ผลจากการวัดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพเชิงทฤษฎีที่ได้รับกับ Okumura-Hata model นั้นแสดงให้เห็นได้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพเชิงทฤษฎีที่ได้รับกับ Okumura-Hata Model

Transmitter Position	Node1	Node2	Node3
Distance (m)	381	621	844
Signal to Noise Ratio (SNR) (dB)	1	-1	-6
Received Signal Strength Indicator (RSSI) (dB)	-92	-112	-120
Receiver Power (dBm)	-93	-103	-116
Okamuru-Hata Rx power (dBm)	-88	-97	-103

จากการทดสอบการวัดสามารถสังเกตความเป็นไปได้ในการวัดค่าของ SNR เมื่อระดับกำลังสัญญาณต่ำกว่าระดับเสียงรบกวน ตามข้อกำหนดของ LoRa โดยที่ค่าสำหรับ

SNR ระบุความสามารถในการรับสัญญาณพลังงานต่ำกว่า The Receiver Noise Floor สิ่งนี้สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อช่วงของระยะทางในการสื่อสารนั้นไกลกันมากหรือมีสัญญาณรบกวนที่สูงอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมภายนอกเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดลักษณะนี้ ในส่วนของ RSSI ของแพ็คเก็ต เป็นไปตามที่คาดไว้ซึ่งจะมีค่าที่ลดลงไปเมื่อระยะทางนั้นมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นอย่างไรก็ตาม ส่วนใหญ่ของแพ็คเก็ตที่รับได้นั้นยังคงมีความถูกต้อง ในความเป็นจริงจากระยะทางโหนด ที่ 1 และ โหนดที่ 2 นั้นมีค่า RSSI ที่อยู่ในระดับที่มากกว่าข้อกำหนดของ โมดูล SX1276 จึงสามารถรับข้อมูลแพ็คเก็ตได้อย่างถูกต้องในขณะที่โหนดที่ 3 นั้นมีระยะทางที่มากกว่า 800 เมตร ซึ่งจะทำให้แพ็คเก็ตมีอัตราการสูญเสียมากกว่าโหนดอื่นๆ เนื่องจากค่า RSSI ที่ได้รับนั้นมีค่าต่ำกว่าข้อกำหนดของบางครั้งของการรับข้อมูลนั้นมีค่าที่ต่ำกว่าข้อกำหนดของโมดูล SX1276

ค่าพลังงานที่ได้รับทั้งหมดจากตัวรับเมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีที่คำนวณด้วย O-H Model ซึ่งอยู่ด้านล่างสุดของตารางที่ 2 ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าค่าพลังงานที่ได้นั้นมีค่าที่สูงกว่าทั้งหมดที่วัดได้เนื่องจากแบบจำลองนั้นยังไม่ได้มีการพัฒนาโดยคำนึงถึงลักษณะของ CSS Modulation ที่ใช้สำหรับ LoRa มากกว่านั้นในการศึกษาการเชื่อมต่อแบบ Point to Point นั้นใน O-H Model ไม่ได้คำนึงถึงผลของการสะท้อนของคลื่นที่เกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อม

ในการทดลองลำดับต่อไปคือระยะเวลาการส่งข้อมูล การประเมินระยะเวลาการส่งข้อมูลโดยที่ประเมินในห้องปฏิบัติการ ในส่วนของระยะเวลาการส่งข้อมูลในกรณีของการสื่อสารแบบ Single หรือ Two-Hop ของ LoRa-Based Mesh Network ซึ่งในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงการตั้งค่าของพารามิเตอร์ในงานวิจัยนี้โดยจะทำการ Bandwidth ของความถี่ และค่าของ SF (Spreading Factor) ที่มีค่าแตกต่างกันออกไปและในทุกกรณีค่าของ CR จะถูกตั้งค่าไว้ที่ 4/5 ในขณะที่ BW และ SF แตกต่างกันไป ในบรรดาการตั้งค่าการส่งสัญญาณที่เป็นไปได้ทั้งหมดซึ่งอาจจะเลือกโดย BW และ SF ที่แตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกที่ทำให้มันมีความเป็นไปได้ที่ดีที่สุด ดังที่แสดงให้เห็นในตารางดังต่อไปนี้

3. ผลการวิจัย

ตารางที่ 3 การตั้งค่าการส่งและระยะเวลาการส่งข้อมูลสำหรับการสื่อสารแบบ Single-Hop ระหว่าง โหนดเซ็นเซอร์จุดที่ 1 และ จุดที่ 2 ตามรูปที่ 4 และการสื่อสารแบบ Two-Hop ระหว่างโหนดเซ็นเซอร์จุดที่ 1 และ จุดที่ 3 ตามรูปที่ 5

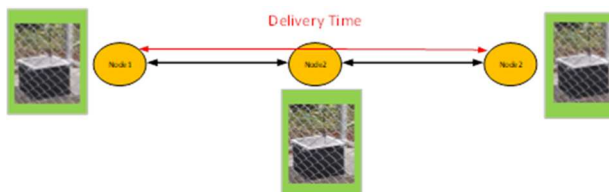
Transmitting Configuration	BW (kHz)	SF	Delivery Time (ms)	
			Single-Hop	Two-Hop
Maximum Band	250	7	495 ± 87	835 ± 103
Medium_LSF	125	7	649 ± 196	1,334 ± 424
Medium_HSF	125	10	5,329 ± 51	10,746 ± 85
Minimum Band	56	10	6,692 ± 85	13,410 ± 223

ในการทดลองสำหรับการตั้งค่าการส่งแต่ละครั้งสามารถประเมินค่าระยะเวลาการส่งข้อมูลเมื่อทำการส่งข้อมูลที่มี Payload ขนาด 240 ไบต์ และค่า Payload สูงสุดที่โมดูลตัวส่งและรับ SX1276 สามารถดำเนินการได้คือ 255 ไบต์ ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ไบต์ Radiohead Header นั้นหมายความว่าสุทธิต่อ Payload ที่สามารถส่งได้คือ 251 ไบต์ โดยสามารถเลือกข้อความที่มีขนาดเล็กลงได้คือ 240 ไบต์และเมื่อรวมส่วน Radiohead Header แล้วจะมีขนาดรวมเท่ากับ 244 ไบต์ อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถตรวจสอบให้แน่ใจว่าในส่วน Radiohead Header นั้นสามารถเพิ่มสูงสุดได้ถึง 11 ไบต์ในกรณีที่ต้องการเข้ารหัส Payload ซึ่งในส่วนนี้จะไม่ได้ใช้ในการทดลองในกรณีนี้จะมีไว้ในกรณีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในเรื่องขนาดของข้อความ ในการทดลองเหล่านี้จะทำการส่งสัญญาณทางเดียว รูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงการตั้งค่าเครือข่ายซึ่งมีจำนวนโหนดสูงสุดสามโหนดนั้นคือ โหนด 1 โหนด 2 และโหนด 3 ตามลำดับเป็นของ LoRa-Based Mesh ซึ่งจะพิจารณาในรูปแบบการสื่อสาร Single-Hop และ Two-Hop ดังแสดงในรูป ในกรณีของการสื่อสารแบบ Two-Hop โหนด 2 สามารถกำหนดเส้นทางการรับส่งข้อมูลระหว่างโหนด 1 และ 3 ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งคำนวณระยะเวลาการส่งข้อมูลนั้นหมายถึง ความ

แตกต่างระหว่างเวลาที่ไต่สุดท้ายของข้อความถูกต้องอธิบายโดยละเอียดคือ โหนด 2 หรือ โหนด 3 (โดยขึ้นอยู่กับ การทดสอบ) ที่ในระดับแอปพลิเคชันและเวลาเมื่อขึ้น แอปพลิเคชันที่โหนด 1 ส่งข้อความออกมา โดยต้องมั่นใจ แน่ใจว่าเวลาการพักของโหนดถูกซิงโครไนซ์ ส่วน ระยะเวลาการกระจายสัญญาณนั้นจัดได้ว่าไม่สำคัญ



รูปที่ 4 Single-Hop Delivery Time



รูปที่ 5 Two-hop Delivery Time

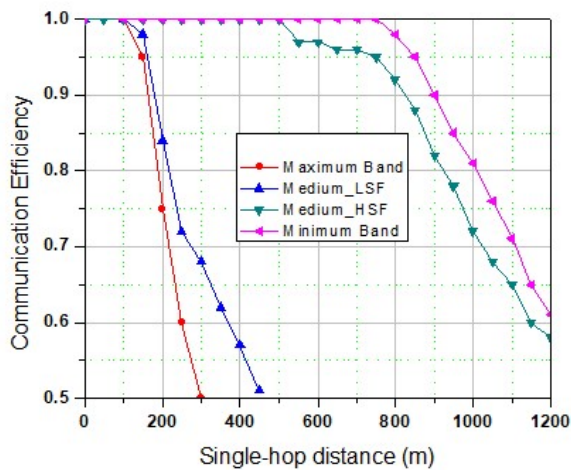
จากผลการทดลองในตารางที่ 3 แสดงผลการประเมินนี้ สำหรับค่าของระยะเวลาการส่งข้อมูลจะได้ค่าเฉลี่ยพร้อม กับช่วงความเชื่อมั่นอยู่ที่ 95% มันแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าค่า ของ SF มีบทบาทสำคัญ เมื่อมีค่า SF ที่มีค่าสูงมากขึ้น เท่าไหร่ จะทำให้ค่าของระยะเวลาการส่งข้อมูลนั้นมีค่ามาก ขึ้นตาม การพิจารณาที่สำคัญอย่างอื่นคือค่าของระยะเวลา การส่งข้อมูลสำหรับการสื่อสารแบบ Two-Hop จะมีค่าอยู่ที่ ประมาณเป็นสองเท่าของการสื่อสารแบบ Single-Hop ใน ทุกกรณี ซึ่งหมายความว่าโดยรวมแล้วค่าของระยะเวลาการ ส่งข้อมูลถูกรอบครอบโดยค่าที่ต้องการส่งและรับข้อความ ผ่านโมดูลรับและส่งแบบ LoRa จึงคาดการณ์ว่าระยะเวลา การส่งข้อมูลในกรณีการสื่อสารของ m-hop กับ $m > 2$ จะ อยู่ประมาณ m เท่ากับการสื่อสารแบบ Single-Hop

ในการทดลองเพื่อทำการหาค่าระยะเวลาการส่งข้อมูล สำหรับการสื่อสารแบบ Single-Hop และการสื่อสารแบบ Two-Hop และเพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดในระยะทางที่ กำหนดในช่วงระยะทางตั้งแต่ 200 เมตร ไปจนถึง 1,200

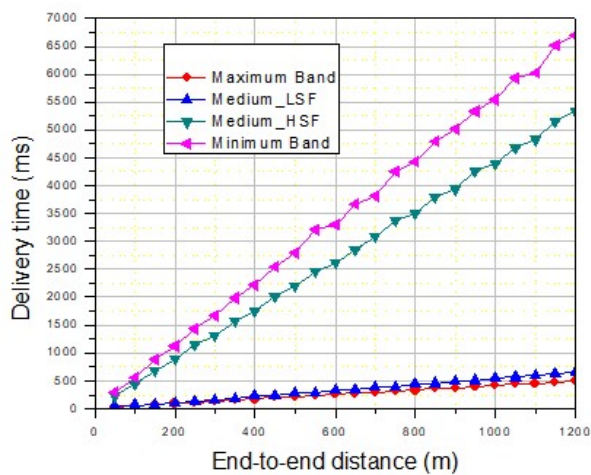
เมตร แสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 6 แสดงภาพสภาพแวดล้อม ผ่านดาวเทียมของ Google Maps ที่ใช้ในการทดสอบการตั้ง ค่าการส่งทั้งหมดจากผลการทดลองในรูปที่ 7 แสดงให้เห็น ว่าการตั้งค่าการส่งสัญญาณต่างๆนำไปสู่การทดสอบ ประสิทธิภาพในการสื่อสารแบบ Single Hop ที่แตกต่าง การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของการสื่อสารและ ระยะเวลาการส่งข้อมูล ดูได้จากตารางที่ 3 ยกตัวอย่างเช่น Maximum Band สำหรับระยะเวลาการส่งข้อมูล นั้นมี ระยะเวลาที่สั้นเท่ากับประมาณ 500 ms แต่ประสิทธิภาพใน การสื่อสารลดลงอย่างรวดเร็ว (น้อยกว่า 0.5 หลังจาก 300 เมตร) การทดสอบประสิทธิภาพที่ดูเหมือนว่าจะดีที่สุดนั่น คือ Medium HSF มีประสิทธิภาพมากกว่า 0.9 ที่ 800 เมตร และมีค่าของ ระยะเวลาการส่งข้อมูลประมาณ 5.3 วินาที แต่สิ่งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของแอปพลิเคชัน ดังนั้น สามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณแบนด์วิธ ให้มากขึ้นเมื่อเทียบกับ SF (Spreading Factor) ที่เท่ากัน ผลที่ได้คือจะมีค่าระยะเวลาการส่งข้อมูลที่ใช้ในการส่งข้อมูล น้อยลงในขณะที่ระยะทางของการส่งนั้นจะมีค่าที่มากขึ้น และเมื่อทำการลดแบนด์วิธให้แคบลงดูได้จากกรณีตัวอย่าง ของ Minimum Band ที่มีขนาดแบนด์วิธ 56 kHz และมี SF (Spreading Factor) เท่ากับ 10 จะได้ระยะทางที่สูงสุด คือ 1.2 กิโลเมตร ในขณะที่ค่าของระยะเวลาการส่งข้อมูลมีค่า มากกว่า 80 วินาที ซึ่งมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจนใน รูปที่ 8 แสดงค่าประวิงเวลาที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนค่า กำหนดการส่งในทั้งหมด 4 รูปแบบ ของการส่งแบบ Single-Hop ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าค่าประวิงเวลาของการส่งข้อมูลนั้นมี จำนวนที่มากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มขนาดแบนด์วิธของการส่ง ข้อมูลให้มากขึ้นและเมื่อใช้ค่าของ SF ที่มีค่าที่สูงที่สุดคือ 10 ในขณะที่เดียวกันค่าประวิงเวลามีค่าในช่วงที่ต่ำกว่า 500ms เมื่อทำการส่งข้อมูลด้วยขนาดแบนด์วิธที่สูงและค่าของ SF ที่มีค่าต่ำสุดที่ 7 ในรูปที่ 9 เมื่อทำการเพิ่มจำนวนโนดเข้าไป เป็นการส่งแบบ Two-hop จะส่งผลให้ค่าของการประวิง เวลาที่มีจำนวนที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกับ การส่งข้อมูลของการสื่อสารแบบ Single-Hop รูปที่ 10 แสดงอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจจับความร้อนจากการเกิดไฟป่า ที่ติดตั้งใช้ในการทดสอบในงานวิจัยและการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในสถานที่ใช้งานจริง



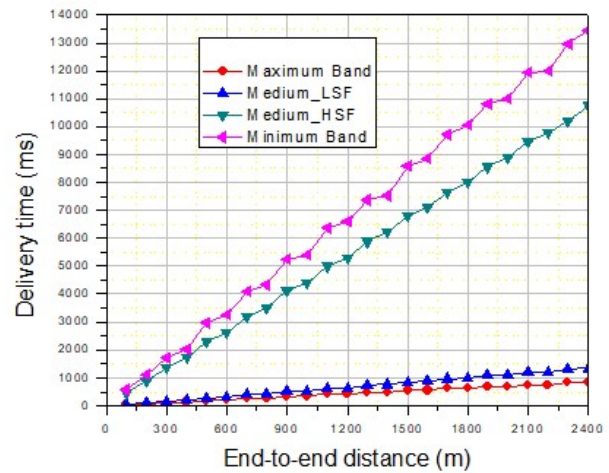
รูปที่ 6 สถานที่ทำการทดสอบในการการหาค่าระยะเวลาการส่งข้อมูล



รูปที่ 7 แสดงประสิทธิภาพการสื่อสารแบบ Single-Hop ในระยะทางที่ต่างกัน



รูปที่ 8 แสดงค่าระยะเวลาการส่งข้อมูลของการสื่อสารแบบ Single-Hop ในระยะทางที่ต่างกัน



รูปที่ 9 แสดงค่าระยะเวลาการส่งข้อมูลของการสื่อสารแบบ Two-Hop ในระยะทางที่ต่างกัน



รูปที่ 10 แสดงอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจจับความร้อนจากการเกิดไฟป่าที่ติดตั้งใช้ในการทดสอบในงานวิจัย

เทคโนโลยี LoRa เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่มีความสามารถส่งข้อมูลได้ในระยะไกลและการใช้พลังงานต่ำ แม้ว่าส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลต่ำ ในงานวิจัยนี้ได้อธิบายการทดสอบ Propagation ที่เป็นแบบ Point to Point และความสามารถของระบบรับข้อมูลทั้งด้านกำลังรับและอัตราความผิดพลาดของแพ็คเก็ต ในช่วงระยะทางประมาณ 800 เมตร แสดงให้เห็นว่า LoRa สามารถใช้ในพื้นที่แวดล้อมที่มีการรบกวนต่อสัญญาณในสภาพแวดล้อมที่เป็นชนบทหรือในบริเวณป่าได้ ในขณะที่เดียวกันได้ทำการ

ทดลองการส่งข้อมูลของ LoRa ในรูปแบบ Single-Hop เพื่อทำการหาค่าประสิทธิภาพการสื่อสารของระบบโดยทำการปรับเปลี่ยนค่าแบนด์วิธของความถี่ และค่าของ SF (Spreading Factor) ซึ่งได้ข้อสรุปว่าเมื่อทำการเพิ่มแบนด์วิธของข้อมูลมากขึ้นในขณะที่ค่าของ SF (Spreading Factor) ที่ต่ำจะได้ระยะทางที่สั้นซึ่งจากการทดลองจะอยู่ในระยะทาง 300 เมตรโดยประมาณในขณะที่ระยะเวลาการส่งข้อมูลจะมีค่าที่ต่ำซึ่งอยู่ที่ประมาณ 500 ms ในขณะที่ทำการลดแบนด์วิธให้มีขนาดที่แคบลงและทำการเพิ่มค่า SF (Spreading Factor) ให้สูงขึ้นจะได้ระยะทางที่ไกลขึ้นจากการทดลองพบว่าได้ระยะทางสูงสุดที่ 1,200 เมตรในขณะที่ระยะเวลาการส่งข้อมูลจะมีค่าที่ต่ำซึ่งอยู่ที่ประมาณ 6,692 ms และเมื่อทำการทดลองการสื่อสารแบบ Two-Hop ในระยะทางที่ต่างกันเพื่อทดสอบประสิทธิภาพนั้นจะได้ระยะเวลาการส่งข้อมูลเท่ากับ 835 ms เมื่อกำหนดความถี่แบนด์วิธที่ 250 kHz และเมื่อมีการกำหนดความถี่แบนด์วิธที่ต่ำสุดที่ 56 kHz ซึ่งจะมีค่า ระยะเวลาการส่งข้อมูลเท่ากับ 13,410 ms

จากงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างการทำการเชื่อมต่อสื่อสารด้วยเทคโนโลยี LoRa ที่ทำการเชื่อมต่อแบบ Mesh Network เพื่อทำการประยุกต์นำมาใช้งานกับเซ็นเซอร์ตรวจจับความร้อนจากการเกิดไฟฟ้า ดังรูปที่ 10 เพื่อทำการเพิ่มระยะทางในการส่งข้อมูลเนื่องจากระยะทางที่อยู่ในพื้นที่บ้านนั้นมีระยะทางไกลเกินระยะทางของการที่จะสามารถเชื่อมต่อแบบ Star to Star ได้ ดังนั้นเทคนิคการส่งข้อมูลแบบ Two-Hop นี้สามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับงานด้านสิ่งแวดล้อมและอุตสาหกรรมได้ในอนาคต

4. อภิปรายและสรุปผล

จากงานวิจัยที่ทำการออกแบบและทดลองการส่งข้อมูลสถานะของเซ็นเซอร์ตรวจจับความร้อนจากการเกิดไฟฟ้าผ่านโครงข่าย LoRa-Based Mesh Network นั้นแม้จะมีประโยชน์ในด้านการใช้งานในการเพิ่มระยะทางการส่งข้อมูลให้ได้ไกลออกไปเมื่อเทียบกับการติดต่อสื่อสารในรูปแบบ Star to Star แต่ทางผู้วิจัยยังเห็นจุดที่จะต้องมีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการส่งข้อมูลผ่าน

โครงข่าย LoRa-Based Mesh Network ให้ดีขึ้นโดยแบ่งเป็นสองประเด็นดังนี้

1. เมื่อต้องการระยะทางไกลที่มากขึ้นจากเดิมระบบจำเป็นจะต้องทำการเพิ่มกำลังส่งในการส่งข้อมูลซึ่งในตัวโมดูล LoRa เองนั้นมีข้อจำกัดด้านกำลังส่งที่ไม่เกิน +20 dBm [11] ดังนั้นสามารถที่จะเพิ่มอัตราการขยายของกำลังงานส่งด้วยการเพิ่มอัตราการขยายของสายอากาศให้มีค่าที่สูงขึ้นจะสามารถทำให้โหนดเซ็นเซอร์นั้นส่งข้อมูลและรับข้อมูลกันได้ดียิ่งขึ้นตัวอย่างเช่นในงานวิจัยเลือกใช้สายอากาศแบบ Monopole ที่มีอัตราการขยายสัญญาณเท่ากับ 3dBi เมื่อเพิ่มอัตราการขยายของสายอากาศให้มีขนาด 6 dBi จะทำให้กำลังงานที่ได้มีค่ามากเป็นเท่าตัวในเชิงทฤษฎีเป็นต้น

2. ตำแหน่งของการวางโหนดเซ็นเซอร์ก็เป็นส่วนสำคัญต่อระยะทางในการส่งข้อมูล หากทำการติดตั้งในสถานที่ที่มีการบดบังคลื่น เช่นมีกลุ่มต้นไม้ที่บดบังเป็นจำนวนมากจะส่งผลกระทบต่อลดทอนของสัญญาณและจะทำให้ระยะทางที่ได้มีค่าที่ลดลงดังนั้นในการติดตั้งที่ดีจึงมีตำแหน่งที่เหมาะสมเช่นในที่โล่งจากการบดบัง และอีกประการหนึ่งคือการเลือกใช้งานความถี่แบนด์วิธที่เหมาะสมเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ระยะของการส่งข้อมูลส่งได้ไกลขึ้นหากต้องการระยะทางที่ไกลควรทำการเลือกแบนด์วิธให้แคบลงแต่อาจจะส่งผลให้ระยะเวลาการส่งข้อมูลนั้นมีค่าที่สูงขึ้นอย่างไรก็ตามระยะเวลาการส่งข้อมูลนั้นอาจจะเป็นส่วนที่ไม่สำคัญมาก

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. L. Albuerne, M. C. Fernández, G. A. L. Castillo, L. A. C. Alava, "General Information about the Design of Smart Grids in Universities," *International Research Journal of Engineering IT & Scientific Research (IRJEIS)*, vol. 2, no. 9, pp. 46-52, Sep. 2016.
- [2] S. Dave, M. Sooriyabandara, M. Yearworth, "A Systems Approach to the Smart Grid," in *First International Conference on Smart Grids, Green Communications and IT Energy-aware*

-
- Technologies (ENERGY 2011), Venice, Italy, May 22-27, 2011, pp. 130 - 134.
- [3] A. Ghasempour, T. K. Moon, "Optimizing the Number of Collectors in Machine-to-Machine Advanced Metering Infrastructure Architecture for Internet of Things-Based Smart Grid," *2016 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech), Kansas City, USA*, 02 May 2016, pp.51-55.
- [4] X. Bin, C. Qing, M. Jun, Y. Yan, Z. Zhixia, "Research on a Kind of Ubiquitous Power Internet of Things System for Strong Smart Power Grid," *2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), Chengdu, China*, October, 24, 2019, pp.2805-2808
- [5] J.Khonrang, K.Boonlom, A.Siri, J.Klinhnu, "The Design and Development of Micro Grid Electrical Power Supply for Seismo Sensor with An Artificial Perceptron Neural Network," *Review of International Geographical Education Online*. 2021, vol. 11 no. 9, pp.2711-2721.
- [6] K.Boonlom, S.Winyangkul, "A Control System of Velocity for Rice Sowing Robot in Mud Rice Field," *2018 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Chiang Rai, Thailand*, January. 20, 2019. (In Thai)
- [7] L.Maziero, T.B.Marchesan, C. H. Barriquello, D. Pinheiro, Bernardon, F. G. Carloto, F. G. Reck, W.D. Vizzotto, F. V. Garcia. "Monitoring of Electric Parameters in the Federal University of Santa Maria Using LoRaWAN Technology," *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America), Gramado, Brazil*, November, 11, 2019, pp.1-6.
- [8] P. Chaudhari, A. K. Tiwari, S. Pattewar, S. N. Shelke, "Smart Infrastructure Monitoring using LoRaWAN Technology," *2021 International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN), Puducherry, India*, September,06, 2021, pp. 1-6.
- [9] K. Boonlorm, S. Winyangkul, A. Siri, "Design and Analysis of Appropriate Drug Order Quantity Using Estimation Static Economical Order Quantity with RFID Technology", *2018 Global Wireless Summit (GWS), Chiang Rai, Thailand*, April, 11 2019, pp.47-50. (In Thai)
- [10] R. Viratikul, K. Boonlom, E. Mancinelli, T. Amsdon, N. Chudpooti, U.W.Hartley, I. Robertson, V.Pensabene, J. Oberhammer, N. Somjit, "Electromagnetic Property Characterization and Sensing of Endothelial Cells Growth Medium and Dulbecco's Phosphate Buffered Saline Solution for in vitro Cell Culture," *2022 19th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Prachuap Khiri Khan, Thailand*, June, 16, 2022, pp.1-4. (In Thai)
- [11] M.J. Jeffin, G.M. Madhu, Akshayat Rao, Gurpreet Singh, C. Vyjayanthi, "Internet of Things Enabled Power Theft Detection and Smart Meter Monitoring System", *2020 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), Chennai, India*, September, 01, 2020, pp.0262-0267.
-

การประยุกต์ใช้สายอากาศระนาบแบบ 2 คลื่นความถี่ในการวิเคราะห์ ระดับความชื้นของข้าวเปลือก Application of dual band planar antenna to analyze the paddy moisture level

ปรามินทร์ วงษ์เจริญ* และ ประพนธ์ ลีกุล
Poramintra Wongcharoen* and Prapan Leekul

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University
*Email: poramintra.w@rbru.ac.th

Received: December 27, 2022; Revised: March 21, 2023; Accepted: April 07, 2023

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการแยกระดับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (S_{21}) ระหว่างสายอากาศระนาบ 2 ความถี่ ที่ติดตั้งตัวสะท้อนแบบมุมเพื่อเพิ่มอัตราการขยายและควบคุมทิศทางคลื่น ณ ความถี่ 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ในการทดสอบวัดความชื้น สายอากาศตัวที่ 1 ต่อเข้ากับช่องเอาต์พุตของเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเพื่อส่งกำลังงานไปที่ข้าวเปลือกและสายอากาศตัวที่ 2 เชื่อมต่อกับช่องอินพุตทำหน้าที่รับกำลังงานที่ส่งผ่านจากข้าวเปลือกตัวอย่าง ระดับความชื้นที่พิจารณาอยู่ในช่วงร้อยละ 12 ถึง 22 แบ่งเป็น 6 ระดับ โดยแต่ละระดับความชื้นทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง จากการทดสอบพบว่าที่ความถี่ 0.915 กิกะเฮิรตซ์ ความชื้นร้อยละ 12, 16 และ 22 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านเฉลี่ยอยู่ที่ -30.87 -30.73 และ -30.53 เดซิเบลมิลลิวัตต์ ขณะที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านเฉลี่ยอยู่ที่ -38.87 -37.25 และ -35.47 เดซิเบลมิลลิวัตต์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของทั้ง 2 ความถี่ อยู่ที่ 0.02 และ 0.2 จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการส่งผ่านกำลังงานในคาบเวลาเดียวกันที่ความถี่ 0.915 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านมีพิสัยในการจำแนกระดับความชื้นที่ใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านมีพิสัยการจำแนกระดับความชื้นข้าวเปลือกที่แตกต่างอย่างชัดเจน ดังนั้นเพื่อให้การจำแนกมีความแม่นยำค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของ 2 ความถี่ จึงได้รับการประยุกต์ใช้ในการแยกระดับความชื้นข้าวเปลือก

คำสำคัญ : ความชื้นข้าวเปลือก, ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน, สายอากาศระนาบแบบ 2 ความถี่

Abstract

This article offers a moisture content classification of paddy by using the transmission coefficient (S_{21}) obtained from dual band planar antennas installed on corner reflectors to increase gain and control the direction of antenna beam at the frequencies of 0.915 and 2.45 GHz. In the experiments, the first antenna was set as transmitting antenna connected to output channel of Vector Network Analyzer (VNA) while the second was set as receiving antenna connected to input channel to receive the power through

to the paddy. The paddy sample used in the experiments was varied the moisture content for 6 level in the range 12-22%. The measurements were repeatedly done for 10 times at each moisture content level. The results showed that the average of measured transmission coefficients at the frequency of 0.915 GHz were -30.87, -30.73, and -30.53 dBm at the moisture content level of 12%, 16%, and 22%, respectively while they were -38.87, -37.25, and -35.47 dBm at the frequency of 2.45 GHz. Moreover, the averaged standard deviation of measured results at both frequencies were 0.02 and 0.2, respectively. It can be concluded that transmission coefficients have distinguished narrow range at the frequency 0.915 GHz, but they have wider and obvious classification range at the 2.45 GHz frequency. Consequently, the dual band of transmission coefficients investigation are considered to apply for the moisture content classification of paddy.

Keywords : Paddy moisture level, Transmission coefficient, Dual band planar antenna

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญเพราะเป็นอาหารหลักของประชากรส่วนใหญ่กว่าหนึ่งร้อยประเทศทั่วโลกคิดเป็นปริมาณการเพาะปลูก 700 ล้านตันต่อปี หรือ 470 ล้านตันข้าวสาร ซึ่งไทยเป็น 1 ใน 3 ประเทศผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่เนื่องจากประชากรไทยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกี่ยวกับภาคการเกษตร มีการเพาะปลูกข้าวคิดเป็นร้อยละ 50 ของพื้นที่สำหรับการเกษตรกรรมทั้งหมด มีผลผลิตแบ่งเป็นปริมาณการบริโภคภายในประเทศร้อยละ 55 และปริมาณการส่งออกร้อยละ 45 คิดเป็นรายได้ของประเทศไทยร้อยละ 20 [1,2] โดยปกติข้าวเปลือกมีระดับความชื้นฐานเปียก (wet basis) เมื่อเก็บเกี่ยวอยู่ที่ร้อยละ 18-24 หลังจากนั้นจึงนำไปลดความชื้นให้อยู่ในระดับความชื้นฐานเปียกที่ร้อยละ 14-15 เพื่อการบริโภคภายในประเทศ และการส่งออกไปขายต่างประเทศหรือการเก็บรักษามะลัดพันธ์ สำหรับข้าวเปลือกที่มีความชื้นเกินร้อยละ 15 ในส่วนของน้ำหนักและราคาจะถูกปรับลดลงตามข้อกำหนดของกรมการค้าภายใน [3] รูปแบบการลดความชื้นในข้าวเปลือกของชาวนาคือการตากข้าวบนลานกว้างเพื่อให้อุณหภูมิจากดวงอาทิตย์ และการเคลื่อนที่ของอากาศนำความชื้นออกจากเมล็ดข้าวเปลือกให้ได้มากที่สุด ซึ่งการประมาณระดับความชื้นข้าวเปลือกอาศัยประสบการณ์ของชาวนา และไม่มีการสอบเทียบด้วยเครื่องมือวัดความชื้นก่อนนำไปขาย ส่งผลให้ชาวนาประสบปัญหาการถูกตัดราคาเมื่อข้าวเปลือกมีระดับความชื้นเกิน

ร้อยละ 15 [3-4] ดังนั้นการสร้างเครื่องมือวัดความชื้นข้าวเปลือกที่มีความน่าเชื่อถือจึงเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งเสริมในด้านการแปรรูปผลผลิตให้เป็นไปตามกลไกตลาดเพื่อช่วยแก้ปัญหาด้านราคาผลผลิตของเกษตรกร

การวัดความชื้นข้าวมีวิธีตรวจวัดทั้งแบบทางตรง (direct method) และแบบทางอ้อม (indirect method) การวัดทางตรงเกี่ยวข้องกับการคำนวณผลต่างน้ำหนักข้าวเปลือกทั้งก่อนและหลังการอบลดความชื้น แม้ว่าเป็นวิธีวัดความชื้นที่มีความแม่นยำแต่ใช้เวลานาน การวัดแบบทางอ้อมเกี่ยวข้องกับการวัดความชื้นซึ่งสัมพันธ์กับความต้านกระแสไฟฟ้า หรือความจุไฟฟ้าของข้าวเปลือก คลื่นอินฟราเรดระยะใกล้ คลื่นไมโครเวฟ [5] ในปี 2018 โร และคณะนำเสนอเครื่องมือวัดความชื้นเมล็ดพืชใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความจุไฟฟ้าตามค่าคงที่ไดอิเล็กตริกโดยสอบเทียบค่าความชื้นกับเมล็ดข้าวเปลือก ถั่วเหลือง และข้าวสาลีสามารถวัดความชื้นได้ในช่วงร้อยละ 8-25 ความแม่นยำอยู่ที่ร้อยละ ± 1 [7] แต่ข้อจำกัดเรื่องความแม่นยำของวิธีนี้คือต้องเตรียมปริมาณข้าวเปลือกให้เหมาะสมกับภาชนะต่อมาในปี 2019 ลิน และคณะนำเสนอเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นเมล็ดข้าวด้วยเทคนิคการวิเคราะห์คลื่นในย่านใกล้อินฟราเรด (NIR) แสดงผลประเมินค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ความชื้นข้าวเปลือกในช่วงความชื้นร้อยละ 13-30 มีความแม่นยำอยู่ที่ 0.936 [8] เช่นเดียวกับการศึกษาความชื้นข้าวเปลือก ราวิ และคณะในปี 2014 ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบด้วยคลื่นแสงในย่านใกล้

อินฟราเรด แสดงผลประเมินค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนใจ (R^2) มีความแม่นยำอยู่ที่ 0.97 [9] แต่งานวิจัยดังกล่าวมีข้อจำกัดในด้านสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการทดสอบและเครื่องมือวิเคราะห์ผลมีราคาสูง ต่อมาในปี พ.ศ. 2561 ประพันธ์ ลีกุล และพรพิมล ฉายแสง นำเสนอการประยุกต์ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนผ่านของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อแบ่งระดับความชื้นข้าวเปลือกระหว่างสายอากาศตัวรับและตัวส่งที่ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ [6] ผลการวิจัยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นข้าวเปลือกที่มีผลต่อพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญตามคุณสมบัติค่าไดอิเล็กตริกของข้าวเปลือกที่ระดับความชื้น 56 – 64 % ซึ่งยังไม่อยู่ในระดับความชื้นที่ยังคงคุณภาพของข้าวเปลือก แต่มีความน่าสนใจในการศึกษาปัจจัยแปรผันของความชื้นข้าวเปลือกตามคุณสมบัติค่าไดอิเล็กตริก ซึ่งบทความบทวนของสถิติกับตา ได้อธิบายถึงข้อข้อดีอย่างชัดเจนในการใช้สายอากาศที่แพร่กระจายแบบมีทิศทางสำหรับการวัดความชื้นวัสดุขนาดเล็กที่มีคุณสมบัติค่าไดอิเล็กตริกด้วยเทคนิคการใช้คลื่นไมโครเวฟเนื่องจากการสอบเทียบ (calibration) สามารถชดเชยค่าการลดทอนของวัสดุที่เกิดจากอุณหภูมิและช่องว่างระหว่างวัสดุได้ง่าย [10] คุณสมบัติค่าไดอิเล็กตริกที่แปรผันตรงกับความชื้นในผลิตภัณฑ์เกษตรเป็นประเด็นที่มีการศึกษาแพร่หลาย [11-15] และมีความเป็นไปได้ต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อสร้างเครื่องมือสำหรับนำไปช่วยเหลือเกษตรกรแก้ไขปัญหาด้านราคาผลผลิตจากการตัดราคาเนื่องจากความชื้นของผลิตภัณฑ์เกษตรเกินมาตรฐาน

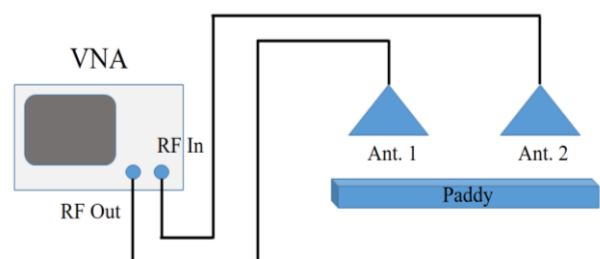
บทความนี้จึงนำเสนอการวิเคราะห์ระดับความชื้นข้าวเปลือกด้วยการส่งผ่านกำลังงานคลื่นความถี่โดยประยุกต์ใช้สายอากาศระนาบแบบ 2 คลื่นความถี่ คือ 0.915 เพื่อใช้อ้างอิงผลความชื้นข้าวเปลือกตามที่มีงานวิจัยนำเสนอก่อนหน้านี้ และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงข้อจำกัดด้านการจำแนกระดับความชื้นข้าวเปลือกและการประยุกต์ใช้งานสำหรับการทดสอบวัดระดับความชื้นข้าวเปลือกแบ่งเป็น 6 ระดับ ในช่วงร้อยละ 12 ถึง 22 มีเนื้อหาประกอบด้วย บทความส่วนแรกเสนอการวิเคราะห์ความสามารถและข้อจำกัดในงานก่อนหน้านี้เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาระบบตรวจวัด ส่วนที่ 2 อธิบายวิธีวิจัยการจำลองโครงสร้าง ประสิทธิภาพ และแบบรูปการ

แพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ส่วนที่ 3 แสดงการจำลองการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นข้าวเปลือกด้วยสายอากาศระนาบ 2 ความถี่ โดยการปรับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกให้สอดคล้องกับความชื้นร้อยละ 12 ถึง 22 ส่วนที่ 4 การทดสอบการวัดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกทั้งหมด 6 ระดับ โดยทำซ้ำทั้งหมดจำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละระดับความชื้น สุดท้ายเป็นการสรุปผล

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ระบบการวัดที่นำเสนอ

วิธีวัดความชื้นข้าวเปลือกที่นำเสนอในบทความนี้เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เครือข่ายจากกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในรูปแบบของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (transmission coefficient) ซึ่งเกิดจากการสะท้อนผ่านวัตถุในทิศทางตั้งฉากกับสายอากาศส่งและรับ อุปกรณ์ประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายทำหน้าที่ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากช่อง RF Out ผ่านสายโคแอกเซียลส่งออกไปสายอากาศตัวที่ 1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งออกไปในทิศทางตั้งฉากกับข้าวเปลือก เมื่อกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสะท้อนผ่านข้าวเปลือกมาที่สายอากาศตัวที่ 2 ผ่านสายโคแอกเซียลไปที่ช่อง RF In และวิเคราะห์เป็นค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ซึ่งมีขนาดที่แปรผันกับค่าไดอิเล็กตริก ($\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$) ตามคุณสมบัติทางไฟฟ้า และขึ้นอยู่กับระดับความชื้นของข้าวเปลือก สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

2.2 จำลองการพัฒนาสายอากาศ

พื้นฐานของสายอากาศที่ใช้ในงานวิจัยพัฒนามาจากสายอากาศแบบไมโครสตริป (microstrip) เนื่องจาก

ลักษณะองค์ประกอบของสายอากาศมีความซับซ้อนต่ำ (low-profile) และสามารถปรับแต่งการทำงานได้ดีที่ความถี่ 2 ย่าน [16] องค์ประกอบของสายอากาศถูกพัฒนาบนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิด FR-4 และโครงสร้างได้รับการจำลองเพื่อหาขนาดที่เหมาะสม โดยใช้การปรับระยะกราวด์สตริป gl และ gh รวมถึงการปรับค่าตัวเก็บประจุและค่าตัวเหนี่ยวนำเพื่อให้สายอากาศทำงานได้ดีที่ความถี่ 2.45 และ 0.915 กิกะเฮิรตซ์ โดยใช้โปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (CST Microwave Studio 2019) ลักษณะโครงสร้างตัวนำสัญญาณของสายอากาศแสดงดังรูปที่ 2 (ก) และระนาบกราวด์แสดงในรูปที่ 2 (ข) ขนาดของโครงสร้างและอุปกรณ์ที่ใช้ในสายอากาศแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งการกำหนดจากโครงสร้างและองค์ประกอบเป็นตัวแปรตั้งต้นตามสมการที่ (1) และ (2) [17] และกำหนดขนาดอุปกรณ์ภายใต้เงื่อนไขอิมพีแดนซ์แมตช์ (impedance matched condition) ตามสมการที่ (3) [19]

$$w = \frac{v}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$L = \frac{v}{2f - \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (2)$$

$$Z_0 = jX + \frac{1}{jB + 1/(R_L + jX_L)} \quad (3)$$

จากนั้นสายอากาศได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วยการทำงานร่วมกับตัวสะท้อนคลื่นแบบมุม 90° (corner reflector) ซึ่งมีหน้าที่ปรับแบบรูปการแผ่พลังงานให้สามารถระบุทิศทาง (directional pattern) เพื่อให้ส่งกำลังงานไปที่ขั้วเปลือกตัวอย่าง รวมถึงการเพิ่มอัตราการขยายของสายอากาศต้นแบบมีโครงสร้างลักษณะตามรูปที่ 3 ประกอบด้วยแผ่นวงจรพิมพ์แบบหนึ่งหน้าขนาดความกว้าง h ยาว l ประกอบกันทำมุม 90° เมื่อแผ่นวงจรพิมพ์ประกบกันมีขนาดตัวสะท้อนเท่ากับ D และมีระยะสายอากาศคือ sa ซึ่งตัวแปรต่างๆ มีขนาดที่สามารถพิจารณาได้ตามสมการที่ (4) – (7) ดังนี้ [18]

$$\lambda < D < 2\lambda \quad (4)$$

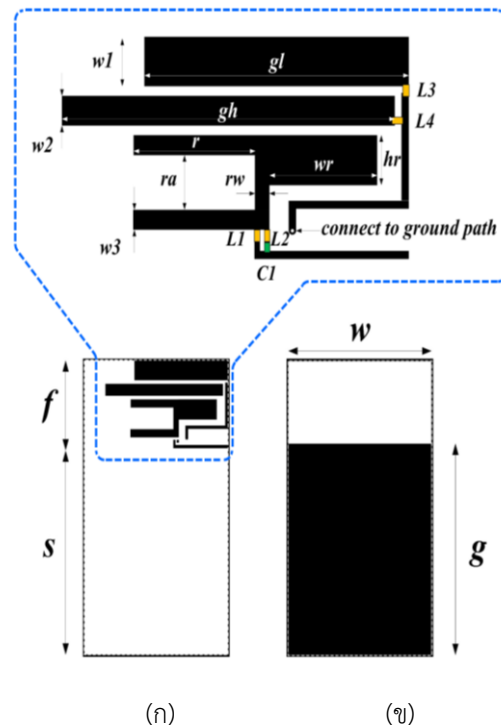
$$l \approx 2s \quad (5)$$

$$\lambda/3 < s < 2\lambda/3 \quad (6)$$

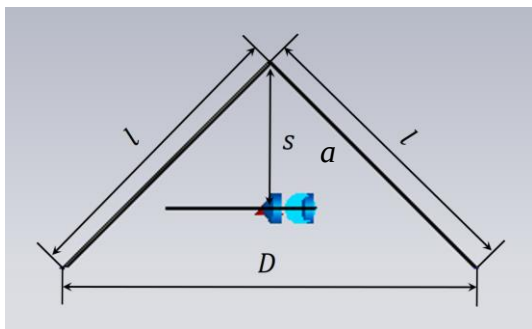
$$h > (1.2 - 1.5) \text{ เท่าของสายอากาศหลัก} \quad (7)$$

ตารางที่ 1 ข้อมูลตัวแปรและขนาดตัวแปรสายอากาศ

ตัวแปร	ขนาดตัวแปร	ตัวแปร	ขนาดตัวแปร
f	23 mm	rw	1.6 mm
s	52 mm	wr	11.9 mm
w	45 mm	hr	5 mm
g	54 mm	h	112 mm
line	0.8 mm	l	146 mm
gl	29.3 mm	sa	73 mm
w1	5 mm	D	206 mm
w2	3 mm	C1	2.4 pF
w3	2 mm	L1	2.4 nH
gh	36.9 mm	L2	5.6 nH
r	13.5 mm	L3	6.8 nH
ra	5.5 mm	L4	19 nH

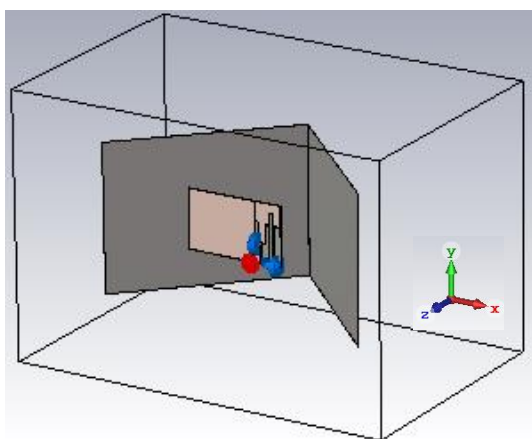


รูปที่ 2 โครงสร้างของสายอากาศ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

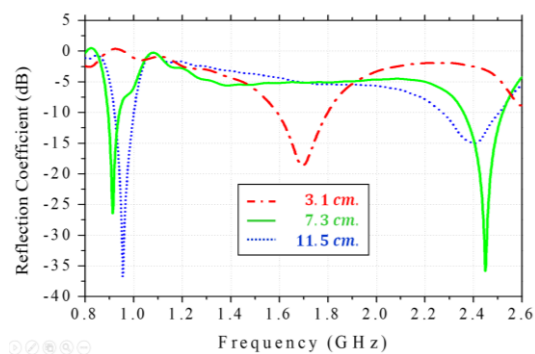


รูปที่ 3 โครงสร้างตัวสะท้อนคลื่นแบบมุม

การวิเคราะห์ค่าอัตราขยายและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) ที่เกิดจากระยะห่างระหว่างสายอากาศและตัวสะท้อนคลื่นแบบมุมมีลักษณะการติดตั้งตามรูปที่ 4 รวมถึงทิศทางการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นข้อมูลที่ใช้ในการพิจารณาคุณสมบัติของสายอากาศ ซึ่งระยะการติดตั้งตัวสะท้อนดังกล่าวพิจารณาจากสมการที่ (6) แสดงการจำลองและผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากการกำหนดระยะติดตั้งตัวสะท้อนคลื่นทั้งหมด 3 ระยะ คือ 3.1 7.3 และ 11.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ผลการจำลองพบว่าระยะที่เหมาะสม คือ 7.3 เซนติเมตร โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ความถี่ทำงาน 0.915 และ 2.45 กิโลเฮิร์ตซ์ มีขนาดอยู่ที่ -25.47 และ -35.26 เดซิเบล ดังแสดงในรูปที่ 5



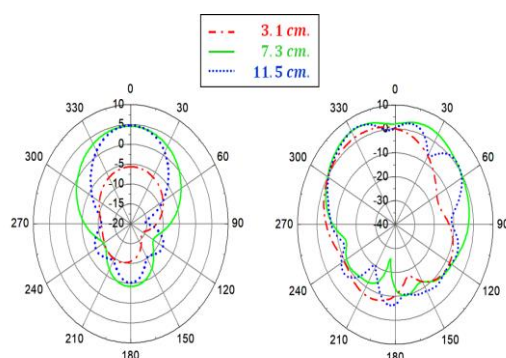
รูปที่ 4 โครงสร้างสายอากาศและตัวสะท้อนคลื่นแบบมุม



รูปที่ 5 ผลจำลองการปรับระยะตัวสะท้อนคลื่นแบบมุม

สำหรับการติดตั้งสายอากาศต้นแบบกับตัวสะท้อนคลื่นถูกจัดวางในลักษณะแบบรูปการแผ่พลังงานร่วมขั้ว (co-polarized) ซึ่งมีลำคลื่นหลักเมื่อพิจารณาตำแหน่งสายอากาศตามระยะการติดตั้งตัวสะท้อนคลื่นแบบมุมที่มีความถี่ 0.915 กิโลเฮิร์ตซ์ มีลักษณะระนาบทิศทาง (directional) มีอัตราขยาย 3.59 เดซิเบลไอโซโทรปิก ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) และที่ความถี่ 2.45 กิโลเฮิร์ตซ์ ความเข้มสนามไฟฟ้ามีทิศทางแพร่กระจายคลื่นออกทางด้านหน้าของสายอากาศและให้อัตราขยายที่ 4.05 เดซิเบลไอโซโทรปิก ดังแสดงในรูปที่ 6 (ข)

เพราะฉะนั้นเมื่อพิจารณาค่าอัตราขยายและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของลำคลื่นหลักของสายอากาศทั้งสองความถี่จากระยะติดตั้งตัวสะท้อนคลื่นแบบมุมที่เหมาะสมอยู่ที่ 7.3 เซนติเมตร และสามารถติดตั้งเข้ากับระบบการตรวจวัดได้สะดวก



(ก) ความถี่ 0.915 กิโลเฮิร์ตซ์ (ข) ความถี่ 2.45 กิโลเฮิร์ตซ์

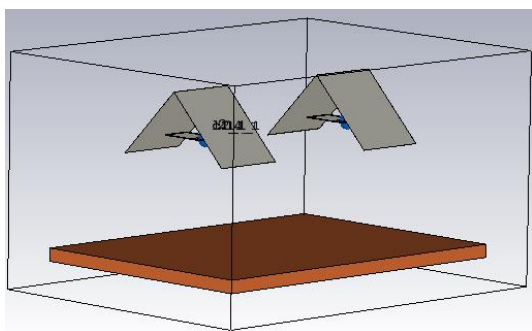
รูปที่ 6 แบบรูปการแผ่กระจายลำคลื่นหลักของสายอากาศ

3. จำลองระบบและพัฒนาสายอากาศต้นแบบ

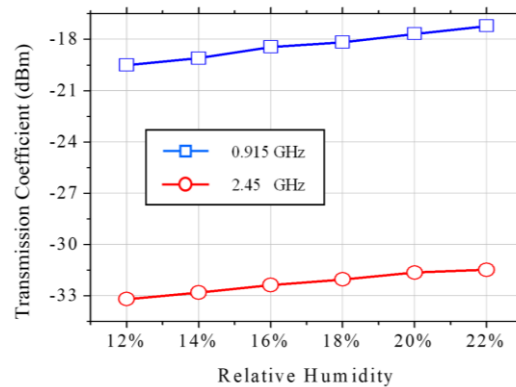
3.1 จำลองระบบตรวจวัด

เมื่อกำหนดโครงสร้างที่เหมาะสมของสายอากาศการจำลองระบบการตรวจวัดปริมาณความชื้นภายใต้การกำหนดเงื่อนไขการเปลี่ยนค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโมเดลข้าวเปลือกตามข้อมูลอ้างอิงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ระดับความชื้นร้อยละ 12 14 16 18 20 และ 22 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ อยู่ที่ 2.45, 2.66, 2.87, 3.11, 3.37 และ 3.63 ตามลำดับ [13] สำหรับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของความถี่ 0.915 กิกะเฮิรตซ์ มีขนาดประมาณ 2.89, 3.18, 3.47, 3.78, 4.09 และ 4.41 ซึ่งพิจารณาจากข้อมูลเชิงตัวเลขที่ระดับความชื้นในช่วงเดียวกันระหว่างความถี่ 0.3 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ [14] ในการจำลองระบบกำหนดปริมาตรตัวอย่างขนาด 32x63x2 เซนติเมตร สำหรับจำลองคุณสมบัติข้าวเปลือกตามระดับความชื้น ระบบการทดสอบความชื้นข้าวเปลือกประกอบด้วยสายอากาศต้นแบบตัวที่ 1 ทำหน้าที่ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และสายอากาศตัวที่ 2 ทำหน้าที่รับพลังงานที่สะท้อนผ่านข้าวเปลือก

ในรูปที่ 7 การจำลองระบบกำหนดกำลังส่งที่ 0 เดซิเบล แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านระดับความชื้นข้าวเปลือก ซึ่งจำลองเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเอกพันธ์ (homogeneous material) ที่ความถี่ทำงาน 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าความชื้นเพิ่มขึ้นในช่วง -19.5 ถึง -17.25 เดซิเบล และ -33.4 ถึง -31.5 เดซิเบล ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลการจำลองระดับความชื้นข้าวเปลือกตามรูปที่ 8 จึงอธิบายได้ว่ากำลังงานส่งผ่านที่สะท้อนออกมาจากข้าวเปลือกค่อนข้างสูงที่ความถี่ทำงาน 0.915 กิกะเฮิรตซ์ และลักษณะการแปรผันของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านอย่างเป็นเชิงเส้นตามค่าคงที่ไดอิเล็กตริกในแต่ละระดับความชื้นที่ความถี่ทำงานทั้งสองย่าน



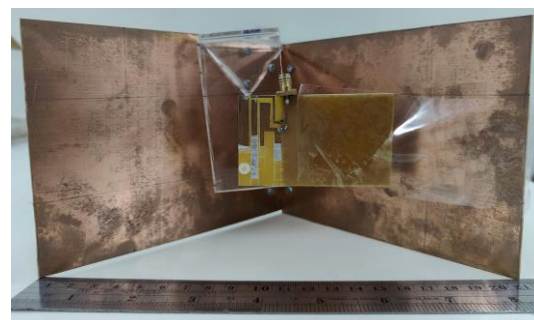
รูปที่ 7 การจัดองค์ประกอบจำลองการทดสอบ



รูปที่ 8 ผลจำลองค่าการสะท้อนผ่านกำลังงานตามระดับความชื้นข้าวเปลือก

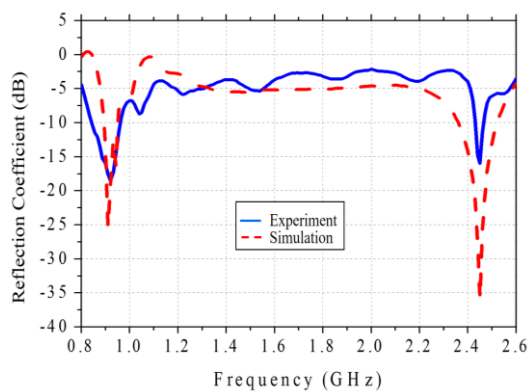
3.2 การพัฒนาสายอากาศต้นแบบ

จากการจำลองระบบตรวจวัดความชื้นข้าวเปลือกแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการจำแนกระดับความชื้นจากการส่งผ่านกำลังงานของ 2 คลื่นความถี่ที่สะท้อนมาจากข้าวเปลือก โดยสายอากาศต้นแบบที่ได้รับการพัฒนามีขนาดขององค์ประกอบสายอากาศและตัวสะท้อนคลื่นแบบมุมตามข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งในรูปที่ 9 แสดงลักษณะการติดตั้งตัวสะท้อนคลื่นอยู่ทางด้านหลังของสายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 9 สายอากาศต้นแบบและตัวสะท้อนคลื่นแบบมุม

สำหรับสายอากาศต้นแบบทั้งสองมีแนวโน้มคุณสมบัติสอดคล้องผลการจำลอง เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพสายอากาศด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายและเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกับผลการจำลองที่แสดงในรูปที่ 10



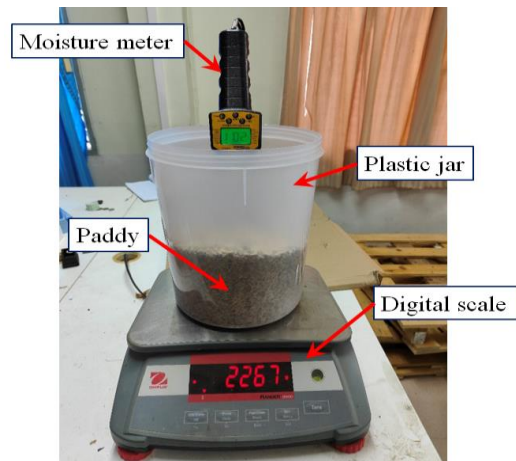
รูปที่ 10 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} ระหว่างผลการจำลองกับสายอากาศจริง

จากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน S_{11} แสดงให้เห็นว่าสายอากาศต้นแบบมีผลการทดสอบที่ความถี่ทำงาน 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ อยู่ที่ -17.90 และ -16.54 เดซิเบล เมื่อพิจารณาที่ความถี่ทำงานของการจำลอง คุณสมบัติสายอากาศมีขนาดอยู่ที่ -25.47 และ -35.26 เดซิเบล แม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีความแตกต่างกัน เนื่องจากค่าคงที่ไดอิเล็กทริกวัสดุของชิ้นงานจริงมีความคลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดของการจำลอง รวมถึงการปรับแต่งขนาดองค์ประกอบของสายอากาศต้นแบบและการบัดกรี แต่แนวโน้มความถี่ทำงานทั้งผลการจำลองคุณสมบัติและชิ้นงานสายอากาศต้นแบบยังเป็นไปในทิศทางที่สอดคล้องกัน ในทำนองเดียวกันตัวแปรอื่นของสายอากาศต้นแบบ เช่น แบบรูปการแผ่พลังงานมีลักษณะที่สอดคล้องกับผลการจำลองคุณสมบัติสายอากาศตามที่แสดงในรูปที่ 6 เพียงแต่กำลังการแผ่กระจายของความถี่ทำงานมีขนาดต่างกันเนื่องจากปัจจัยแวดล้อมของการทดสอบ

4. การทดสอบความชื้นข้าวเปลือก

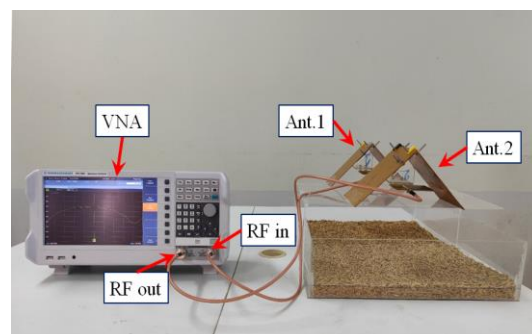
ขั้นตอนการทดสอบความชื้นข้าวเปลือกเริ่มจากการเตรียมภาชนะบรรจุจำนวน 6 ใบ สำหรับบรรจุข้าวเปลือกตัวอย่างที่แบ่งเป็น 6 ระดับ จากนั้นตวงข้าวเปลือกตัวอย่างโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลซึ่งข้าวเปลือกน้ำหนัก 2,200 กรัม ใส่ภาชนะและวัดระดับความชื้นข้าวเปลือกตัวอย่างด้วยเครื่องมือมาตรฐานตามระดับความชื้นที่กำหนด คือ ร้อยละ 12, 14, 16, 18, 20 และ 22 เพื่อนำไปตรวจวัดค่า

สัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่สะท้อนจากข้าวเปลือกตามระดับความชื้นที่กำหนดจำนวน 10 รอบการทดสอบ โดยเริ่มที่ร้อยละ 12 และเปลี่ยนสูตรรอบการทดสอบที่ความชื้นร้อยละ 22 ในรูปที่ 11 แสดงการวัดระดับความชื้นของข้าวเปลือกทุกครั้งก่อนนำไปใส่กระบะอะคริลิกเพื่อทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่สะท้อนจากข้าวเปลือก



รูปที่ 11 การวัดความชื้นและน้ำหนักของข้าวเปลือกตัวอย่าง

อุปกรณ์สำหรับการทดสอบแสดงในรูปที่ 12 ประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์เครือข่ายไฟฟ้ายี่ห้อ Rohde & Schwarz รุ่น FPC1500 เชื่อมต่อกับสายโคแอกเซียลชนิดสูญเสียต่ำ (low loss coaxial cable) อิมพีแดนซ์ 50 โอห์มกับสายอากาศตัวที่ 1 ที่ช่องเอาต์พุต และสายอากาศตัวที่ 2 ที่ช่องอินพุต ทำหน้าที่ส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีระยะติดตั้งสายอากาศบนฐานอะคริลิกวางห่างกัน 18 เซนติเมตร และกระบะอะคริลิกสำหรับบรรจุข้าวเปลือกเพื่อทดสอบความชื้นข้าวเปลือกตัวอย่างขนาด 32x63x12 เซนติเมตร มีระยะของสายอากาศห่างจากข้าวเปลือก 15 เซนติเมตร

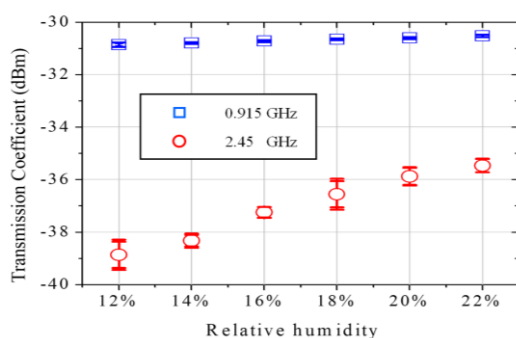


รูปที่ 12 อุปกรณ์วัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของคลื่นความถี่ในข้าวเปลือก

ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และแถบผิดพลาดที่ความถี่ 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

Moisture Content (%)	0.915		2.45	
	SD.	(±)	SD.	(±)
12	0.04	0.065	0.29	0.54
14	0.02	0.030	0.15	0.25
16	0.02	0.040	0.10	0.21
18	0.02	0.030	0.30	0.55
20	0.02	0.035	0.25	0.34
22	0.02	0.040	0.13	0.26

ข้าวเปลือกเมื่อได้รับการบรรจุลงในกระเบอะคริลิกและปรับผิวหน้าของข้าวเปลือกให้เรียบมีระยะความสูงจากพื้นกระเบ 2.5 เซนติเมตร เมื่อเริ่มการทดสอบกำหนดกำลังการส่งที่ 0 เดซิเบลมิลลิวัตต์ เพื่อตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่สะท้อนจากข้าวเปลือกในช่วงระดับความชื้นร้อยละ 12 ถึงร้อยละ 22 พบว่าที่ความถี่ทำงาน 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่สะท้อนจากข้าวเปลือกเฉลี่ยอยู่ที่ -30.87 ถึง -30.53 เดซิเบลมิลลิวัตต์ และ -38.87 ถึง -35.47 เดซิเบลมิลลิวัตต์ พบว่าที่แนวโน้มความคลาดเคลื่อนข้อมูลของคลื่นความถี่ 0.915 กิกะเฮิรตซ์ จากตารางที่ 2 มีค่าเบี่ยงเบนข้อมูลเฉลี่ยอยู่ที่ 0.02 และมีแถบความผิดพลาดของข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านเฉลี่ยอยู่ในช่วง +0.04 ถึง -0.04 ขณะเดียวกันข้อมูลวัดที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ แสดงให้เห็นแนวโน้มความคลาดเคลื่อนของข้อมูลและพิสัยของการจำแนกระดับความชื้นในข้าวเปลือก มีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.2 และมีแถบความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ในช่วง +0.37 ถึง -0.34



รูปที่ 13 แนวโน้มความคลาดเคลื่อนของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านตามระดับความชื้นข้าวเปลือก

ดังนั้น จากผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านข้าวเปลือกระดับความชื้นตั้งแต่ร้อยละ 12 ถึงร้อยละ 22 ที่นำเสนอในบทความนี้แสดงให้เห็นว่าที่ความถี่ทำงาน 0.915 กิกะเฮิรตซ์ ความเบี่ยงเบนของกำลังงานส่งผ่านในแต่ละระดับเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ แต่มีข้อจำกัดในด้านพิสัยที่ใช้พิจารณากระดับความชื้น ในขณะที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ พบว่าค่าเบี่ยงเบนของกำลังงานที่ส่งผ่านข้าวเปลือกมีระดับที่ค่อนข้างสูง แต่มีพิสัยในการพิจารณากระดับความชื้นที่ชัดเจน เมื่อพิจารณาในคาบเวลาเดียวกัน สำหรับข้อจำกัดด้านสภาพแวดล้อมที่ทดลองในพื้นที่เปิดมีการชดเชยความผิดพลาด โดยอาศัยการพิจารณาค่าเฉลี่ยการวัดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในแต่ละระดับความชื้นจำนวน 10 ครั้งเพื่อให้ผลทดสอบมีแนวโน้มใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุด ซึ่งในรูปที่ 13 แสดงแนวโน้ม และความแตกต่างของพิสัยสำหรับการจำแนกระดับความชื้นข้าวเปลือก แถบความผิดพลาดของข้อมูล รวมถึงค่าความเบี่ยงเบนที่สรุปในตารางที่ 2

5. สรุปผล

การประยุกต์ใช้สายอากาศระนาบแบบ 2 คลื่นความถี่ พัฒนาจากสายอากาศแบบไมโครสตริปที่มีองค์ประกอบของสายอากาศที่มีความซับซ้อนต่ำและติดตั้งตัวสะท้อนคลื่นเพื่อปรับแบบรูปการแผ่พลังงานให้มีทิศทางไปที่ข้าวเปลือกสำหรับพิจารณากระดับความชื้นซึ่งมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ความถี่ทำงาน 0.915 และ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันตามระดับความชื้นที่กำหนดไว้ 6 ระดับ ในช่วงร้อยละ 12 ถึงร้อยละ 22 แม้ว่าการตรวจวัดความชื้นข้าวเปลือกที่ความถี่ 0.915 กิกะเฮิรตซ์ ในงานที่ผ่านมา [5] และที่นำเสนอในบทความนี้จะพบว่าค่าความเบี่ยงเบนของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านมีแนวโน้มที่ค่อนข้างต่ำเฉลี่ยอยู่ที่ 0.02 แต่มีข้อจำกัดในด้านพิสัยสำหรับการพิจารณากระดับความชื้นข้าวเปลือกในช่วงที่นำเสนอ ซึ่งเฉลี่ยอยู่ที่ -30.87 -30.80 -30.73 -30.66 -30.61 และ -30.53 เดซิเบลมิลลิวัตต์ เมื่อพิจารณาความระดับชื้นในข้าวเปลือก หรือดิน [20] ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ แม้ว่าค่าความเบี่ยงเบนของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจะมีแนวโน้มที่ค่อนข้างสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 0.2 แต่ในด้านของพิสัยสำหรับการ

พิจารณาระดับความชื้นข้าวเปลือกในช่วงที่นำเสนอในบทความนี้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ -38.87 -38.33 -37.25 - 36.56 - 35.88 และ -35.47 เดซิเบลมิลลิวัตต์ ซึ่งมีพิสัยการจำแนก ระดับความชื้นของแต่ละระดับได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานควรเลือกที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ สำหรับการศึกษานี้แนวโน้มการลดทอนอย่างเป็นเชิงเส้นของวัสดุที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า

6. กิตติกรรมประกาศ

เนื้อหาในบทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเรื่องระบบวัดระดับความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้การวิเคราะห์การส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างสายอากาศระนาบแบบ 2 คลื่น ความถี่(The Paddy Moisture Level System using analyzed practical power transmission between plane antenna dual frequency.) และได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2566 เลขที่สัญญา 2231/2566

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Kummanee, A. Aungsuratana, C. Rojanaridpiched, S. Chanprame, K. Vijitsrikamol and S. Sakurai, "Input Factor Affecting Rice Seed Production in Thamai Sub-district, NakhonSawan Province, Lower Northern, Thailand," *Thai Journal of Agricultural Science*, vol. 51 no.1, pp.10-17, January–March 2018.
- [2] E. Yusiana, D. B Hakim, Y. Syaikat and T. Novianti, 2022 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 951 012039.
- [3] S. Hemhirun and P. Bunyawachakul, "Effect of the initial moisture content of the paddy drying operation for the small community," *Journal of Agricultural Engineering*, vol. 51, no.3, pp. 176-183. Sep. 2020
- [4] P. Chaisaeng, P. Leekul, P. Wongcharoen and P. Wongsiritor, "Paddy moisture detection by using reflection coefficient of electromagnetic waves," in *Proceeding of 10th Phuket Rajabhat University National Academic Conference 2017, Phuket Thailand*, December. 14, 2017, pp.387-394 (in Thai).
- [5] Q. Song, X. Wei, W. Sun, Z. Lu and T. Tao, "Design of Capacitive Paddy Moisture Sensor Based on Electrical Impedance Spectroscopy Analysis," *Applied Sciences*, Volume 10 Issue 11, 3968, 2020.
- [6] P. Chaisaeng and P. Leekul, "Transmission Coefficient of Electromagnetic Waves Application for Classifying Moisture Content Levels of Paddy," in *Proceeding of 5th PhetchabunRajabhat University National Academic Conference 2018, Phetchabun Thailand*, March. 8-9, 2018, pp. 366-375 (in Thai).
- [7] A.K. Rai, Bharati Dass and V.K. Tiwari, "Design of a probe type in situ electronic grain moisture measurement system," *Biosci. Biotech. Res. Comm.* Vol.11, No.2, pp. 246-250, 2018.
- [8] L. Lin, Yong He, Zhitao Xiao, Ke Zhao, Tao Dong and Pengcheng Nie, "Rapid-Detection Sensor for Rice Grain Moisture Based on NIR Spectroscopy," *Applied Sciences*, Volume 9 Issue 11, 1654, 2019
- [9] P. Ravi, ThirupathiVenkatachalam and Vennila Palanisamy, "Fourier Transform Near-Infrared Spectroscopy for Nondestructive and Rapid Measurement of Moisture Content of Paddy," *Agricultural Engineering*, Vol.39, No.3, pp.31-40, 2014.
- [10] L. Gupta, "Microwave Based Moisture Measurement System for Granular Materials: A Review," *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, Volume-6 Issue-6, pp.65-67, August 2017

- [11] S. H. Noh and S. O. Nelson, " Dielectric Properties of Rice at Frequencies from 50 Hz to 12 GHz, " *Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 32 No.3, pp. 991-998, May 1989
- [12] S. O. Nelson and A. W. Kraszewski, "Grain moisture content determination by microwave measurements," *Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers*, Vol.33 No.4, pp.1303-1305, July 1990.
- [13] S. O. Nelson, "Dielectric Properties of Agricultural Products: Measurements and Applications," *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, Vol.26 No.5, pp.845 - 869, November 1991.
- [14] S. O. Nelson, S. Trabelsi and A. W. Kraszewski, "RF Sensing of Grain and Seed Moisture Content," *IEEE SENSORS JOURNAL*, VOL. 1, NO. 2, August 2001.
- [15] S.O. Nelson, "Dielectric properties of agricultural products and some applications," *Research in Agricultural Engineering.*, Vol.54, No.2, pp.104-112, 2008.
- [16] S. Zahid, A. Quddious, F.A. Tahir, P. Vryonides, M. Antoniadis and S. Nikolaou, " Dual-Band Compact Antenna for UHF and ISM Systems," *European Conference on Antennas and Propagation 13th*, Krakow Poland, March. 31 – April. 5, 2019, page 1-5
- [17] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design (4th edition)*, Wiley, 2016, pp. 788-797.
- [18] J. D. Kraus, "The corner-reflector antenna," in *Proceeding of Institute of Radio Engineers*, vol. 28, no. 11, pp. 513-519, November 1940.
- [19] D. M. Pozar, *Microwave Engineering (4th edition)*, Wiley, 2012, pp. 228-234.
- [20] P. Thanasetwatthana, P. Chaisaeng and P. Leekul, "Non-contact Soil Moisture Content Determination System Using High Frequency Signal," *Thai Science and Technology Journal*, Vol.30, No.5, September 2022, pp. 37-49 (in Thai).

ผลกระทบของควิเตชั่นต่อเครื่องสูบน้ำหอยโข่งในระบบчилเลอร์ Effect of cavitation on Centrifugal pump on Chiller systems

วชิรพล แสนช้าง

Wachirapol Saensong

สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

¹Department of Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University

Email: Mon_evolution@hotmail.com

Received: December 09, 2022; Revised: May 19, 2023; Accepted: May 31, 2023

บทคัดย่อ

เครื่องสูบน้ำจะขณะไหลต่าง ๆ เพื่อจ่ายน้ำเข้าสู่ระบบแฟนคอยล์ยูนิตและแอร์แฮนด์ลิงยูนิตในระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ณ ด้านดูดของเครื่องสูบน้ำ ปัจจัยที่ทำให้สมรรถนะเครื่องสูบน้ำลดลงจากการชำรุดในตัวเรือนเครื่องสูบน้ำ ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์หาตำแหน่งที่ทำให้เกิดควิเตชั่นด้วยวิธีการติดตั้งเครื่องสูบน้ำที่ระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร และต่ำกว่า 10 เมตร เป็นปัจจัยศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้ และอ้างถึงความสามารถในการดูดของเครื่องสูบน้ำ เข้ามาช่วยวิเคราะห์ผลของควิเตชั่นที่เกิดขึ้นในตัวเรือนเครื่องสูบน้ำ ผลการทดสอบพบว่าการติดตั้งระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร ศักยภาพสร้างเฮดสถิตเท่ากับ 3 เมตร อัตราการไหล 1.46 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือน 10 เมตร กวาระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร ที่ 2.5 เปอร์เซ็นต์ การสร้างเฮดสถิตเพิ่มขึ้น 0.09 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหล 0.02 เปอร์เซ็นต์ อธิบายได้ว่าการที่ระดับผิวน้ำอยู่สูงหรือต่ำกว่าตัวเรือนเครื่องสูบน้ำนั้นไม่ได้ทำให้ศักยภาพการสร้างเฮดเปลี่ยนแปลงแต่จะทำให้เกิดควิเตชั่นที่แตกต่างกันหรืออธิบายได้อีกว่า ณ ความดันด้านดูดมีส่วนผสมของไอน้ำและก๊าซของเหลวเล็กน้อยทำให้เกิดควิเตชั่นก่อกวนโลหะมากขึ้น ที่ 28.95 เปอร์เซ็นต์ จากการติดตั้งระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือนเครื่องสูบน้ำ

คำสำคัญ : ควิเตชั่น, เครื่องสูบน้ำเย็นชนิดหอยโข่ง, เครื่องปรับอากาศแบบศูนย์รวม

Abstract

pumps will beat different loads. to supply water to the fan coil unit system and the air handling unit in the water-cooled air-conditioning system at the suction side of the pump. Factors decreasing pump performance from defects in the pump housing In this research, the location of cavitation was analyzed by installing the pump at the water surface level, 10 m higher than the housing and 10 m lower. as a study factor for this research and referred to net positive suction head to analyze the effect of cavitation that occurs in the pump housing The test results showed that water surface level is 10 meters higher than the housing, the static head generating potential was 3 meters, the flow rate was 1.46 cubic meters per second. water surface level is 10 meters below the housing, than the water surface is 10 meters above the housing at 2.5 percent. static head generation increased by 0.09 percent, flow rate by 0.02 percent. Explain that

being at a surface level higher or lower than the pump housing does not change the head generation potential but causes different cavitation. explain further that at the suction pressure, there is less water vapor and gas mixture of the liquid, causing the metal corrosion cavitation radius to be increased at 28.95 percent. from the water level installation below the pump housing.

Keywords : Cavitation, Water Chiller Pump Type Centrifugal Pump, Chiller System

1. บทนำ

เครื่องจักรกลของไหลที่ถูกออกแบบนำมาใช้ในระบบอุตสาหกรรม จะมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 55 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งอายุการใช้งานนานประสิทธิภาพก็จะลดลง พื้นฐานนี้มักจะขึ้นอยู่กับอะไหล่ที่อยู่ภายในเครื่องจักรกลของไหล เป็นปัญหาทำให้เกิดรายจ่ายที่ไม่เท่ากันในแต่ละปี จึงมีการตรวจสอบด้านวิศวกรรมอยู่เป็นประจำเพื่อให้อุตสาหกรรมเกิดความคุ้มค่า ระบบปรับอากาศในกระบวนการของเครื่องสูบน้ำทางด้านอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำเย็นเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบ เอเอชยู (AHU), แพนคอยล์ (FCU) จากการศึกษาหาผลกระทบของควาวิตีที่เกิดขึ้นมากสุดในเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (Chilled Water Centrifugal Pump) การไหลของของเหลวที่ถูกอัดด้วยความดันมีแนวโน้มลดลงจากรูปร่างของชุดใบพัดในลักษณะโค้งหลังในการหมุนของใบพัดมีทิศทางสวนทางกับของไหลทางด้านดูด นั้นจึงเกิดฟองอากาศสูงกว่าเครื่องสูบน้ำชนิดอื่น ๆ จึงเป็นเหตุทำให้ระบบคิลเลอร์ (Chilled) มีการกินกำลังไฟฟ้ามากขึ้นเนื่องด้วยเกิดการกัดกร่อนบนใบพัด (Impeller) รวมถึงการติดตั้งระบบเครื่องสูบน้ำที่มีพื้นที่จำกัดความดันทางด้านดูดมีค่าต่ำกว่าความดันไอสร้างความดันผ่านใบพัดเกิดไอระเหยและยุบตัวลง (การแตกตัวของฟองอากาศในจำนวนมาก) เกิดการสูญเสียเสถียรภาพ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของทั้งระบบอยู่ที่ 3 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ถ้ามองถึงระบบทั้งหมด

การวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้อ้างถึงทฤษฎีของ Rayleigh – Plesset แสดงให้เห็นผลกระทบของควาวิตี และหลักการพิจารณา NPSH (Net Positive Suction Head) อธิบายการเกิดปรากฏการณ์ควาวิตี

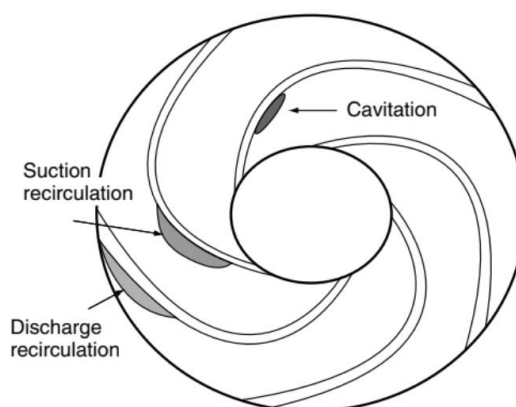
2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์แสดงข้อมูลการเกิดควาวิตีของเครื่องสูบน้ำหอยโข่ง ณ ความดันดูดเข้าสู่ระบบคิลเลอร์มีไหลขนาด 215 กิโลวัตต์ จากการติดตั้งที่จุดรับน้ำจากเครื่องสูบน้ำเย็น 2 จุด จุดที่ 1 ระดับผิวน้ำอยู่เหนือกว่าเครื่องสูบน้ำ และจุดที่สองระดับผิวน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับเครื่องสูบน้ำ วิเคราะห์ความดันด้านดูดผลของควาวิตีแตกต่างกันเพียงใด พร้อมอธิบายความดันด้านดูด ณ ช่วงใดที่ส่งผลต่อการกัดกร่อนใบพัดเครื่องสูบน้ำ

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 Rayleigh – Plesset Equation

ควาวิตี มีคุณลักษณะฟองอากาศเล็กในหลักของกลศาสตร์ของไหลคุณลักษณะไอน้ำที่เกิดขึ้นบนขอบเขตการไหลบนผิวขรุขระบนชุดใบพัดจนทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะของไหลภายใต้อุณหภูมิไม่คงที่ เมื่อมีความเร็วรอบป้อนจากมอเตอร์เข้ามาในระบบจะเกิดความดันเพิ่มมากขึ้น การกระแทกอนุภาคของฟองอากาศจะแทรกตัวเข้ากับพื้นผิวโลหะมากขึ้นการแตกตัวของฟองอากาศจะกัดกร่อนมากขึ้นในชั้นส่วนเครื่องจักรกลของไหล ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 จุดที่เกิดควาวิตีบนใบพัด

สมการไร้มิติ (Dimensionless) จะบ่งบอกว่า พารามิเตอร์สำคัญที่ทำให้เกิดคาวิตีชัน [1]

$$\sigma = \frac{P_d - P_s(T_\infty)}{\frac{1}{2}\rho U^2} \quad (1)$$

เมื่อ σ คือ ค่าคาวิตีชัน

P_d คือ ความดันด้านจ่าย (Pa)

P_s คือ ความดันด้านดูด (Pa)

T_∞ คือ อุณหภูมิของเหลว ($^{\circ}\text{C}$)

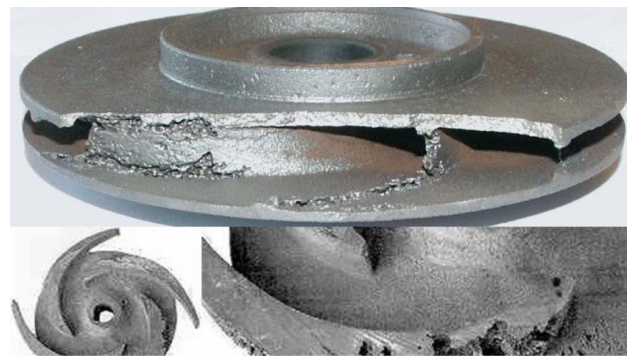
ρ คือ ความหนาแน่นของเหลว (kg / m^3)

U คือ เวกเตอร์ของเหลวบนใบพัด

จากสมการที่ (1) แสดงถึงผลของการเกิดความวิตีชัน ผลต่างของความดันด้านจ่าย (Discharge) กับด้านดูด (Suction) มีค่าน้อยจะช่วยลดการเกิดคาวิตีชันได้มากแต่ในทางกลับกันเมื่อพื้นที่ติดตั้งระบบท่อมมีข้อจำกัดความดันด้านดูด (Suction) จะมีค่าติดลบนั้นจะเป็นสาเหตุให้คาวิตีชันเพิ่มมากขึ้นในการที่จะไม่ให้ค่าคาวิตีชันมีค่าเป็นลบ ควรใช้หลักการ NPSH ช่วยในการลดการเกิดคาวิตีชัน หรือเป็นการคาดการณ์เพื่อให้เครื่องสูบน้ำสร้างศักยภาพเฮดได้ดีที่สุดก่อนการติดตั้งระบบเครื่องสูบน้ำและในกรณีติดตั้งเครื่องสูบน้ำแล้วโดยพิจารณาที่ระดับผิวน้ำต่ำกว่าหรือสูงกว่าตัวเรือนเครื่องสูบน้ำ ฉะนั้นแล้วปัญหาที่ระดับส่งผลต่อการเกิดคาวิตีชันสามารถแก้ไขเพียงการลดหรือเพิ่มระดับที่ผิวน้ำเท่านั้น

ไฮดรอฟอยล์ (Hydrofoil) อุปกรณ์ระบบเครื่องจักรกลของไหลจะเกิดแรงต้านของเหลวในอุณหภูมิที่ไม่คงที่ อุปกรณ์ที่พูดคือ ใบพัด เพลลา ภายในตัวเรือนเครื่องสูบน้ำต่อผลจากสภาพจะการไหลปั่นป่วนเกิดแรงเฉือนต่ำจากการกวักของเหลวของใบพัดความดันที่ส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องสูบน้ำเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาปัจจัยแรกจากการติดตั้งระบบผิวน้ำที่สูงกว่าตัวเรือนหรือต่ำกว่าตัวเรือนในลักษณะที่ระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือนจะใช้ความดันบรรยากาศเป็นตัวล้าเสียงของเหลวเข้าสู่ตัวเรือนโดยอาศัยเฉพาะชุดใบพัดเพื่อสร้างความดันด้านจ่ายให้เพียงพอต่อ

ความต้องการอุปกรณ์ที่พ่วงต่อและการสูญเสียความดันของของไหลเกิดขึ้นน้อยเนื่องด้วยรับภาระจากแรงโน้มถ่วงเท่านั้น จึงทำให้เกิดคาวิตีชันน้อย สำหรับการติดตั้งตัวเรือนที่ระดับผิวน้ำต่ำกว่าปัจจัยสูญเสียการไหลมีค่าที่สูงกว่าเช่นการสูญเสียจากการดูดของไหลที่วาล์วหัวกะโหลก ข้อจ้อ ท่อ ย่น ท่อไล่อากาศ เป็นต้น ในปัจจัยที่สองในสภาวะที่เครื่องสูบน้ำกำลังทำงานอยู่นั้นของไหลจะกระทบกับใบพัดอยู่ตลอดเวลาเป็นผลที่ทำให้เกิดคาวิตีชันแน่นอน เราสามารถลดการเกิดคาวิตีชันในปัจจัยนี้ด้วยการควบคุมวาล์วที่ความดันด้านจ่ายตามหลักการของเครื่องสูบน้ำหอยโข่งจะมีจุดการสร้างแรงดันและประสิทธิภาพสูงสุดที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของการควบคุมวาล์ว จากที่กล่าวคาวิตีชันนั้นจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อใบพัดจึงเป็นเหตุที่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานที่สูญเสียไปดังรูปที่ 2

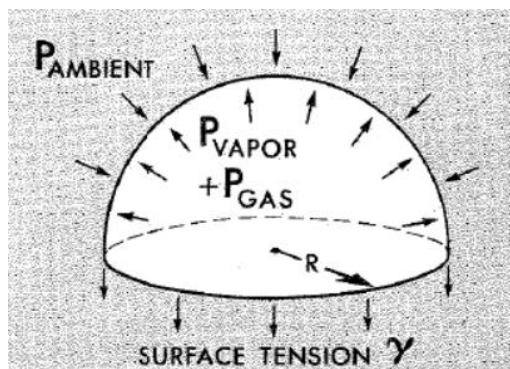


รูปที่ 2 ผลกระทบของคาวิตีชันที่ส่งผลต่อชุดใบพัด [2]

3.1.1 The Role of Nuclei

ปรากฏการณ์คาวิตีชันแสดงเห็นถึงอนุภาคได้สร้างรัศมีฟองอากาศเกิดการกัดกร่อนต่อผิวชิ้นงานของเครื่องจักรกลของไหล ภายในอนุภาคของฟองอากาศนี้ประกอบด้วยความดันไอน้ำผสมกับความดันก๊าซเป็นลักษณะทรงครึ่งวงกลมอันเนื่องมาจากความดันทางด้านดูดของเครื่องสูบน้ำสร้างความดันได้ต่ำกว่าความดันไอน้ำประกอบกับแรงบีบจากความดันของเหลวที่มีอนุภาคที่ใหญ่กว่าเพิ่มสำหรับการสร้างความดันโดยการอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางนั้นความดันไอน้ำและความดันก๊าซ [3] จะเกิดขึ้นบริเวณที่ครีบบใบพัดส่วนใหญ่เพื่อผลักให้แรงต้านของเหลวที่วิ่งผ่านไหลเข้าสู่ระบบท่อ (เฮดที่เครื่องสูบน้ำกำลังสร้างบนใบพัด) ในทิศทางตรงกัน

ข้ามส่งผลเสียต่อพื้นผิวชิ้นงานตามรัศมีของแรงตึงผิวของ
ฟองอากาศ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รัศมีของควิเตชัน

จากรูปข้างต้นจึงเป็นของสมการการเกิดฟองที่มี
พารามิเตอร์สำคัญรัศมี R นิยามได้ว่าพื้นผิวใบพัดจะถูกกัด
กร่อนด้วยรัศมีของควิเตชันดังสมการ

$$\dot{R} \cong \sqrt{\frac{2}{3} \frac{P_d - P_s}{\rho}} \quad (2)$$

เมื่อ $\dot{R}$ คือ รัศมีของฟองอากาศ (m)

P_d คือ ความดันด้านจ่าย (Pa)

P_s คือ ความดันด้านดูด (Pa)

ρ คือ ความหนาแน่นของเหลว (kg / m^3)

3.2 ควิเตชันและความสามารถในการดูดของเครื่องสูบน้ำ (Cavitation and Net Positive Suction Head)

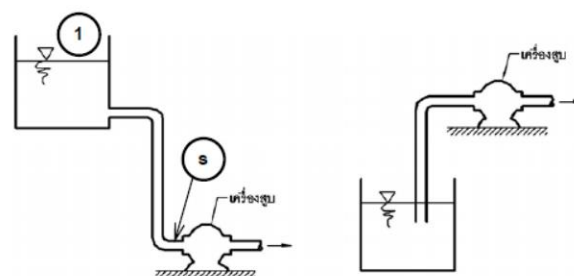
ในอันดับแรกขออธิบายถึง NPSH ก่อนซึ่งอธิบายได้ 2
ค่าได้แก่ NPSHa (Net Positive Suction Head Available)
คือค่าที่แสดงถึงความเอื้อต่อการดูดน้ำของระบบ เป็นค่าที่
สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามการติดตั้งเครื่องสูบน้ำและท่อ
เช่น ท่อที่มีขนาดใหญ่เครื่องสูบน้ำจะสามารถดูดน้ำได้ดีกว่า
ท่อดูดที่มีขนาดเล็ก นั้นหมายความว่าท่อขนาดใหญ่จะส่งผล
ทำให้ค่า NPSHa สูงขึ้น

NPSHr (Net Positive Suction Head Require) คือค่า
สมรรถนะการดูดของเครื่องสูบน้ำ จะแสดงให้เห็นถึงแรงดัน
ที่ต้องการนำเข้ามาโดยเครื่องสูบน้ำ ในการไหลที่กำหนด เพื่อ

หลีกเลี่ยงการเกิดโพรงอากาศในของเหลว โดยปกติค่า
NPSHr ผู้ใช้งานปั๊มจะไม่สามารถปรับแก้ค่านี้ได้เหมือนกับ
NPSHa เพราะเป็นค่าที่ถูกกำหนดมาจากผู้ผลิตเครื่องสูบน้ำ
ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่ส่งผลมาจากการออกแบบปั๊ม เช่น รูปแบบ
ของใบพัด ชนิดของวัสดุ รอบหรือกำลังของมอเตอร์ เป็นต้น

ทั้งนี้ หัวใจสำคัญของการคำนวณ NPSH คือ NPSHa
จะต้องมีค่ามากกว่า NPSHr เสมอ ถ้าหาก NPSHr มีค่า
มากกว่า NPSHa จะส่งผลให้เกิดโพรงอากาศในเครื่องสูบน้ำ
หากค่า NPSHa น้อยกว่าค่า NPSHr จะส่งผลอย่างไร (ความ
ดันทางด้านดูดที่มีอยู่ ณ จุดติดตั้ง น้อยกว่าความดันทางด้าน
ดูดที่ปั๊มต้องการ) [4]

ในอันดับต่อมาความดันสัมบูรณ์ภายในตัวเรือนเครื่องสูบน้ำ
ที่ลดลงถึงระดับความดันไออิ่มตัวที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของ
ของเหลว ของเหลวจะเดือดและก่อให้เกิดการกัดกร่อนหรือ
ควิเตชันขึ้นภายในตัวเรือนที่มีภาวะที่มีการเกิดและสลายตัวของ
ฟองน้ำอิ่มตัวในของเหลวที่กำลังไหลผ่านใบพัดจะมีเสียงดัง
เกิดขึ้นและเครื่องสูบน้ำมีอาการสั่นทำให้การทำงานของเครื่อง
สูบน้ำลดลง ดังรูปที่ 4 ระยะจากจุดศูนย์กลางของเครื่องสูบน้ำ
น้ำถึงระดับผิวของของเหลวที่ปลายของท่อดูดอยู่สูงกว่า
(ภาพด้านซ้ายมือ) ในส่วนใหญ่แล้ว เสดสถิตที่ด้านดูดมีค่า
เป็นบวก เนื่องจากระดับความดันบรรยากาศอยู่ในตำแหน่ง
ที่สูงกว่าตัวเรือนที่ใช้จ่ายน้ำ (ความดันจ่าย) ความดันไอน้ำ
และความดันก๊าซเกิดขึ้นได้น้อยมาก ในกรณีระดับผิวน้ำอยู่
ต่ำกว่าตัวเรือน (ภาพด้านขวามือ) ความดันด้านดูดจะมีค่า
เป็นลบเนื่องจากระยะดูดเพิ่มขึ้นโดยไม่อาศัยความดัน
บรรยากาศฉะนั้นความดันไอน้ำและความดันก๊าซมีโอกาส
เกิดขึ้นสูง



รูปที่ 4 ตัวอย่างการติดตั้งปั๊มที่มีผลต่อการเกิดควิเตชัน

ค่า คาวิตชัน ของ thoma, σ , ในสมการที่ (3) สามารถแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะการดูดของเครื่องสูบน้ำ NPSHr ได้เช่นกัน

$$\sigma = \frac{NPSHr}{H} \quad (3)$$

เมื่อ σ คือ ค่าคาวิตชัน

$NPSHr$ คือ สมรรถนะการดูด (m.)

H คือ ระดับความดันที่เครื่องสูบน้ำสร้างได้ (m.)

เนื่องจาก NPSHr ลดลงเหลือประมาณ 63 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ใบพัดของเครื่องสูบน้ำมีลักษณะดูดสองด้าน (Double Suction Impeller) ทั้งนี้ของเหลวมีการไหลเข้าสู่ทั้งสองด้านของใบพัดทำให้อัตราการไหลเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของอัตราการสูบของเครื่องสูบน้ำ

$$NPSHr = \left[\left(\frac{N \sqrt{Q}}{S} \right) \right]^{4/3} \quad (4)$$

เมื่อ N คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)

Q คือ อัตราการไหล (m^3 / s)

S คือ ความเร็วจำเพาะทางด้านดูด

ความเร็วจำเพาะทางด้านดูด (Suction Specific Speed) หาได้จากสมการที่ (5) ดังนี้

$$S = \frac{N \cdot \sqrt{Q}}{(NPSHr)^{3/4}} \quad (5)$$

4. วิธีการดำเนินงาน

เนื่องด้วยผู้วิจัยไม่สามารถถ่ายภาพจากทางหน่วยงานที่ได้อนุเคราะห์พื้นที่จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นแค่การศึกษาผลกระทบคาวิตชันที่เกิดขึ้นจริงแท้ต่อเครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่งซึ่งสิ่งที่สามารถนำออกมาได้คือข้อมูลคุณลักษณะของระบบซีลเลอร์ที่ได้ทำการบันทึกด้วยลายลักษณ์อักษรเท่านั้น จึงขอแสดงดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของระบบ

Data Testing		
Centrifugal pump	Capacity	RPM
	245 GPM	1,450 – 1,520
Chiller	Size	2.4 GPM/ton
	215 kW.	of chiller

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

Parameter	
$P_{discharge}$	On Pressure Gauge
$P_{suction}$	On Pressure Gauge
Level (1)	$\geq 10m.$
Level (2)	$\leq 10m.$

จากตารางที่ 2 พารามิเตอร์ $P_{discharge}$ และ $P_{suction}$ เกิดความคาดเคลื่อนสูง (เข็มของเกจวัดความดันมีการแกว่งมาก) สามารถอ่านค่าได้ยากทางผู้วิจัยไม่สามารถขอเกจวัดความดันไปตั้งความเที่ยงตรง (Calibrate) เนื่องจากระบบซีลเลอร์ต้องทำการ Shut down ทั้งระบบ ทางผู้วิจัยจึงใช้กฎความคล้ายคลึงเรขาคณิต (Geometric Similarity) มาเพิ่มการวิเคราะห์ตัวเลขจากความดันที่อ่านได้จริงดังสมการ

$$\frac{P_s}{P_d} = \left(\frac{D_s}{D_d} \right)^4 \times \left(\frac{Q_s}{Q_d} \right)^3 \quad (6)$$

เมื่อ D_d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด ณ ด้านดูด (m.)

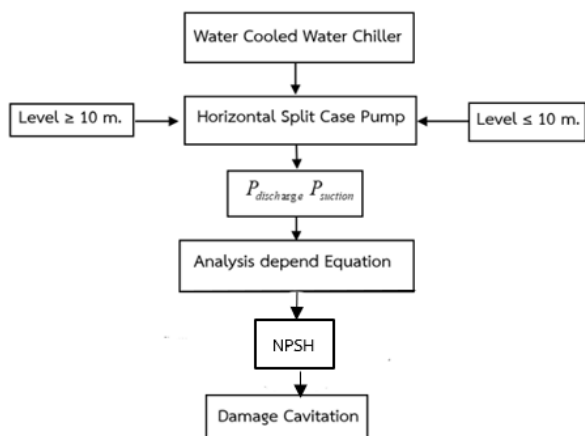
D_s คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด ณ ด้านจ่าย (m.)

Q_s คือ อัตราการไหลด้านดูด (gpm)

Q_d คือ อัตราการไหลด้านจ่าย (gpm)

จากสมการที่ (6) ความดันทางด้านดูดและด้านจ่ายแปรผันตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดซึ่งมีขนาดเท่ากันจึงเป็นค่าคงที่ในส่วนอัตราการไหลมีการเพิ่มขึ้นที่จุดด้านจ่ายของเครื่องสูบน้ำและค่าความดันด้านจ่ายจึงมีค่าสูงกว่าความดัน

ด้านดอยอยู่เสมอเนื่องด้วยถูกโอนถ่ายพลังงานเชิงกลจากมอเตอร์เป็นพลังงานไฮดรอลิกส์ [5] จากข้อมูลข้างต้นเขียนเป็นไดอะแกรมการทดสอบดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ไดอะแกรมวิเคราะห์การเกิดคาวิเทชัน

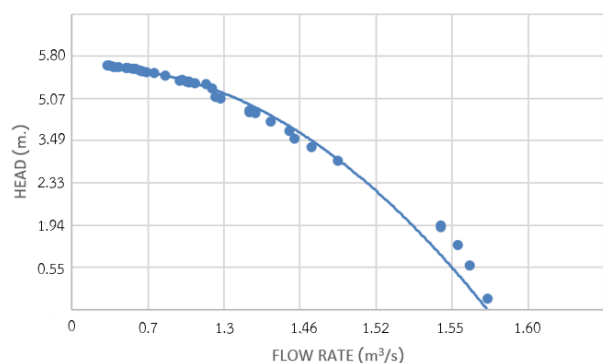
จากรูปที่ 5 ไดอะแกรมทดสอบเริ่มจากระบบน้ำหล่อเย็นเริ่มทำงานเครื่องสูบน้ำสร้างความดันจากการติดตั้งซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญของงานวิจัยนี้คือระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร และ ระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือน 10 เมตร อ่านค่าความดันขาเข้าและขาออกในช่วงของการควบคุมวาล์ว 0 % ถึง 100 % พร้อมทั้งใช้กฎความคล้ายคลึงช่วยวิเคราะห์หาค่าความดันทั้งสอง และหาอัตราการไหลโดยใช้เครื่องมือ Data logger วัดที่จุดความดันด้านจ่ายต่อจากนั้นทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอัตราการไหลหรือที่เรียกว่ากราฟสมรรถนะเครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง ผลกระทบจากระดับผิวน้ำที่ไม่เท่ากันวิเคราะห์ด้วยหลักการ NPSH อธิบายถึงช่วงการเกิดคาวิเทชัน

5. ผลการวิจัย

ผลของการเก็บข้อมูลทางผู้วิจัยแสดงในรูปแบบตารางในช่วงการควบคุมวาล์ว 10 %, 15 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100% และข้อมูลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมพันธ์กับอัตราการควบคุมวาล์ว แสดงข้อมูลตั้งแต่การควบคุมวาล์ว 0 % – 100 %

ตารางที่ 3 ผลจากการทดสอบการติดตั้งระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร

Valve	ความดันด้านจ่าย	ความดันด้านดูด	อัตราการไหล
10 %	5.10 m.	0.61 m.	0.61 m ³ /s
15 %	4.96 m.	0.54 m.	1.17 m ³ /s
25 %	3.22 m.	0.43 m.	1.34 m ³ /s
50 %	3.11 m.	0.38 m.	1.48 m ³ /s
75 %	2.59 m.	0.23 m.	1.54 m ³ /s
100 %	1.24 m.	0.03 m.	1.56 m ³ /s



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมพันธ์กับอัตราการไหลด้วยการติดตั้งระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร

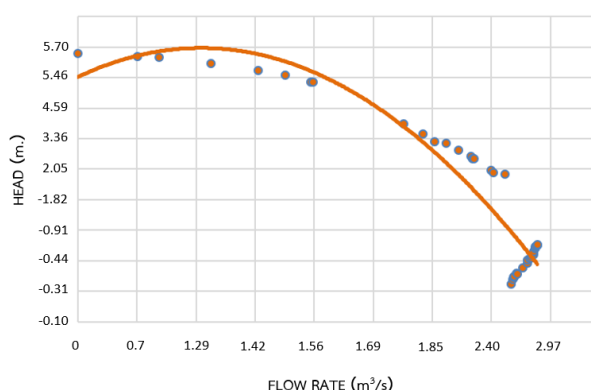
ข้อมูลจากตารางที่ 3 และ รูปที่ 6 ค่าเฮดสถิตมีผลเป็นบวกตลอดแกน y แสดงให้เห็นว่าความดันด้านดูดไม่ติดลบวิเคราะห์ตามหลัก NPSH ค่าของการดูดน้ำของระบบมีมากกว่าแรงดันที่ต้องการนำเข้าหรือมีความดันไอน้ำผสมกับก๊าซไม่มากนักภายในตัวเรือนเครื่องสูบน้ำถึงแม้ว่าอัตราการไหลในแกน x มีเพิ่มมากขึ้น [6-7]

เมื่อวิเคราะห์ผลจากข้อมูลสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่จุดทำงานสร้างเฮดสถิตได้ 3 เมตร อัตราการไหล 1.46 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ในขณะที่เครื่องสูบน้ำมีทำงานสูงสุด 100 เปอร์เซ็นต์ เฮดสถิตเท่ากับ 1.24 เมตร อัตราการไหล

1.56 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เหตุผลที่ความดันด้านดูดไม่ติดลบนั้นจากความเร็วของเหลวที่ไหลเข้าสู่ท่อทางด้านดูด $(\frac{V_i^2}{2g})$ มีผลเป็นบวกเนื่องจากอาศัยความดันบรรยากาศเป็นตัวกลางขับเคลื่อนของเหลวเข้าสู่เครื่องสูบน้ำและมีค่าที่มากกว่าความดันไอ $(-\frac{P_v}{\rho g})$ [8]

ตารางที่ 4 ผลจากการทดสอบการติดตั้งระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือน 10 เมตร

Valve	ความดันด้านจ่าย	ความดันด้านดูด	อัตราการไหล
10 %	5.45 m.	0.67 m.	0.72 m ³ /s
15 %	5.27 m.	0.53 m.	1.29 m ³ /s
25 %	3.66 m.	0.35 m.	1.36 m ³ /s
50 %	-1.87 m.	-0.27 m.	1.55 m ³ /s
75 %	-1.66 m.	-0.15 m.	1.74 m ³ /s
100 %	-0.35 m.	-0.015 m.	2.87 m ³ /s



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมบูรณ์กับอัตราการไหลด้วยการติดตั้งระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือน 10 เมตร

ข้อมูลจากตารางที่ 4 และ รูปที่ 7 ค่าเฮดสถิตมีผลเป็นบวกและลบบนแกน y แสดงให้เห็นว่าความดันด้านดูดนั้นติดลบ วิเคราะห์ตามหลัก NPSH ค่าของการดูดน้ำของระบบมีน้อยกว่า แรงดันที่ต้องการนำเข้าหรือมีความดันไอน้ำผสมกับก๊าซมากพอควรในช่วงการควบคุมวาล์ว 47 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้นไปจนถึงการเปิดวาล์ว 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอัตราการไหลนั้นจะไม่มีผลทำให้เกิดควิเทชั่น

เมื่อวิเคราะห์ผลจากข้อมูลสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่จุดทำงานสร้างเฮดสถิตได้ 3.12 เมตร อัตราการไหล 1.49 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ในขณะที่เครื่องสูบน้ำมีทำงานสูงสุด 100 เปอร์เซ็นต์ เฮดสถิตมีค่าติดลบเท่ากับ 0.50 เมตร อัตราการไหล 2.87 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เหตุผลที่ความดันด้านดูดติดลบนั้นจากความเร็วของเหลวที่ไหลเข้าสู่ท่อทางด้านดูด

$(-\frac{V_i^2}{2g})$ มีผลเป็นลบเนื่องจากอาศัยแรงยกที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงโน้มถ่วงเป็นตัวกลางขับเคลื่อนของเหลวเข้าสู่เครื่องสูบน้ำและรวมเพิ่มความดันไอ $(-\frac{P_v}{\rho g})$

6. สรุปผลการทดลอง

ในระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวมลักษณะการติดตั้งควรออกแบบให้ระดับผิวน้ำอยู่สูงกว่าตัวเรือนเพื่อให้ศักยภาพของเครื่องสูบน้ำเย็นสร้างเฮดได้มีประสิทธิภาพสูงสุดและเพื่อให้ความดันด้านดูดไม่ให้เกิดความดันไอน้ำกับก๊าซในทางกลับกันเมื่อการออกแบบติดตั้งมีพื้นที่จำกัดมีระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือนเครื่องสูบน้ำควรเพิ่มวาล์วกั้นของเหลวย้อนกลับเพื่อลดแรงยกที่มีแรงปฏิกิริยาต่อแรงโน้มถ่วงหรือลดความยาวท่อลำเลียงของเหลว (ถ้าลดได้) ใช้ช่องอให้น้อยที่สูงเนื่องจากเครื่องสูบน้ำหอยโข่งมีค่า NPSH สูง [9] สิ่งที่ผู้วิจัยเสนอแนะการควบคุมวาล์วไม่จำเป็นต้องใช้ 100 เปอร์เซ็นต์เนื่องด้วยระบบน้ำเย็นที่เข้าสู่ระบบ AHU หรือ FCU ใช้เพียงความเย็นของของเหลวในปริมาณเหมาะสมเพื่อลดประมาณการกินไฟการควบคุมควรอยู่ที่ 55 เปอร์เซ็นต์ ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการด้วยหลักการ NPSH เครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือน 10 เมตร และการติดตั้งระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร ศักยภาพสร้างเฮดสถิตเท่ากับ 3 เมตร อัตราการไหล 1.46

ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยที่ความดันด้านดูดมีส่วนผสมของไอน้ำและก๊าซของเหลวช่วยให้การเกิดครีมีควิเตชันกัดกร่อนโลหะของใบพัดน้อยลง ระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือน 10 เมตร กว่าระดับผิวน้ำสูงกว่าตัวเรือน 10 เมตร ที่ 2.5 เปอร์เซ็นต์ การสร้างเฮดสถิตเพิ่มขึ้น 0.09 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหล 0.02 เปอร์เซ็นต์ อธิบายได้ว่าการที่ระดับผิวน้ำอยู่สูงหรือต่ำกว่าตัวเรือนเครื่องสูบน้ำนั้นไม่ได้ทำให้ศักยภาพการสร้างเฮดเปลี่ยนแปลงแต่จะทำให้เกิดควิเตชันที่แตกต่างกัน ณ ความดันด้านดูดที่ 28.95 เปอร์เซ็นต์และเมื่อใช้งานในสภาวะที่ติดตั้งระดับผิวน้ำต่ำกว่าตัวเรือนเรื่อยๆเป็นที่แน่นอนเมื่อชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรกลของไหลเกิดการเสียหายหรือชำรุดทำให้เกิดการสิ้นเปลืองรายจ่ายต่อระบบซิลเลอร์เช่นกันเนื่องด้วยตัวสร้างกำลังเปลี่ยนแปลงรูปทรงการป้อนไหลจะมากขึ้นเพื่อให้ได้กำลังเท่ากับปริมาณเชิงกลเดิม

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] J.P.Franc, “a simple and powerful tool to understand various aspects of cavitation,” Fluid dynamics of cavitation and cavitating turbopumps, vol. 496, pp.1-41, January. 2008.
- [2] Debem industrial pumps. What is cavitation in centrifugal pump. [online]. September 19, 2019. Available: <https://www.debem.com/en/cavitation-in-centrifugal-pumps/>
- [3] H. Soyama, H. Kato, and R. Oba, “Cavitation Observations of Severely Erosive Vortex Cavitation Arising in a Centrifugal Pump,” I.Mech.E. Int.Conf on cavitation, vol. 1, no. 6, pp.103-110, Nov. 1997.
- [4] Calpeda creative technology. Choosing a water pump must know NPSH. [online]. (2010). [Cited March 9, 2021]. Available: <https://www.calpeda.co.th/Knowledge/npsht.html>
- [5] V.H Arakeri and V.Shangumanathan, “On the evidence for the effect of bubble interference on cavitation noise,” *Journal of Fluid Mechanics, Cambridge university*, vol. 159, pp.131-150, October. 1985.
- [6] F.J. Heyman, “Toward quantitative prediction of liquid impact erosion,” *Characterization and Determination of Erosion Resistance, American*, 1970.
- [7] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE STANDARD 62.1, 2022.
- [8] M.N. Shneider, and M. Pekker, “Cavitation in Dielectric Fluid in Inhomogeneous Pulsed Electric Field,” *Journal of Applied Physics*, vol. 114, pp. 214906, 2013.
- [9] T.Nagahara, T.Sato and Tomoyoshi, “Effect of the Submerged Vortex Cavitation Occurred in Pump Suction intake on hydraulic Force of Mixed Flow Pump Impeller,” *CAV2001:sessionB8.006*, February, 2002.

การพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ Development of renewable energy heat exchangers with solar energy

กฤษณ์ชากริตส ณ วัฒนประเสริฐ*, กุสุมา ผลาพรหม, อภิสิทธิ์ อุปกิจ, มณฑาทิพย์ สายยศ,
ธรรณภรณ์ คงตัน, พัฒนพงษ์ สุภณานาง, พรชัย ตามถิ่นไทย และ อภิชาติ มาศมาลัย

Kritchakhris Nawattanaprasert*, Kusuma Palaprom, Apisit Upakit, Montatip Saiyos,
Thannaporn Kongtun, Pattanapong Suyanang, Pornchai Tamthinthai and Apichat Masmalai

สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
Department of Industrial Management Technology and Innovation, Faculty of Industrial Technology,
Phranakhon Rajabhat University

*Email: kritchakhris@pnru.ac.th

Received: March 28, 2023; Revised: May 25, 2023; Accepted: May 31, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อ : 1) ออกแบบและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 2) ประสิทธิภาพระยะเวลาในการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และ 3) เปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายการใช้กระแสไฟฟ้าของโรงเลี้ยงสัตว์ การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ โดยใช้เทคนิคในการวิจัยเชิงทดลอง มีผลการวิจัยพบว่า การทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้มีการพัฒนาทั้ง 6 ด้าน ดังนี้ 1) ด้านระยะเวลาในการทำงาน การใช้งานเฉลี่ยนานขึ้นจากเครื่องเดิมมีระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 5 ชั่วโมง 16 นาที และเมื่อมีการพัฒนาแล้ว มีระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 18 นาที 2) ด้านระยะเวลาการละลายของน้ำแข็ง มีระยะเวลาการละลายของน้ำแข็งเฉลี่ยนานขึ้นกว่าเดิมจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวทั้งหมด 3) ด้านอุณหภูมิ มีอุณหภูมิลดลงเนื่องจากเดิมเป็นพัดลมโบลเวอร์ ส่งผลให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 12 โวลต์ (V) 4) ด้านน้ำหนัก จากเครื่องเดิมใช้พัดลมโบลเวอร์ซึ่งมีน้ำหนัก 7 กิโลกรัม และเมื่อได้มีการพัฒนาโดยเปลี่ยนเป็นพัดลมระบายอากาศขนาด 12 โวลต์ (V) ซึ่งมีน้ำหนักเพียง 400 กรัม ส่งผลให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีน้ำหนักที่เบาลง 5) ด้านความปลอดภัย ได้รับความปลอดภัยมากขึ้นเพราะจากการหุ้มสายไฟและจัดเก็บเป็นระเบียบทั้งพลังงานที่ใช้เป็นเพียงพลังงาน 12 โวลต์ (V) ซึ่งไม่มีแรงดันไฟฟ้ามากพอที่จะอันตรายต่อผิวหนัง 6) ด้านเสียงรบกวน ได้มีการเปลี่ยนจากพัดลมโบลเวอร์ที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่เป็นพัดลมระบายอากาศ ขนาด 12 โวลต์ (V) ที่มีมอเตอร์ขนาดเล็กทำให้ลดปัญหาเสียงมอเตอร์ขึ้น

คำสำคัญ : เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน, พลังงานทดแทน, พลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

The purposes of this research are : 1) to design and develop the heat exchangers with solar alternative energy, 2) to increase efficiency of usability of the heat exchangers with solar alternative energy, and 3) to compare the cost of electricity consumption of the animal husbandry. This research is a quantitative research by using technic from experimental research. The results of the experimental of the heat exchangers with solar alternative energy have been developed in 6 sides as follows: 1) Working time; the average of working time after develop has increased from 5 hours 16 minutes to 24 hours 18 minutes. 2) Melting ice; the average of melting time of ice is longer than before and change to all liquid state. 3) Temperature; there was a drop in temperature, it was originally a blower fan. As a results, the cooler has a higher temperature than using a 12 V fan. 4) Weight; the old blower fan has 7 kilograms. And it was developed by changing to a ventilator, the size was 12 V. It has 400 grams. As a results, the heat exchangers has a lower weight. 5) Safety; get more for safety because the cables were shielded and stored in an orderly manner, the energy used was only 12 volts, which did not have enough voltage to harm the skin. 6) Noise; it was changed from a large motor blower fan to a ventilation, the size was 12 V with a small motor, reducing vibration motor noise problems.

Keywords : Heat exchangers, Renewable energy, Solar energy

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

พลังงานจากดวงอาทิตย์ถือเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญที่สุด ทั้งยังเป็นต้นกำเนิดของพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบอื่น ๆ ด้วย โดยเฉพาะ พลังงานลม พลังงานน้ำดวงอาทิตย์ ปล่อยพลังงานได้มากมายมหาศาลและต่อเนื่องแทบไม่มีวันหมดสิ้น เพียงหนึ่งชั่วโมง โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ในรูปของรังสีถึงประมาณ 174,000 เทระวัตต์ มนุษย์รู้จักต่อยอดการใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์ได้สำเร็จ โดยสามารถใช้ในการผลิตพลังงานที่เรียกว่า “พลังงานแสงอาทิตย์” แม้จะถือว่ามีความก้าวหน้าไปมากและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลงเรื่อย ๆ ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีอัตราการเติบโตสูงสุด ปัจจุบันการพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในนโยบายด้านพลังงานทดแทนของภาครัฐที่ได้รับผลักดันส่งเสริมให้มีการลงทุนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในภาคเอกชน รวมทั้งภาครัฐเรือนที่ปัจจุบันสามารถจำหน่ายปริมาณไฟฟ้าส่วนเกินจากระบบ

เข้าสู่ กฟผ. ได้แล้ว จากการวิจัยและพัฒนาของ อาทิตย์ คำต่าย และ กรณ์ภพ รัตนวิจิตร [1] ได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องปรับอากาศขนาด 25,000 BTU รุ่นเก่าให้ใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานร่วมเพื่อลดการใช้พลังงานในรูปแบบเดิมโดยทำการเปลี่ยนมอเตอร์ที่ตำแหน่งคอยล์เย็นและคอยล์ร้อนจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงให้รองรับไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์และออกแบบระบบควบคุมให้สามารถทำงานร่วมกับแหล่งพลังงานเดิมที่จ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับให้คอมเพรสเซอร์โดยทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง แบ่งออกเป็นเครื่องปรับอากาศก่อนการพัฒนาปรับปรุงและหลังพัฒนาปรับปรุงใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานร่วม โดยเก็บผลและเปรียบเทียบการใช้พลังงานค่าประสิทธิภาพพลังงาน (EER) และจุดคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ ผลการทดลองพบว่าเครื่องปรับอากาศก่อนและหลังการพัฒนาปรับปรุงมีการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2439.768 W และ 1922.46 W โดยการพัฒนาปรับปรุงให้ใช้พลังงานร่วมจากเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถประหยัดพลังงานมากกว่า

เท่ากับ 21.20% โดยมีค่าประสิทธิภาพพลังงาน (EER) เพิ่มขึ้นจาก 9.52 เป็น 12.08 และอยู่ในระดับเบอร์ 5 เมื่อเทียบกับเกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพลังงาน โดยมีต้นทุนการพัฒนาเครื่องปรับอากาศเท่ากับ 8,470 บาท ถ้าเครื่องปรับอากาศเปิดใช้งานเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยภายใน 1 ปี จะสามารถประหยัดได้ค่าไฟฟ้า 6,795.96 บาท เมื่อเทียบกับเครื่องปรับอากาศก่อนการพัฒนาปรับปรุง สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 1.24 ปี จึงเป็นที่น่าสนใจในการลงทุนในกรณีสำหรับเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานมานานแต่ยังมีการทำความเย็นที่ดี และจากการวิจัยของ ยงยุทธ ไตเงาสน [2] ได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยทำการออกแบบและจำลองการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากการทดสอบ พบว่าการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองแบบช่วยเพิ่มค่า อัตราการระเหยน้ำ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ และอุณหภูมิอากาศขาเข้าเครื่องอบแห้ง อีกทั้งยังช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและ ลดอัตราการปล่อยความร้อนทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกด้วยส่งผลต่อให้เครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพ เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อุปกรณ์ทั้งสองชนิดสามารถลดการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งใบมะกรูด และเห็ดหูหนูดำได้ประมาณ 5 % ถึง 7 % จากผลการทดสอบดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขวางที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีสมรรถนะสูงกว่าแบบเปลือกและท่อเล็กน้อยในทุก ค่าพารามิเตอร์ โดยการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขวางสามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศ ขาเข้าเครื่องอบแห้งได้สูงสุดประมาณ 35 % ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.54 % ในขณะที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้สูงสุด ประมาณ 26 % โดยส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเพิ่มได้เท่ากับ 5.81 % ตามลำดับ

จากเหตุผลดังกล่าวคณะผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลาในการใช้งานและลดต้นทุนค่าใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าของโรงเลี้ยงแกะในชุมชน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
- 2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระยะเวลาในการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
- 2.3 เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายการใช้กระแสไฟฟ้าของโรงเลี้ยงสัตว์และค่าใช้จ่ายในการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

3. ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ วัสดุ อุปกรณ์ และชิ้นส่วนประกอบ ราคาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

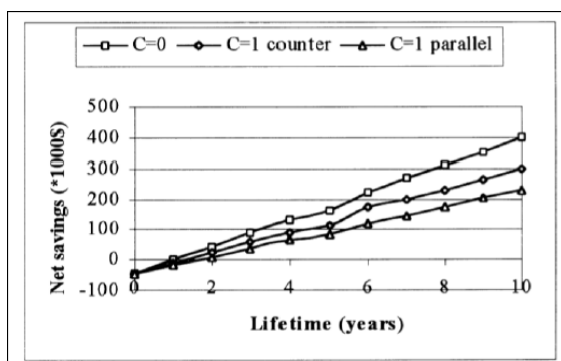
4. การทบทวนวรรณกรรม

4.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่ง ไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่งโดยที่ของไหลไม่จำเป็นต้องผสมกัน จตุพร กุลละวณิชวัฒน์ [3] การออกแบบเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนควรต้องมีความรู้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน การส่งผ่านของ ความร้อน และค่าต่าง ๆ ทางกลศาสตร์ของไหล X. Lianzheng, M. Guoyuan, Z. Feng and W. Lei [4] ในปัจจุบันกระบวนการ อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อนส่วนใหญ่มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นองค์ประกอบ เช่น การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันดิบสำหรับเปลี่ยนสถานะของไอน้ำที่ออกมาจากหม้อต้มให้เป็นของเหลว การลดอุณหภูมิของน้ำมัน หรือก๊าซ ในอุตสาหกรรมน้ำมัน ในทำนองเดียวกันกับในอุตสาหกรรมปุ๋ย อุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ก็ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเพิ่ม อุณหภูมิ ลดอุณหภูมิ หรือหมุนเวียนความร้อนจากของไหลกลับมาใช้ใหม่ วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล [5] หน้าที่หลักของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ การนำเอาพลังงานความร้อนมาใช้อย่างถูก หลักการและมี

ประสิทธิภาพ H. Noie-Baghban and R. Majideian [6] ดังนั้นวิธีใช้และเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ควรสัมพันธ์กับต้นทุนของกระบวนการและอาจมีผลต่อราคาของผลิตภัณฑ์ในการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องทำอย่างระมัดระวัง ในการเลือกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมที่สำคัญ คือ ควรมีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงและราคาถูก อนุสรณ์ สุขเกษม [7]

M. Soylemez [8] ได้วิเคราะห์การเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน โดยมีการนำเสนอสูตรพีชคณิตแบบง่ายสำหรับการประเมินพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำพลังงานมากกลับใช้ โดยศึกษาด้วยวิธี P1 - P2 พร้อมกับวิธี Effectiveness - NTU สำหรับการวิเคราะห์ทางความร้อนเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางกัน (Countercurrent flow) กับแบบไหลทางเดียวกัน (Parallel flow) พบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Counter current flow สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า Parallel flow ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสดงค่าประหยัดพลังงานสุทธิของเครื่อง

4.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องทำความเย็น

ฉัตรชาญ ทองจับ [9] ได้กล่าวว่า การทำความเย็น คือ การทำให้อุณหภูมิบริเวณนั้นมี อุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิปกติ (อุณหภูมิปกติโดยเฉพาะประเทศไทยนั้น จะมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ย อยู่ประมาณ 29 ถึง 30 องศาเซลเซียส ส่วนการปรับอากาศเป็นการปรับอุณหภูมิที่ทำให้บริเวณที่คนเรารู้สึกสบาย ๆ โดยอุณหภูมินั้นอยู่ในช่วงระหว่าง 24 ถึง 26 องศาเซลเซียส) คนจะรู้สึกว่ายากอากาศนั้นเย็นสบาย

เป็นเพราะการปรับอากาศ จะทำให้อุณหภูมิภายในร่างกายของคนนั้นมี อุณหภูมิต่ำลง จึงมีความรู้สึกว่ายากอากาศนั้นเย็นสบายกว่าปกติ ก็ จะรู้สึกว่ายากอากาศนั้นเย็นสบาย อุณหภูมิของร่างกายคนเราก็คงจะอยู่ประมาณ 37 องศาเซลเซียส

สมศักดิ์ สุโมทยกุล [10] ได้กล่าวว่า หลักการทำความเย็นในระบบที่ใช้แล้วให้ ประสิทธิภาพในการทำความเย็นสูงก็จะถูกพัฒนาปรับปรุงให้ดีขึ้นเรื่อย ๆ บางระบบก็ใช้แล้วมี ประสิทธิภาพในการทำความเย็นต่ำก็จะถูกเลิกใช้ไป หลักการทำความเย็น ในระบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้หลายทาง เช่น แบ่งตามชนิดของตัวปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็นแบ่งตามชนิดของสารทำความเย็นที่ใช้เป็นตัวกลางในการทำความเย็น หรือแบ่งตามชนิดของการควบคุมมอเตอร์ระบบอัดไอ (Compression System) และระบบแอบซอร์ปชัน (Absorption System) เป็นต้น ระบบการทำความเย็น มีดังนี้ 1) การทำความเย็นโดยใช้น้ำแข็ง ตู้เย็นที่ใช้น้ำแข็งในการทำความเย็นพบว่าใช้กันมานานแล้ว และในปัจจุบันก็ยังใช้อยู่บ้าง ประกอบด้วยตัวตู้ซึ่งบรรจุกันความเย็น มีถาดหรือช่องใส่น้ำแข็งอยู่ที่ ส่วนบนของตัวตู้ ถาดนี้เจาะรูสำหรับให้น้ำล้นไหลลงสู่ถังรองน้ำทิ้งได้ตู้ และ มีชั้นสำหรับใส่อาหาร อยู่ ข้างใต้ถาดใส่น้ำแข็ง ซึ่งเป็นการทำความเย็นโดยใช้น้ำแข็ง (Ice Refrigeration) เมื่อน้ำแข็งใสในถาด หรือช่องใส่น้ำแข็ง ขณะที่น้ำแข็งหลอมละลายกลายเป็นน้ำจะดูดซับปริมาณความร้อนจากอากาศ รอบตัว ทำให้อากาศเย็นลง และมีความหนาแน่นสูงขึ้น 2) การทำความเย็นโดยใช้การระเหยตัวของน้ำ ในขณะที่ของเหลวระเหยตัวเปลี่ยนสถานะ กลายเป็นไอ จะดูดซับความร้อนแฝง 3) การทำความเย็นโดยใช้ของแข็งเป็นตัวดูดซับ การทำความเย็นโดยใช้ของแข็งเป็นตัวดูดซับ (Solid Absorbent Refrigeration) เกิดขึ้นจากการทดลองของ ไมเคิล ฟาราเดย์ และต่อมาก็ได้มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นโดยนำเอาของแข็งหลาย ๆ ชนิดมาใช้เป็นตัวกลางในการทำความเย็น แต่ทุกชนิด เป็นไปตามหลักและกฎเกณฑ์อันเกี่ยวกับการทดลองของฟาราเดย์ 4) การทำความเย็นโดยใช้น้ำแข็งแห้ง (Dry Ice Refrigeration) จะใช้น้ำแข็งแห้ง ซึ่งทำจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในสถานะของแข็งซึ่งถูกอัดขึ้นให้มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไปอาจเป็น ก้อนหรือเป็นแผ่น น้ำแข็งแห้งจะเปลี่ยนสถานะโดยตรงจากของแข็งเป็นแก๊ส

โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะ ให้เป็นของเหลวเสียก่อน การเปลี่ยนสถานะในลักษณะ นี้เรียกว่า การระเหิด ที่ความดันบรรยากาศ น้ำแข็งแห้งจะมีอุณหภูมิต่ำถึง 78 องศาเซลเซียส

4.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานทดแทน

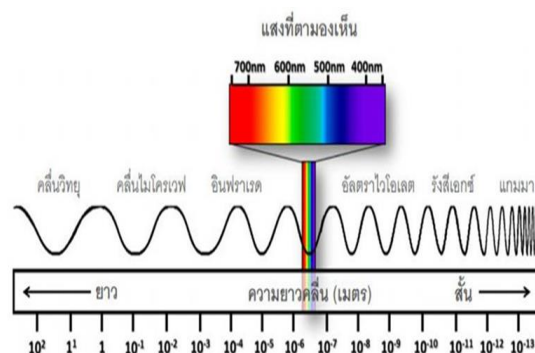
ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษาขอนแก่น [11] พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า “พลังงานสิ้นเปลือง” ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะศักยภาพ และสภาพภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานทดแทน การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นการศึกษา ค้นคว้า ทดสอบ พัฒนา และสาธิต ตลอดจนส่งเสริมและเผยแพร่พลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวมวล และอื่น ๆ เพื่อให้มีการผลิต และการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐกิจ และสังคม

พศวัต โพธิ์ศรี [12] พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติและสามารถมีทดแทนได้อย่างไม่จำกัด (เมื่อเทียบกับพลังงานหลักในปัจจุบัน เช่น น้ำมันหรือถ่านหิน) ตัวอย่างพลังงานทดแทนที่สำคัญเช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ ไบโอฟิล พลังงานน้ำ ชีวมวล พลังงานคลื่น และพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากกระบวนการชีวภาพเช่น ปอก๊าซชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

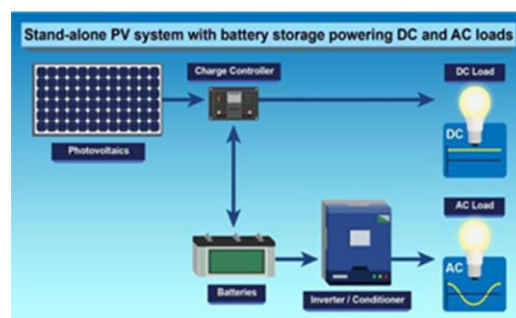
4.3 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [13] พลังงานแสงอาทิตย์ หมายถึง รังสีจากดวงอาทิตย์ที่มาถึงโลก พลังงานนี้สามารถแปลงเป็นความร้อนและไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ คือ พลังงานแสงอาทิตย์ “พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)” เป็นภาษาละตินและแปลว่า “เกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์” หาก

ปราศจากแหล่งพลังงานอันทรงพลังนี้ก็จะไม่มีสิ่งมีชีวิต พลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนเนื่องจากมีปริมาณมาก ดังนี้ 1) สเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ว่า ในแต่ละส่วนของสเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์มีระดับพลังงานที่แตกต่างกัน แสงในส่วนที่มองเห็นได้ของสเปกตรัมแสงสีแดงจะมีพลังงานต่ำสุดและมีแสงสีม่วงพลังงานสูงสุดในส่วนของแสงที่มองเห็นได้ของสเปกตรัม โฟตอนในช่วงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งทำให้ผิวเป็นสีแทน มีพลังงานมากกว่าช่วงแสงที่มองเห็นได้แสงในช่วงที่อินฟราเรด มีพลังงานน้อยกว่าโฟตอนในพื้นที่ที่มองเห็นการเคลื่อนที่ของแสงจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งนั้นสามารถอธิบายได้ดีที่สุดว่าเป็นการเคลื่อนที่ของคลื่นและชนิดของการแผ่รังสีแต่แบบสามารถอธิบายโดยความยาวคลื่น ความยาวคลื่นคือระยะทางจากจุดสูงสุดของคลื่นหนึ่งไปถึงจุดสูงสุดของลูกคลื่นลูกถัดไป การแสดงการแผ่รังสีปริมาณพลังงานที่แตกต่างกัน ยิ่งความยาวคลื่นมากเท่าไรก็ยิ่งใช้พลังงานน้อยเท่านั้น ตัวอย่างเช่น แสงสีแดงมีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าดังนั้นจะมีพลังงานน้อยกว่าแสงสีม่วง ดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 สเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระทำงานร่วมกันกับแบตเตอรี่

4.4 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับต้นทุนและต้นทุนการผลิต

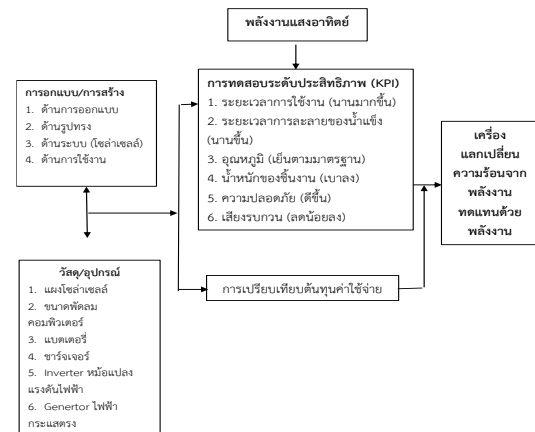
มนวิกา ผดุงสิทธิ์ [14] กล่าวว่า ต้นทุน (Cost) หมายถึง มูลค่าของทรัพยากรที่ต้องใช้ประโยชน์เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ได้กำหนดไว้ เช่น ต้นทุนของวัตถุดิบและแรงงานที่เกิดขึ้นเพื่อผลิตสินค้าหรือบริการ และเมื่อต้นทุนได้ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อธุรกิจแล้ว ต้นทุนส่วนนั้นจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นค่าใช้จ่าย (Expense) ซึ่งจะไปหักจากรายได้ในแต่ละงวดบัญชี

โสธยา ม่วงกรุง [15] ให้ความหมายของคำว่า ต้นทุนการผลิต หมายถึง ต้นทุนที่ทำให้ได้สินค้าสำเร็จรูปใด ๆ ประกอบด้วย วัตถุดิบทางตรง ที่เบิกใช้ในการผลิต แรงงานทางตรงที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายในการผลิต เมื่อทั้ง 3 ส่วนประกอบ ได้เข้าสู่ขั้นตอนต่าง ๆ ของการผลิตก็จะถูกแปรสภาพเป็นสินค้าสำเร็จรูป โดยการจำแนกประเภทต้นทุนแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ ต้นทุนตามระยะเวลา ต้นทุนตามลักษณะการดำเนินงาน ต้นทุนตามส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ ต้นทุนตามปริมาณกิจกรรม ต้นทุนเพื่อการควบคุมและวัดผลการปฏิบัติงาน ต้นทุนเพื่อการตัดสินใจ

เบญจมาศ อภิสิทธิ์ภิญโญ [16] กล่าวว่า ต้นทุนการผลิต (Manufacturing Cost) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในกระบวนการผลิตเพื่อแปรสภาพวัตถุดิบให้เป็นสินค้า ซึ่งปกติต้นทุนการผลิตจะเกิดขึ้นในธุรกิจผลิตสินค้าเท่านั้น เช่น วัตถุดิบทางตรง ค่าแรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายการผลิต

5. กรอบแนวคิดการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาจากเอกสาร ตำรา แนวคิดทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำมาประมวลผลเป็นกรอบแนวคิดการวิจัย ดังนี้

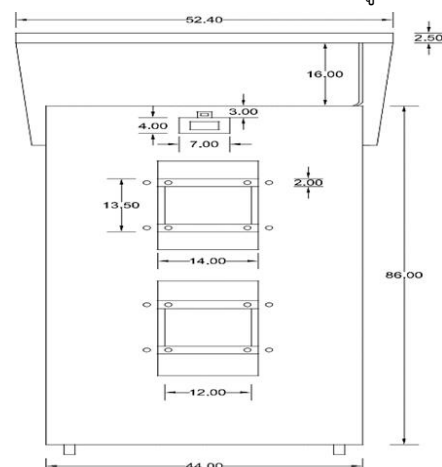


รูปที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย

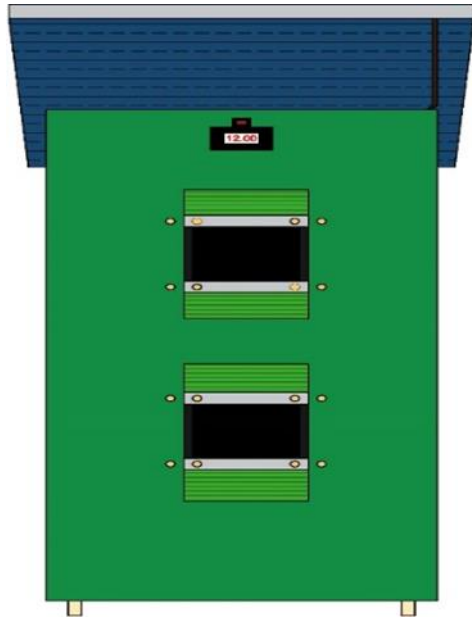
6. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงปริมาณ ที่มุ่งเน้นจะได้ข้อมูลในลักษณะเชิงตัวเลข และนำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาคุณภาพ เพื่อนำมาพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งใช้หลักการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบของพลังงานความร้อนป้อนเข้าสู่กระบวนการทำความเย็นโดยความร้อน (Thermally-Driven Cooling Process) ด้วยการดูดซึมน้ำเย็น (Chilled water) จากกล่องความเย็นด้านล่างขึ้นด้านบนออกมาเพื่อใช้ในการทำความเย็นสู่ภายนอกตามลำดับ จากการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีทำให้คณะผู้วิจัยได้คิดค้นและออกแบบเครื่องและแนวทางการดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

6.1 ออกแบบโครงสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 5 และ 6



รูปที่ 5 การออกแบบโครงสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 6 โครงสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

6.2 สร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในตัวเครื่อง



รูปที่ 8 การต่อสายไฟเข้ากับระบบแผงโซลาร์เซลล์

6.3 ทดสอบระบบการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การทดสอบการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

6.4 สรุปผลการทดสอบและการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

6.5 เปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

6.6 จัดทำรูปเล่มรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์และเผยแพร่เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์

7. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังตารางที่ 1, 2 และ 3

ตารางที่ 1 แสดงการทดลองประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยกระบวนการสร้างพลังงานทดแทนโดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ (V) 80 แอมป์ ใช้แรงดันในการใช้งาน 220 โวลต์ (V)

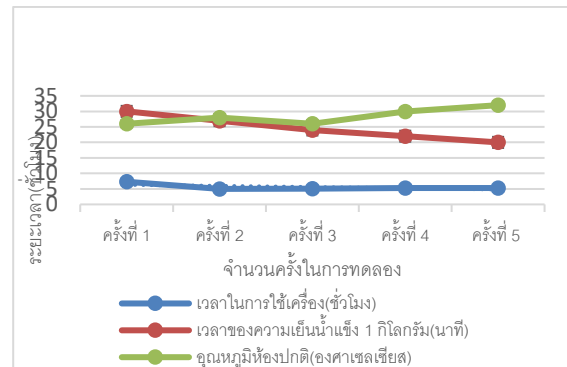
การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	$\bar{x}$
ระยะเวลาในการทำงาน (ชั่วโมง)	7.30	5	5.10	5.24	5.30	5.16
ระยะเวลาของความร้อน (นาฬิกา)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30	25
อุณหภูมิห้องปกติ (°C)	26-32	26-32	26-32	26-32	26-32	29

จากตารางที่ 1 มีการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเฉลี่ย 5 ชั่วโมง 16 นาที จากการทดลองทั้ง 5 ครั้ง พบว่าการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำสามารถผลิตไฟฟ้าได้จริง แต่ยังมีปัญหาเกี่ยวกับตัวพัดลมโบลเวอร์แอร์ที่ใช้กำลังไฟที่ 220 โวลต์ (V) ทำให้การผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองชนิดมีการทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ โดยระยะเวลาของความร้อนที่ใส่น้ำแข็งปริมาณ 1 กิโลกรัม ด้วยการระยะเวลา ระหว่าง 20-30 นาที มีเวลาเฉลี่ย 25 นาที ด้วยการจับเวลา ตั้งแต่เริ่มใส่น้ำแข็งจนละลายเป็นน้ำที่อุณหภูมิห้องปกติ และระหว่างอุณหภูมิ 26-32 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับความเย็นที่ลดลงตามลำดับ ดังรูปที่ 10

ตารางที่ 2 แสดงการทดลองประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ (V) 80 แอมป์ ใช้แรงดันในการใช้งาน 12 โวลต์ (V)

การทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	$\bar{x}$
ระยะเวลาในการทำงาน (ชั่วโมง)	24.30	24	24.10	24.25	24.30	24.18
ระยะเวลาของความร้อน (นาฬิกา)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30	25
อุณหภูมิห้องปกติ (°C)	26-32	26-32	26-32	26-32	26-32	29

จากตารางที่ 2 มีการใช้งานของเครื่องเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 18 นาที จากการทดลองทั้ง 5 ครั้ง พบว่าระยะเวลาของความร้อนที่ใส่น้ำแข็งปริมาณ 1 กิโลกรัม ซึ่งระยะเวลา ระหว่าง 20-30 นาที มีเวลาเฉลี่ย 25 นาที จากการจับเวลา ตั้งแต่เริ่มใส่น้ำแข็งจนละลายเป็นน้ำที่อุณหภูมิห้องปกติ และระหว่างอุณหภูมิ 26-32 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับความเย็นที่ลดลงตามลำดับ



รูปที่ 10 การทดลองประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยพลังงานทดแทนและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การพัฒนา	เก่า	ใหม่	สรุป
น้ำหนัก	มีน้ำหนักมาก	มีน้ำหนักเบา	เนื่องจากเปลี่ยนจากพัดลมโบลเวอร์แอร์ที่มีขนาดใหญ่เป็นพัดลมระบายอากาศ ขนาด 12 โวลต์ที่ทำความเย็นแทนกันได้จึงทำให้น้ำหนักที่เบา
ความปลอดภัย	ไม่มีความปลอดภัย ไม่เก็บสายไฟ	มีความปลอดภัย มากขึ้น	จากเดิมสายไฟห้อยตามตัวเครื่อง ขาดความปลอดภัยจึงปรับเป็นหุ้มสายไฟและจัดเก็บสายไฟให้เป็นระบบมีความปลอดภัยต่อการใช้งานมากขึ้น
เสียงรบกวน	เสียงดังจากมอเตอร์ของพัดลมโบลเวอร์แอร์	เสียงรบกวนลดลง	เมื่อเปลี่ยนจากพัดลมโบลเวอร์แอร์ เป็นพัดลมระบายอากาศ ขนาด 12 โวลต์แล้วทำให้ไม่มีเสียงรบกวนจากมอเตอร์

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยพลังงานทดแทนและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

รายการ	ขนาด	จำนวนที่ใช้ต่อหน่วย	ราคาต่อหน่วย	ราคาผลิตรวม	ราคาตลาด
พัดลมแอร์โบลเวอร์	DIY 220 โวลต์	1 ตัว	800	800	-
แผงโซลาร์เซลล์	55 วัตต์ 12 โวลต์	1 แผง	1,390	1,390	2,200
พัดลมแอร์ใช้ไฟฟ้า	-	1 ตัว	-	-	3,800
ชาร์จเจอร์	-	1 เครื่อง	690	690	-
พัดลม	12 นิ้ว	2 ตัว	350	700	-
สายไฟ	-	5 เมตร	10	50	-
ลวดเชื่อม	0.0024 เมตร	1 กิโลกรัม	360	360	-
ใบเลื่อยสายพาน	1.5 เมตร	1 ใบ	700	700	-
อลูมิเนียมเส้น	0.054 เมตร	1 เส้น	160	160	-
เหล็กแผ่นติดบานพับ	6 เมตร	1 เส้น	100	100	-
เหล็กเพลลา	0.009 เมตร	1 เส้น	70	70	-
ใบเจีย	4 นิ้ว	1 ใบ	20	20	-
หน้ากากเชื่อม	-	1 อัน	170	170	-
ใส่ไก่พันสายไฟ	-	5 เมตร	12	60	-
ปลั๊กชั่วคราวสายไฟ	-	4 ตัว	10	40	-
เทพอคริลิค	-	1 อัน	47	47	-
รีเวท	0.006 เมตร	12 ตัว	5	60	-
น็อตสกรูเกลียวปล่อย	0.006 เมตร	16 ตัว	3	48	-
รวม				5,465	6,300

จากการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้ในพื้นที่โรงเลี้ยงแกะขนาดกว้าง 3

เมตร x ยาว 4 เมตร เท่ากับ 12 ตารางเมตร จากเดิมมีค่าใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าประมาณ 1,500 บาทต่อเดือน เมื่อได้มีการนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นใหม่มาใช้งาน จึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าต่อเดือนลดลงร้อยละ 20

8. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการวิจัยพบว่า

ด้านระยะเวลาในการทำงาน มีระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ยนานกว่าเดิมจาก 5 ชั่วโมง 16 นาที และเมื่อมีการพัฒนาแล้ว มีระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง 18 นาที เนื่องจากใช้พลังงานที่น้อยกว่าและสามารถชาร์จพลังงานเพิ่มจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้

ด้านอุณหภูมิ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิที่ลดลงเนื่องจากเดิมเป็นพัดลมโบลเวอร์ที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่ ส่งผลให้การทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิที่สูงกว่าการใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 12 โวลต์ ที่มีมอเตอร์ขนาดเล็กและอาจมากขึ้นหรือน้อยลงตามอุณหภูมิห้อง

ด้านน้ำหนักตัวเครื่อง จากตัวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเดิมใช้พัดลมโบลเวอร์ซึ่งมีน้ำหนัก 7 กิโลกรัม ซึ่งส่งผลให้ตัวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีน้ำหนักที่มาก และเมื่อได้มีการพัฒนาโดยการเปลี่ยนเป็นพัดลมระบายอากาศขนาด 12 โวลต์ ซึ่งมีน้ำหนักเพียง 400 กรัม จึงส่งผลให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีน้ำหนักที่เบาและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกมากขึ้น

ด้านความปลอดภัย เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้มีการเปลี่ยนจากการใช้ระบบไฟฟ้า 220 โวลต์ เป็นระบบไฟฟ้า 12 โวลต์ ซึ่งไม่มีแรงดันไฟฟ้ามากพอที่จะอันตรายต่อผิวหนังและได้มีการเก็บหุ้มสายไฟ การจัดเก็บสายไฟให้เป็นระบบจะทำให้มีความปลอดภัยต่อการใช้งานมากขึ้น

ด้านเสียงรบกวน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้มีการเปลี่ยนจากพัดลมโบลเวอร์ที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่มาเป็นพัดลม

ระบายอากาศ ขนาด 12 โวลต์ ทำให้มีเสียงรบกวนจากการทำงานของมอเตอร์ที่ลดลงจากเดิม

ในกรณีไม่มีแสงอาทิตย์แบตเตอรี่สามารถจ่ายไฟให้กับตัวเครื่องทำงานได้เท่ากับกำลังในการประจุแบตเตอรี่ เมื่อหมดแล้วการทำงานก็จะหยุดลง ในกรณีที่มีแสงอาทิตย์แบตเตอรี่จะสามารถจ่ายไฟให้ได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จากการใช้เครื่องแอร์พัดลมไฟฟ้าเหลือเพียง 5,465 บาท

9. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

9.1 จากการวิจัยครั้งนี้ภาชนะบรรจุน้ำแข็งเก็บความเย็นได้ค่อนข้างน้อย ควรเพิ่มอุปกรณ์ที่สามารถทำความเย็นได้ตลอดเวลาที่ใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

9.2 ควรศึกษาและพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานทดแทนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบอัจฉริยะ เพื่อช่วยลดต้นทุนค่าเสียเวลาและต้นทุนค่าเสียโอกาสในการดำเนินงานและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Arthit and R.Kornpapop. (2021, October 1) Development of air conditioners using co-energy from solar cells. [online]. Available: <https://tdcthailis.or.th>
- [2] T. Yongyoot. "Development of Suitable Heat Exchangers for Efficiency Enhancement of Dryer for Agricultural Product" M.Eng. dissertation, College of Renewable energy, Mae Jo University, 2021 (in Thai).
- [3] K. Jatuporn. "The Design of Control Structure of Heat Exchanger Network" M.Eng. dissertation, Faculty of Engineer, Chulalongkorn University, (2001) (in Thai).
- [4] X. Lianzheng, M. Guoyuan, Z. Feng and W. Lei. (2021, October 10). Operation characteristics of air-air heat pipe inserted plate heat exchanger

for heat recovery. [online]. Available: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsenergylett.7b00980#>

- [5] T. Wiwat, *Industrial heat exchanger*. Bangkok: Faculty of Engineer, Chulalongkorn University, Publisher, 2007 p.11 (in Thai).
- [6] S.H. Noie-Baghban and G.R. Majideian. (2021, October 10). Waste Heat Recovery using heat pipe Heat Exchanger (HPHE) for surgery rooms in hospitals. [online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/223481375>
- [7] S. Anusorn, "The Study on Heat Transfer by Induction of Cylindrical Fins" M.Eng. dissertation, Faculty of Engineer, Srinakharinwirot University, 2007 (in Thai).
- [8] M. S. Soylemez. (2021, October 10). On the optimum heat exchanger sizing for heat recovery. [online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/245159456>
- [9] T. Chatchan, *Refrigeration and air conditioning*. Pathunthani: Skybook, 2015, p. 7 (in Thai).
- [10] S. Somsak, *Refrigeration and air conditioning*. Bangkok: SE-ED Publisher, 2016, p. 43 (in Thai).
- [11] Science Center for Education Khonkaen, (2021, October 17). Definition of renewable energy. [online]. Available: http://kksci.com/elreaning/prarang_t/e-tan.htm
- [12] P. Phasawat, (2021, October 1). Definition of renewable energy. [online]. Available: <https://sites.google.com/site/possawatt/phlangngan-cak-khya>
- [13] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, (2021, November 4). Power generation from solar energy. [online]. Available: <https://webkc.dede.go.th/testmax/kb01-list>

- [14] P. Monvika. *Cost Accounting*. Bangkok: Physics Center, 2013 (in Thai).
- [15] M. Soraya. *Production Cost*. Bangkok: Srinakharinwirot University Publisher, 2014 (in Thai).
- [16] A. Benjamart. *Introduction Cost Accounting*. Bangkok: SE-ED Publisher, 2013 (in Thai).

การวิเคราะห์รูปแบบการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริงของอาคารที่ใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่ง
ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาอาคารสำนักงานอธิการบดี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Real-time power consumption analysis of building using power from
power grid combine photovoltaic system. Case Study of the Office of
the President of Chiang Rai Rajabhat University.

วิลาสินี ศรีสุวรรณ* และ ปราณต์ เมฆอากาศ

Wilasinee Srisuwan* and Pran Mekakad

โปรแกรมวิชาวิศวกรรมพลังงานและเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

*Email: idt_wilasinee@crju.ac.th

Received: March 20, 2023; Revised: May 25, 2023; Accepted: May 29, 2023

บทคัดย่อ

การใช้ระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์เป็นที่ยอมรับมากขึ้นในปัจจุบัน การศึกษารูปแบบการใช้พลังงานในอาคารหลังการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์แล้วจะช่วยให้ได้แนวทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์รูปแบบการใช้ไฟฟ้าของอาคารที่ใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ และเพื่อวางแผนแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพและการนำระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์มาใช้ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเพิ่มขึ้น การศึกษาพบว่าจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องข้อมูลได้จากการใช้ชุดตรวจวัดไฟฟ้ามัลติฟังก์ชันที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าของอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ได้แสดงรูปแบบการใช้ไฟฟ้าของอาคารแยกได้สองกรณี กรณีแรกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าของอาคารมีสี่รูปแบบ กรณีที่สองจากการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารมีสี่รูปแบบ โดยรูปแบบทั้งหมดให้แนวทางเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติในระบบไฟฟ้าอาคาร วิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าในอาคารก่อนและหลังใช้ระบบ ใช้มาตรการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า เป็นต้น การศึกษารูปแบบการใช้ไฟฟ้าของอาคารนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาในอาคารอื่น ๆ ของมหาวิทยาลัยที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์แล้ว และที่ยังไม่ได้ติดตั้งระบบได้

คำสำคัญ : เวลาจริง, ระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์, ระบบไฟฟ้าร่วม, พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า

Abstract

Systematic use of solar energy is growing in popularity today. The efficiency of the solar power generation system can be increased by researching the building's energy usage patterns after the system has been installed. This study aims to examine the building's electricity consumption patterns when using

grid electricity systems with solar power generation systems and to establish guidelines for boosting the university's solar energy project's effectiveness and quantity. The results demonstrate that there are two scenarios in the examination of the data collected by the multi-function power meter on the electricity supply and building power consumption. There are four patterns in the first scenario when taking into account the building's electricity source. Regarding the building's use of electricity in the second scenario, there are four patterns. All patterns offer a technique to boost efficiency; examples include implementing automatic control systems in utility power systems, examining the building's electricity usage before and after using the system, taking actions to alter electricity-use behaviors, etc. Other buildings of the university that have installed solar power generation systems and those that have not yet installed the system can utilize the analysis of the electricity usage patterns of this building as a guide.

Keywords : real-time, solar power generation system, combined power system, electricity usage behavior

1. บทนำ

การใช้พลังงานทดแทนเป็นที่ยอมรับมากขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับความนิยมทั้งในยุโรป อเมริกา และเอเชีย [1-7] ในประเทศไทย กระทรวงพลังงานได้ให้แนวทางการดำเนินการ เพื่อให้สอดคล้องกับกรอบแผนพลังงานชาติ ของคณะกรรมการ นโยบายพลังงานแห่งชาติที่ได้มีมติจากที่ประชุมของคณะกรรมการฯ กำหนดเป้าหมายของแผนพลังงานชาติ โดยมุ่งลดคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์: Carbon Neutrality ภายในปี ค.ศ. 2065-2070 มีแนวทาง 2 แนวทาง คือการเพิ่มสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าโดยแหล่งพลังงานหมุนเวียน และการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน[8] การผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์จึงเป็นหนึ่งในแนวทางที่ทางกระทรวงพลังงานผลักดันให้มีการใช้งานมากขึ้นในประเทศไทย และสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานจะสามารถทำได้ทั้งในส่วนของการผลิตพลังงานและการใช้พลังงาน เช่น ในส่วนของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ในส่วนของระบบผลิต และในส่วนของการใช้งาน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ทั้งระบบผลิต ระบบจ่ายไฟ รูปแบบและพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพนี้สามารถดำเนินการและตรวจสอบได้ทั้งก่อนติดตั้งและหลังการติดตั้ง

การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าของอาคาร ดำเนินการเพื่อตรวจสอบว่าระบบไฟฟ้าของอาคารมีรูปแบบของการใช้ไฟฟ้าอย่างไร โดยมุ่งเน้นการทำความเข้าใจรูปแบบที่อาคารใช้พลังงาน มากกว่าการประเมินปริมาณการใช้พลังงานของอาคารนี้ เป็นการพิจารณาในภาพรวมของการใช้ไฟฟ้าทั้งอาคาร ไม่ลงลึกในรายละเอียดการใช้งานภายในอาคาร ทำการพิจารณาจากการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารในแต่ละช่วงเวลา ทำการประเมินความต้องการพลังงานแต่ละช่วงเวลาของอาคารได้ ซึ่งจะมีประโยชน์ต่ออาคารที่ใช้ระบบจ่ายไฟฟ้าร่วมหลายแหล่ง เช่น ใช้ระบบไฟฟ้าจากสายส่งและระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ที่นิยมใช้มากขึ้นในปัจจุบัน การใช้ระบบจ่ายไฟฟ้าร่วมกัน จะต้องทำการตรวจสอบปริมาณไฟฟ้าที่จ่ายจากทั้งสองระบบร่วมกันกับปริมาณการใช้ไฟฟ้า ให้สามารถนำมากำหนดการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้เหมาะสมกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลาเพื่อให้ลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า และใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ได้ตามสมรรถนะและคุ้มค่ากับการลงทุนติดตั้ง ซึ่งรูปแบบการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารแต่ละอาคาร อาจจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ขนาดประเภทของอาคาร ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ ความพร้อมของแสงแดด และประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตัวอาคารเอง แต่ปัจจัยที่มีผลต่อรูปแบบการใช้ไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์คือ ช่วงเวลาของวันที่มีการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตได้จะแตกต่างกันไปตามฤดูกาล การออกแบบอาคารให้ประหยัด

พลังงาน การจัดเก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ เพื่อเก็บพลังงานส่วนเกินไว้ใช้ในช่วงที่การผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำ พฤติกรรมผู้ใช้พลังงานในอาคาร [1,9,10]

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเป็นมหาวิทยาลัยในกำกับดูแลของรัฐเป็นหน่วยงานราชการที่ดำเนินงานด้านการศึกษา มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ยมากกว่า 300,000 kWh/เดือน โดยในปริมาณการใช้ไฟฟ้านี้ทางมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายได้ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 501.12 kWp การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด 10 พื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยฯ โดยเริ่มใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 ผลของการติดตั้งคือช่วยลดค่าใช้จ่ายของการใช้ไฟฟ้าลงได้ประมาณ 200,000 บาทต่อเดือน โดยอาคารสำนักงานอธิการบดีเป็นพื้นที่ที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ใช้งานควบคู่กับระบบสายส่งไฟฟ้า ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการติดตั้งจำนวนแผงและกำลังการผลิตมากที่สุด คือจำนวน 738 แผง รวมกำลังการผลิตรวม 236.16 kWp หลังจากการติดตั้งมีเพียงการรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในแต่ละเดือน แต่ยังไม่มีเก็บรวบรวมข้อมูลในรายละเอียดตามเวลาจริงเพื่อทำการวิเคราะห์หาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ไฟฟ้าจากทั้งสองระบบ จึงมีแนวคิดที่จะใช้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริงมาวิเคราะห์หาแนวทางการใช้ไฟฟ้าในอาคาร เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ไฟฟ้าร่วมกันของระบบสายส่งกับระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในอาคารตามลำดับ จึงจะทำการศึกษาดูการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าร่วมกันสองระบบโดยใช้เทคโนโลยีการเก็บรวบรวมข้อมูล ปริมาณไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ปริมาณไฟฟ้าจากระบบสายส่ง ปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร โดยเป็นข้อมูลตามเวลาจริงภายในอาคารสำนักงานอธิการบดีเป็นต้นแบบแนวคิดเพื่อต่อยอดไปใช้ไฟฟ้าสองระบบในอาคารอื่น ๆ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย โดยได้กำหนดวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการใช้ไฟฟ้าของอาคารที่ใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ และเพื่อวางแผนหาแนวทางนำระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์มาใช้ในมหาวิทยาลัยฯ เพิ่มขึ้น

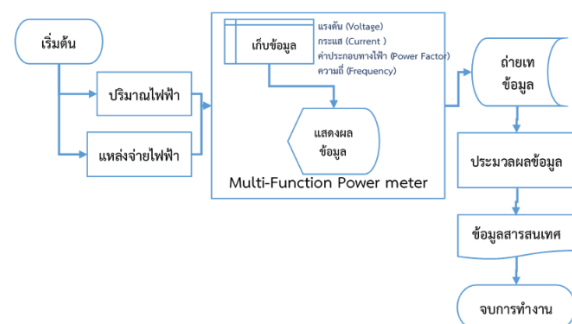
เอกสารฉบับนี้ได้ลำดับการแสดงผลข้อมูลดังนี้ หัวข้อแรกแสดงวัตถุประสงค์ การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิธีการศึกษา

ลำดับถัดไปแสดงผลการศึกษา หัวข้อสุดท้ายแสดงผลสรุปและการอภิปรายผลการศึกษา

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาจากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย โดยใช้อุปกรณ์คือ Multi-Function power meter รุ่น EASTRON SDM630MCT 1A/5A สำหรับระบบไฟ 3 Phase ซึ่งมีกระบวนการทำงานคือเชื่อมต่อไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานของอุปกรณ์เพื่อรับข้อมูลไฟฟ้า แสดงผลหน้าจอและเก็บรวบรวมข้อมูลตามที่ผู้ใช้งานกำหนด ส่งต่อข้อมูลสู่ระบบคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลให้เป็นข้อมูลสารสนเทศนำไปใช้งานต่อไปดังรูปที่ 1 นำอุปกรณ์นี้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์รับและจ่ายไฟฟ้าภายในอาคาร โดยข้อมูลที่นำมาศึกษาคือ ปริมาณไฟฟ้าจากระบบสายส่ง ปริมาณไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ และปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมของอาคาร โดยความถี่ในการเก็บคือทุกนาที่ ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดเจ็ดเดือนตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2565 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2566 แล้วนำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์ผล ซึ่งการศึกษานี้จะวิเคราะห์หาแนวทางการใช้ไฟฟ้าในอาคาร เพื่อหาแนวทางการเพิ่มการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

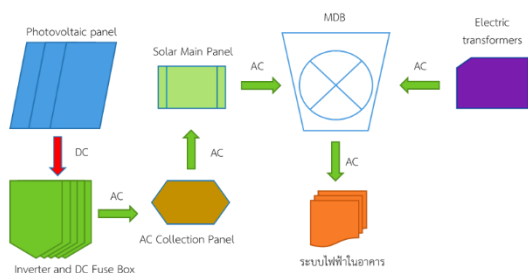
อาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย มีพิกัดที่ตั้งที่ 19.980900N, 99.852728E ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 638 แผง มีพิกัดกำลังไฟฟ้าต่อแผงเท่ากับ 320 Wp รวมทุกแผงเท่ากับ 236.16 kWp โดยติดตั้งแผงหันไปทางทิศใต้ มุมการติดตั้งแผงคือ 14 องศา บนแท่นปูนบนดาดฟ้าของอาคาร โดยในช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลระบบการผลิตมีค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 70.37%



รูปที่ 1 กระบวนการทำงานของ Multi-Function power meter

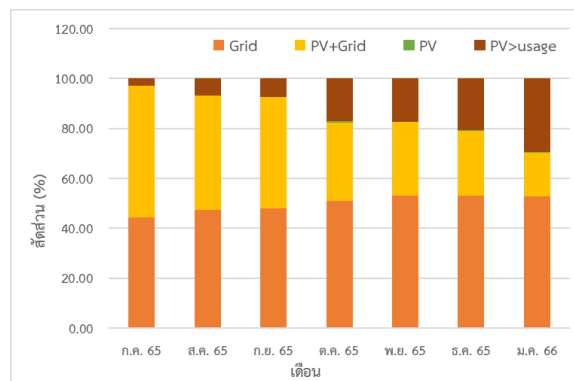
3. ผลการศึกษา

ระบบไฟฟ้าในอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ได้ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนดาดฟ้าของอาคาร จึงมีรูปแบบการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าของอาคารดังรูปที่ 2 คือจะมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าสองแหล่งคือจากระบบสายส่งและจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ซึ่ง MDB เป็นศูนย์กลางในการรวมไฟฟ้าเพื่อส่งจ่ายภายในอาคาร



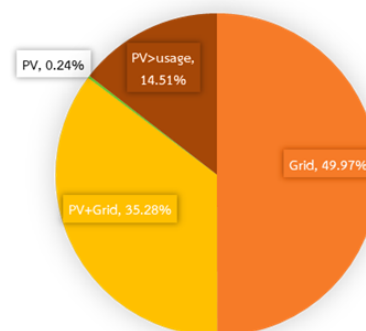
รูปที่ 2 รูปแบบการเชื่อมต่อไฟฟ้าจากระบบพลังงาน

จากการเก็บข้อมูลการจ่ายไฟฟ้าของทั้งสองระบบและการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร สามารถจัดรูปแบบการใช้ไฟฟ้าได้ 2 กลุ่มดังนี้ กลุ่มที่ 1 กลุ่มรูปแบบการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า มีรูปแบบการใช้ไฟฟ้า 4 รูปแบบ คือ ใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งอย่างเดียว ใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ใช้ไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์อย่างเดียว และใช้ไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์อย่างเดียวแต่เกินความต้องการใช้ไฟฟ้าในอาคาร โดยปริมาณการใช้งานในแต่ละรูปแบบในแต่ละเดือน ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งพบว่าในช่วงเดือนกรกฎาคม จะมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งร่วมกับระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุดและมีปริมาณที่ลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเดือนมกราคม และพบว่าการใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่ง



รูปที่ 3 ร้อยละของรูปแบบการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าในแต่ละเดือน

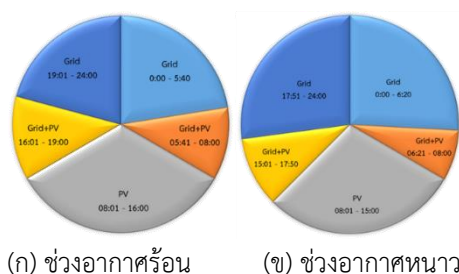
และการใช้ไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ผลิตเกินความต้องการมีเพิ่มขึ้นจากเดือนกรกฎาคมถึงเดือนมกราคม เป็นลำดับ ส่วนการใช้ไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าสายส่งเพียงอย่างเดียวที่พอดีกับความต้องการการใช้ไฟฟ้าในอาคารมีปริมาณน้อยมาก เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของการใช้ไฟฟ้า ทั้ง 4 รูปแบบนี้ พบว่าการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งคิดเป็น 49.47% การใช้ไฟฟ้าจากสองระบบร่วมกันคิดเป็น 35.28% การใช้ไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์อย่างเดียวที่มีความพอดีกับความต้องการคิดเป็น 0.24% และการใช้ไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์อย่างเดียวแต่ผลิตเกินความต้องการใช้ภายในอาคารคิดเป็น 14.51% ดังแสดงในรูปที่ 4



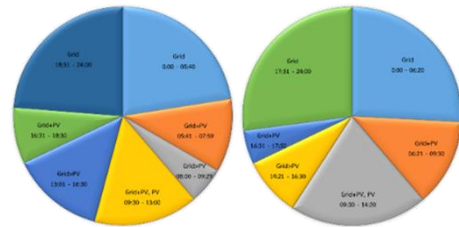
รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยของการใช้ไฟฟ้าของแต่ละกลุ่มในระยะเวลา 7 เดือน

กลุ่มที่ 2 กลุ่มรูปแบบการใช้ไฟฟ้าพิจารณาจากการใช้ไฟฟ้าในอาคาร แยกรูปแบบการใช้ไฟฟ้าออกได้ 4 รูปแบบ คือ รูปแบบการใช้ไฟฟ้าในวันหยุดช่วงอากาศร้อน รูปแบบการใช้ไฟฟ้าในวันหยุดช่วงอากาศหนาว รูปแบบการใช้ไฟฟ้า

ในวันทำการช่วงอากาศร้อน และรูปแบบการใช้ไฟฟ้าในวันทำการช่วงอากาศหนาว ดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 โดยมีความแตกต่างกันที่เวลาในการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งไฟฟ้าที่ต่างกัน ซึ่งมาจากเวลาการขึ้นลงของพระอาทิตย์ที่ต่างกันของช่วงอากาศร้อนและช่วงอากาศหนาว โดยช่วงอากาศร้อนพระอาทิตย์ขึ้นและตกมีระยะเวลานานกว่าช่วงอากาศหนาว ในวันทำการช่วงอากาศหนาวจะมีการใช้ไฟฟ้าน้อยกว่าช่วงอากาศร้อน และในวันทำการของช่วงอากาศร้อนจะมีช่วงเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ แต่ไม่เพียงพอต่อการใช้งานต้องใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งมากขึ้น ซึ่งเป็นช่วงเริ่มงานตอนเช้า และช่วงบ่ายหลังเวลาประมาณ 13:00 น. เป็นต้นไป ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะไม่เกิดในช่วงเช้าของช่วงอากาศหนาว แต่ในช่วงบ่ายจะเกิดขึ้นเป็นบางวันในเดือนตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน แต่ในเดือนธันวาคม และเดือนมกราคม มีรูปแบบเหมือนกับการใช้ไฟฟ้าในช่วงวันหยุด ในส่วนของการใช้พลังงานเวลาหลังพระอาทิตย์ตกจนถึงพระอาทิตย์ขึ้นจะเป็นการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างเป็นส่วนใหญ่ แต่ในช่วงหลังจากพระอาทิตย์ขึ้นจนถึงก่อนพระอาทิตย์ตก ในวันหยุดจะมีกิจกรรมของการใช้ไฟฟ้า เช่น มีการทำงาน หรือมีกิจกรรม แต่ไม่เต็มทั้งอาคารเหมือนวันทำการจึงทำให้มีช่วงเวลาที่ใช้ไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์อย่างเดียวได้มากกว่าวันทำการ และวันทำการจะมีช่วงเวลาที่ใช้ไฟฟ้าจากสายส่งมากกว่าเนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ซึ่งมีทั้งการใช้ระบบแสงสว่าง เครื่องใช้ไฟฟ้า และระบบปรับอากาศ



รูปที่ 5 รูปแบบการใช้ไฟฟ้าในวันหยุด (ก) ช่วงอากาศร้อน (ข) ช่วงอากาศหนาว



(ก) ช่วงอากาศร้อน (ข) ช่วงอากาศหนาว

รูปที่ 6 รูปแบบการใช้ไฟฟ้าในวันทำการ (ก) ช่วงอากาศร้อน (ข) ช่วงอากาศหนาว

4. สรุปและอภิปรายผล

การวิเคราะห์รูปแบบการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริงของอาคารที่ใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาอาคารสำนักงานอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายโดยใช้ชุดตรวจวัด Multi-Function power meter เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อเก็บข้อมูลตามเวลาจริงของการใช้ไฟฟ้าที่มีการจ่ายจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากระบบสายส่งและระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์เข้าสู่ตัวอาคาร เมื่อรวบรวมข้อมูลแบบเวลาจริงของการใช้ไฟฟ้าในระยะเวลาเจ็ดเดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 จนถึงเดือนมกราคม 2566 แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่ารูปแบบการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายอธิบายได้สองกรณีคือ กรณีที่พิจารณาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าของอาคาร และพิจารณาจากการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร กรณีที่พิจารณาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าของอาคารพบว่ามีรูปแบบการใช้ไฟฟ้าสี่รูปแบบ คือ รูปแบบแรก เป็นการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้าอย่างเดียว รูปแบบที่สอง เป็นการใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่งร่วมกับระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ และรูปแบบที่สาม เป็นการใช้ไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์อย่างเดียว และรูปแบบที่สี่เป็นการใช้ไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่มีการผลิตไฟฟ้ามากกว่าการใช้งานในอาคาร โดยรูปแบบที่หนึ่งจะมีระยะเวลาการใช้งานที่มากกว่า รูปแบบที่สอง สี่และสาม โดยค่าเฉลี่ยร้อยละที่ 49.97 35.28 14.51 และ 0.24 ตามลำดับ แต่ถ้าพิจารณาจากการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร สามารถจัดกลุ่มรูปแบบการ

ใช้งานได้จาก ช่วงที่อากาศร้อน และช่วงที่อากาศหนาว และแต่ละช่วงก็จะแบ่งรูปแบบการใช้งานได้สองรูปแบบคือ การใช้ไฟฟ้าในวันหยุดราชการ และการใช้ไฟฟ้าในวันทำการ ซึ่งในแต่ละรูปแบบแบ่งได้อีกสองรูปแบบ โดยรายละเอียดของทั้ง 4 รูปแบบเป็นดังนี้ รูปแบบแรกช่วงที่อากาศร้อนและวันหยุดราชการ รูปแบบที่สองช่วงที่อากาศร้อนและวันทำการ รูปแบบที่สามช่วงที่อากาศหนาว วันหยุดราชการ และรูปแบบที่สี่ช่วงที่อากาศหนาว วันทำการ

จากรูปแบบการใช้ไฟฟ้าของอาคารทั้งแปดรูปแบบนี้ มีช่วงเวลาของการใช้ไฟฟ้าที่จะต้องพิจารณาดำเนินการปรับแก้ไข เพื่อให้ระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ถูกใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพและเต็มศักยภาพดังนี้

1. ช่วงเวลาที่ใช้ไฟฟ้าจากสายส่งไม่ได้ใช้ไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเป็นช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นและหลังพระอาทิตย์ตก

2. ช่วงเวลาที่มีการใช้ปริมาณไฟฟ้าสูงซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าที่เพียงพอต่อการใช้งานในอาคาร ซึ่งจะเป็นช่วงเริ่มการทำงานของช่วงอากาศร้อน และช่วงบ่ายของช่วงอากาศร้อน

3. ช่วงเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ปริมาณที่มากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร เป็นช่วงเวลาประมาณ 9:30-14:20 น.

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์มีดังนี้ และสรุปแสดงดังรูปที่ 7

ด้านพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า

1. พิจารณากำหนดเวลาลำดับการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยเฉพาะเครื่องปรับอากาศ เครื่องทำความเย็นต่าง ๆ เครื่องทำความร้อน ในช่วงเวลาที่ต่างกันไม่พร้อมกันในช่วงเริ่มทำงานช่วงเช้า และช่วงบ่าย

2. พิจารณาปิดการใช้ไฟฟ้าในอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ เมื่อไม่ใช้งาน

3. พิจารณาในช่วงเวลาพักกลางวันควรเปิดเครื่องปรับอากาศไว้แต่ปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นอยู่ในช่วง 26-28°C เพื่อให้อุณหภูมิภายในห้องรองรับความร้อนที่เจ้าหน้าที่นำเข้ามาสู่ภายในห้องเมื่อกลับเข้ามาจากการออกไปรับประทานอาหาร และลดการเปิดเครื่องปรับอากาศพร้อมกัน

ด้านระบบไฟฟ้าของอาคาร

1. พิจารณาติดตั้งระบบควบคุมการเปิด ปิดการใช้ไฟฟ้าอัตโนมัติเมื่อไม่มีการเคลื่อนไหวในบริเวณพื้นที่ควบคุม

2. พิจารณาติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติเมื่อไม่มีการเคลื่อนไหวในบริเวณห้อง

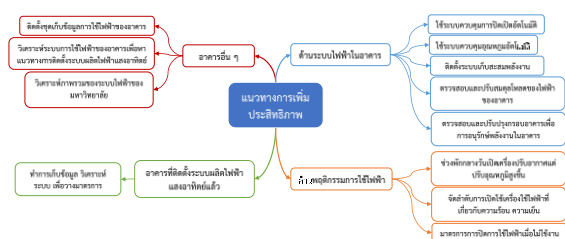
3. พิจารณาการตรวจเช็คและจัดทำกรปรับสมดุลโหลดไฟฟ้าของอาคาร

4. พิจารณาติดตั้งระบบเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำไฟฟ้าที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้เกินความต้องการใช้งานมาเก็บสะสมไว้นำไปใช้งานในช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้นและหลังพระอาทิตย์ตก และในช่วงเวลาการเริ่มงานเช้าและบ่ายของวันทำการ

5. พิจารณาการตรวจเช็คครอบอาคารเพื่อทำการปรับปรุงเพื่อช่วยในการอนุรักษ์การใช้พลังงานมากขึ้น

ทั้งนี้มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายได้ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในอาคารอื่นๆ ไปแล้วอีก 9 อาคาร ซึ่งแนวทางการดำเนินการในภาพรวมจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ควรมีการตรวจสอบวิเคราะห์ระบบทั้งหมดและเลือกมาตรการที่เหมาะสมของภาพรวมและของแต่ละอาคาร ทั้งทางด้านพฤติกรรมกรการใช้ไฟฟ้า และด้านระบบไฟฟ้าของอาคารซึ่งรวมถึงระบบสะสมพลังงานที่เหมาะสม

นอกจากนี้ยังมีอาคารอื่น ๆ ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย สามารถพิจารณาแนวทางติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยควรทำการศึกษาพฤติกรรมกรการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริงของอาคารโดยใช้อุปกรณ์ Multi-Function Power meter เพื่อศึกษาให้ทราบรูปแบบกรการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอาคาร แล้วจึงเลือกมาตรการที่เหมาะสมของแต่ละอาคาร ทั้งทางด้านพฤติกรรมกรการใช้ไฟฟ้า และด้านระบบไฟฟ้าของอาคารควบคู่กับการพิจารณาติดตั้งขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ของแต่ละอาคารต่อไป



รูปที่ 7 แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์

การศึกษาการใช้ไฟฟ้าในอาคารเพื่อหาแบบการใช้ไฟฟ้านำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าสองระบบ คือ จากระบบสายส่ง และระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่จะต้องมีการศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้าในอาคารและหาแนวทางการปรับการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับทั้งสองระบบ ส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าสามารถทำงานได้เต็มศักยภาพและช่วยให้ประหยัดการใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่ง การศึกษาโดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการเก็บรวบรวมข้อมูล จะทำให้ได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อการนำมาวิเคราะห์ หาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าในอาคารได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Zhijian Liu[11] และ Minglei Shao [12] สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีหลักในอาคาร และสามารถประเมินการใช้พลังงานจริงทำให้แนะนำการปรับปรุงการดำเนินงานของโรงเรือนได้ทันที แต่ศักยภาพของระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานในอาคารจะมีสัดส่วนที่ต่ำสอดคล้องกับการศึกษาของพรสวรรค์ พิริยะศรัทธา [13] ที่พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์เทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีปริมาณที่ต่ำกว่าร้อยละ 10 ซึ่งเป็นประเด็นหลักสำคัญที่จะต้องมีการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ให้สูงขึ้นเพื่อให้การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในอาคารมีความคุ้มค่ามากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายที่ให้การสนับสนุนด้านทุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Marish Kumar, R. Saravanakumar, A. Karthick, and V. Mohanavel, "Artificial neural network-based output power prediction of grid-connected semitransparent photovoltaic system," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, pp. 10173–10182, 2022, doi: 10.1007/s11356-021-16398-6/Published.
- [2] W. Maráda, "Analysis of self-consumption of energy from grid-connected photovoltaic system for various load scenarios with short-term buffering," *SN Appl Sci*, vol. 1, no. 5, May 2019, doi: 10.1007/s42452-019-0432-5.
- [3] F. Mosannenzadeh, A. Bisello, R. Vaccaro, V. D'Alonzo, G. W. Hunter, and D. Vettorato, "Smart energy city development: A story told by urban planners," *Cities*, vol. 64, pp. 54–65, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.cities.2017.02.001.
- [4] A. Lewandowska, J. Chodkowska-Miszczuk, K. Rogatka, and T. Starczewski, "Smart energy in a smart city: Utopia or reality? evidence from Poland," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 21, Nov. 2020, doi: 10.3390/en13215795.
- [5] A. Boretti and S. Castelletto, "Cost and performance of CSP and PV plants of capacity above 100 MW operating in the United States of America," *Renewable Energy Focus*, vol. 39, pp. 90–98, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.REF.2021.07.006.
- [6] J. Li et al., "How to make better use of intermittent and variable energy? A review of wind and photovoltaic power consumption in China," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 137, Elsevier Ltd, Mar. 01, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110626.
- [7] W. Bouaguel and T. Alsulimani, "Understanding the Factors Influencing Consumers' Intention toward Shifting to Solar Energy Technology for Residential Use in Saudi Arabia Using the Technology Acceptance Model," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 18, Sep. 2022, doi: 10.3390/su141811356.
- [8] M. of E. Energy Policy and Planning office (EPPO), "Resolutions of the meeting of the

- National Energy Policy Council,” Bangkok, 2021.
- [9] S. Wei and X. Bai, “Multi-Step Short-Term Building Energy Consumption Forecasting Based on Singular Spectrum Analysis and Hybrid Neural Network,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 5, Mar. 2022, doi: 10.3390/en15051743.
- [10] M. Heidarinejad, J. G. Cedeño-Laurent, J. R. Wentz, N. M. Rekstad, J. D. Spengler, and J. Srebric, “Actual building energy use patterns and their implications for predictive modeling,” *Energy Convers Manag*, vol. 144, pp. 164–180, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.04.003.
- [11] Z. Liu, Y. Liu, B. J. He, W. Xu, G. Jin, and X. Zhang, “Application and suitability analysis of the key technologies in nearly zero energy buildings in China,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 101, pp. 329–345, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.RSER.2018.11.023.
- [12] M. Shao, X. Wang, Z. Bu, X. Chen, and Y. Wang, “Prediction of energy consumption in hotel buildings via support vector machines,” *Sustain Cities Soc*, vol. 57, p. 102128, Jun. 2020, doi: 10.1016/J.SCS.2020.102128.
- [13] P. Piriyaasatta, “Using Photovoltaic System on The Faculty of Architecture’s Building Rooftop in Khon Kaen University for Energy Conservation,” *Built Environment Inquiry (ARCH KKU) Journal*, vol. 15, no. 1, pp. 183–200, 2016. (In Thai)

การปรับปรุงกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษา บริษัท ขวดพลาสติก จำกัด

Improving the production process of plastic bottle packaging to increase productivity Case Study of Plastic Bottle Co., Ltd.

ชัชชนันท์ อินเี่ยม^{1*}, พรทิพย์ เหลียวตระกูล² และ สุรพงษ์ รมัญจิตต์³

Chatchanan Iniam^{1*}, Pornthip Liewtrakul² and Surapong Ramanchit³

^{1,3} สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

² สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

^{1,3} Automation engineering technology Program, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University

² Information and Communication Technology Program, Faculty of Science and Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University

*Email: c_iniam@hotmail.com

Received: November 09, 2022; Revised: March 20, 2023, Accept: April 03, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพปัญหาของกระบวนการผลิตขวดพลาสติก ปรับปรุงกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติกเพื่อเพิ่มผลผลิต โดยใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ ในการปรับปรุงกระบวนการประกอบด้วย การศึกษาการทำงาน (Work Study) ด้วยแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต และใช้ผังแสดงขั้นตอนการทำงาน จากนั้นใช้วิธีการทำงาน (Method Study) และการวัดผลงาน (Work Measurement) ด้วยการจับเวลา เพื่อหาเวลามาตรฐานในการทำงาน นอกจากนี้ มีการใช้แผนภูมิแก๊งปลา (Fishbone Diagram) สำหรับวิเคราะห์ปัญหา ผลการวิจัยพบว่า ภายหลังปรับปรุงกระบวนการผลิต สามารถลดเวลาในกระบวนการขนย้ายขวดพลาสติก จากเวลา 3.75 นาที ลดลงเหลือ 3.21 นาที คิดเป็น 14.22 เปอร์เซ็นต์ และลดระยะทางการเคลื่อนที่จาก 38 เมตร ลดลงเหลือ 32.23 เมตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 15.21 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ยอดการผลิตเพิ่มจาก 39,202 ชิ้นต่อเดือน เป็น 46,632 ชิ้นต่อเดือน

คำสำคัญ: การปรับปรุงกระบวนการผลิต, บรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติก, เพิ่มผลผลิต

Abstract

This research aims to study the problems of the plastic bottle manufacturing process. Improve production process Plastic bottle packaging to increase productivity by using knowledge in industrial engineering in process improvement, consists of a work study (Work Study) with a flow chart of the production process. and use flowcharts to show the workflow

Then use methods of work (Method Study) and measure work (Work Measurement) with a timer. To find the standard time to work. In addition, a fishbone diagram was used to analyze the problem. The results showed that after improving the production process Able to reduce the time in the plastic bottle handling process from 3.75 minutes, declined to 3.21 minutes, equivalent to 14.22 percent, and reduced the movement distance from 38 meters, reduced to 32.23 meters, equivalent to 15.21 percent, resulting in an increase in production from 39,202 pieces. per month to 46,632 pieces per month

Keywords: Improvement Manufacturing, Plastic bottle packaging, Increase Productivity

1. บทนำ

อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ในปัจจุบันมีการแข่งขันกันมาก ทั้งทางด้านการตลาดและการผลิตสินค้า การแข่งขันทางด้านการตลาด มุ่งเน้นด้านการขายสินค้าให้ขายได้มากกว่าคู่แข่ง โดยการตั้งราคาที่ถูกลง เพื่อดึงดูดผู้บริโภคมากขึ้น ซึ่งต้องอาศัยความร่วมมือของทุกหน่วยงานในองค์กร เพื่อให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ต้นทุนคงที่ทั้งนี้ เพื่อมุ่งหวังการใช้ทรัพยากรและปัจจัยในการผลิตต่างๆ ในองค์กรที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จากเหตุผลดังกล่าว จึงมีความจำเป็นต้องวางแผนโรงงานใหม่ แม้ว่า โรงงานอาจมีเครื่องจักรที่มีคุณภาพสูง มีเครื่องมือที่ดี มีความต้องการของตลาดสูง หากแต่โรงงานดังกล่าว ขาดการวางแผนโรงงานที่ดี ย่อมทำให้สูญเสียโอกาสในผลิตที่เร็วขึ้น และส่งผลให้การผลิต อาจไม่ทันต่อความต้องการของผู้บริโภค

บริษัท ขวดพลาสติก จำกัด ปัจจุบันตั้งอยู่ ถนนสนามบิน น้ำ ตำบลท่าทราย อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี ลักษณะของกิจการเป็นการผลิตและจำหน่ายบรรจุภัณฑ์พลาสติกประเภทต่างๆ ได้แก่ บรรจุภัณฑ์พลาสติกประเภทขวดพลาสติก ตามขนาดที่ผู้บริโภคต้องการ และผลิตภัณฑ์พลาสติกขึ้นรูปประเภทถัง สำหรับบรรจุน้ำดื่มบริโภค โดยขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร เป็นขนาดที่มีความต้องการในตลาดผู้บริโภคต่างประเทศสูง เนื่องจากมีคุณสมบัติทนทาน สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ปัญหาของขวดชนิดนี้ คือ ขวดมีขนาดใหญ่ มีความหนา และยังมีน้ำหนัก

ค่อนข้างมาก รวมทั้งต้องใช้พื้นที่ค่อนข้างเยอะในการจัดเก็บ นอกจากนี้ การขนย้ายไปแต่ละสถานี สามารถขนย้ายได้ครั้งละจำนวนน้อย ใช้เวลาในการขนย้ายยาวนาน บริษัท ขวดพลาสติก จำกัด เริ่มประสบปัญหาในด้านพื้นที่ของโรงงานที่มีจำนวนจำกัด ทำให้ไม่สามารถขยายโรงงานต่อไปได้อีก เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของเครื่องจักร ประกอบกับจำนวนการสั่งซื้อที่เพิ่มขึ้น

จากสภาพความต้องการของผู้บริโภคและข้อจำกัดด้านพื้นที่ของโรงงานดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้นำหลักการวางแผนโรงงานมาใช้ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงาน [1] และได้นำหลักการศึกษากิจการเข้ามาประกอบการวิเคราะห์ปรับปรุงการวางแผนโรงงาน ซึ่งการปรับปรุงดังกล่าว จะช่วยให้ขั้นตอนการผลิตมีความคล่องตัวมากขึ้น ส่งผลให้โรงงานสามารถผลิตสินค้าได้ทันความต้องการของผู้บริโภค

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาพปัญหาของกระบวนการผลิตขวดพลาสติก
2. เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติก
3. เพื่อเพิ่มผลผลิตของกระบวนการผลิตขวดพลาสติก

3. ขอบเขตงานวิจัย

3.1 ขอบเขตด้านกลุ่มเป้าหมาย

ขอบเขตของกลุ่มเป้าหมายได้แก่ สายการผลิตขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร

3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหาการวิจัย ได้แก่

1. ปรับปรุงขั้นตอนการผลิตและกระบวนการผลิตขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร ตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ โดยใช้แผนภูมิแกงปลา

2. เทคนิคการศึกษาการทำงาน แผนภูมิกระบวนการหลัก ECRS ได้แก่ 1. กำจัด (Eliminate) 2. การรวม (Combine) 3. การปรับเปลี่ยน (Re-arrange) เป็นการจัดลำดับงานใหม่ให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น และ 4. การทำให้ง่าย (Simplify) มาใช้ปรับปรุง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตขวดน้ำ

3. ขอบเขตด้านพื้นที่ที่ทำการศึกษา ได้แก่ บริษัท ขวดพลาสติก จำกัด ปัจจุบันตั้งอยู่ ถนนสนามบินน้ำ ตำบลท่าทราย อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี

4. ทบทวนวรรณกรรม

ในการวิจัยนี้ มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องได้แก่ ทฤษฎีการวางแผนโรงงาน โดยการวางแผนโรงงานอย่างเป็นระบบ (SLP) ถูกพัฒนาขึ้นมาโดย Richard Muther ในปี 1973 มีจุดมุ่งหมาย 2 เรื่องหลัก คือ การทำซ้ำในระดับสูงและความสัมพันธ์เชิงตรรกะ โดยการวางแผนมี 6 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 เขียนแผนความสัมพันธ์เป็นการรวบรวมข้อมูลต่างๆ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าแผนผังความสัมพันธ์

ขั้นที่ 2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรม เป็นการวิเคราะห์การไหลของวัสดุร่วมกับความสัมพันธ์ของกิจกรรม

ขั้นที่ 3 การหาพื้นที่ที่ต้องการ เป็นการสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ ที่มาจากการวิเคราะห์แต่ละกระบวนการ

ขั้นที่ 4 แผนภาพสัมพันธ์ของเนื้อที่ เป็นการสร้างภาพสัมพันธ์ ใช้เป็นแนวทางในการหาตำแหน่งกิจกรรม

ขั้นที่ 5 การพิจารณาจัดและปรับปรุงผังโรงงานเพื่อประเมินเป็นการพิจารณาปรับปรุงแก้ไขตามข้อจำกัด

ขั้นที่ 6 การเลือกผังโรงงานและนำไปปฏิบัติ เป็นขั้นตอนสุดท้าย คือการประเมินผังโรงงานที่วางไว้ และเลือกผังใหม่ นำไปปฏิบัติ

นอกจากนี้ ยังใช้แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Flow Process Chart, FPC) ในการศึกษาการไหลของงาน [2] แสดงรายละเอียดมากกว่าแผนภูมิกระบวนการผลิตอย่างสังเขป โดยมีการเพิ่มสัญลักษณ์ดังนี้

○ หมายถึง การทำงาน (Operation) ที่ได้ผลงานเพิ่มขึ้น

□ หมายถึง การตรวจสอบ (Inspection)

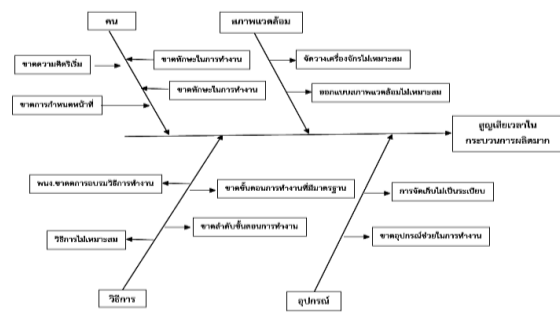
D หมายถึง การเก็บพักชั่วคราวและการรอ (Delay)

▽ หมายถึง การเก็บพักที่ควบคุมได้ (Storage)

⇒ หมายถึง การขนถ่าย (Transportation)

เป็นการขนถ่ายที่เกิดจากการย้ายวัสดุ คน หรือเครื่องจักรจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง ยกเว้นการเคลื่อนไหว ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทำงาน นอกจากนี้ ยังใช้แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตประเภทคน คือ แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตต่อเนื่อง ที่บันทึกว่า คนงานได้ทำงานอะไรบ้าง รวมทั้งแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตประเภทวัสดุ คือ แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต ที่บันทึกว่าวัสดุได้เคลื่อนย้ายหรือถูกทำงานอย่างไร

การใช้แผนภูมิแกงปลา หรืออาจเรียกว่า แผนผังเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นเครื่องมือที่ศาสตราจารย์คาโอริ อิชิกะวะแห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว ได้นำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาคุณภาพเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ.2496 เป็นแผนผังที่ใช้วิเคราะห์ เพื่อหาเหตุแห่งผลของปัญหาที่เกิดขึ้น เป็นเครื่องมือที่ช่วยทำให้การแก้ปัญหาง่ายขึ้น เพราะสามารถเจาะจงหาปัญหาที่แท้จริง [3] ได้ ดังแสดงในรูปที่ 1 การวิเคราะห์ปัญหาลักษณะแกงปลา จากโครงสร้างแผนภูมิแกงปลา ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนโครงกระดูกที่เป็นตัวปลา ซึ่งได้รวบรวมปัจจัยอันเป็นสาเหตุของปัญหา และส่วนตัวปลาที่เป็นข้อสรุปผลของสาเหตุที่กลายเป็นตัวปัญหา



รูปที่ 1 การวิเคราะห์ปัญหาหลักขณะก้างปลา

สำหรับการวิจัยนี้ ผู้วิจัยนำหลักการของทฤษฎี ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange และ Simplify) ที่ใช้ในการปรับปรุงวิธีการทำงานมาใช้ หลักการของ ECRS เป็นหลักการที่พัฒนาวิธีการทำงานให้เหมาะสมที่สุดในเชิงปฏิบัติ เพื่อให้เกิดความประหยัดและมีประสิทธิภาพในการทำงาน [4] โดยพิจารณาสิ่งแวดล้อมทั้งหมดที่มีอยู่ ซึ่งประกอบด้วย หลักการกำจัดขั้นตอนการทำงานบางส่วนที่ไม่จำเป็น (Eliminate) เพื่อลดการสูญเสียเปล่าของแรงงาน เวลา วัสดุ หรือต้นทุนในการทำงานนั้นๆ เช่น การหาเครื่องมือช่วยลดขั้นตอนการทำงานนั้นๆ หรือลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นออกไป แล้วรวมขั้นตอนการทำงานที่ใกล้เคียงกันเป็นขั้นตอนเดียว (Combine) โดยทำหลังจากที่กำจัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นออกไป เช่น การใช้เครื่องมือที่รวมขั้นตอน สามารถช่วยรวมขั้นตอนการทำงานให้เป็นขั้นตอนเดียวกันได้ การจัดลำดับขั้นตอนของงานใหม่ (Re-arrange) ถ้าหลักการในข้อที่ 1) และ 2) ใช้ไม่ได้ผล อาจปรับปรุงโดยการเปลี่ยนคน เปลี่ยนสถานที่ หรือเปลี่ยนลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานให้เหมาะสม เช่น จัดคนให้ทำงานตามความถนัด จัดลำดับงานให้ถูกต้องตามเหตุผล ปรับปรุงขั้นตอนการทำงานให้ง่ายขึ้น (Simplify) เช่น งานที่มีขั้นตอนยุ่งยากและซับซ้อน ปฏิบัติงานได้ยาก ก็หาทางปรับปรุงให้สามารถทำได้ง่ายขึ้น

การออกแบบผังโรงงาน ผู้วิจัยได้ทำการรวมพฤติกรรม และกิจกรรม ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของเท่าที่จำเป็น และรวดเร็ว ใช้ทรัพยากรทุกอย่างที่มีในโรงงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้โรงงานที่ออกแบบผังโรงงาน สามารถผลิตแล้ว ทำให้เกิดผลกำไรแก่โรงงาน [5] ผังโรงงานนั้น มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ การวางผังโรงงานตามชนิดของผลิตภัณฑ์ (Product Layout) การวางผังโรงงานแบบนี้

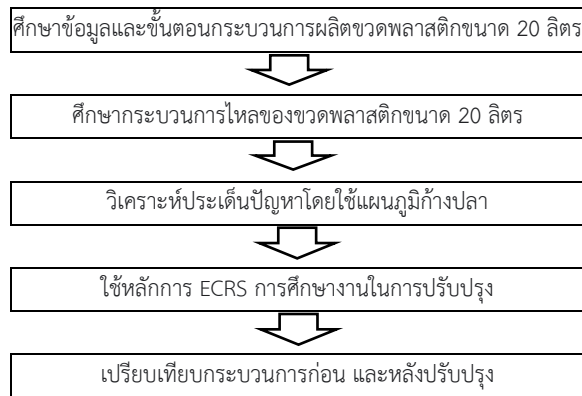
เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว หรือน้อยชนิด แต่ละชนิดผลิตเป็นจำนวนมาก และทำการผลิตในพื้นที่สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดนี้โดยเฉพาะ การวางผังโรงงานตามขบวนการผลิต (Product Layout) เป็นการจัดเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้งานประเภทเดียวกัน อยู่ในกลุ่มเดียวกัน หรือในแผนกเดียวกัน หรืออาจกล่าวได้ว่า เป็นการวางผังโรงงานตามชนิดของเครื่องจักร และการวางผังโรงงานตามตำแหน่งงาน (Fixed Position Layout) การจัดวางผังโรงงานแบบนี้ เป็นการจัดวางผังโรงงาน โดยให้ส่วนประกอบหลังอยู่กับที่ แล้วเคลื่อนย้ายเครื่องจักร อุปกรณ์ แรงงาน และวัสดุเข้าไปหาส่วนประกอบหลักดังกล่าว เพื่อทำการผลิต เช่น เครื่องบิน ตู้ต่อเรือ

5. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ ผู้วิจัยเริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหาของกระบวนการผลิตขวดน้ำขนาดต่างๆ โดยพบว่า การผลิตขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร ใช้ระยะทางและเวลาในการเคลื่อนที่มากที่สุด เนื่องจากมีระยะห่างจากสถานีถัดไปมาก อีกทั้งใช้พื้นที่จัดเก็บมากที่สุด แนวทางแก้ปัญหา จำเป็นต้องใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรมมาปรับปรุงกระบวนการ อันประกอบด้วย การศึกษาการทำงาน (Work Study) คือ วิธีการต่างๆ ในการศึกษาวิธีการทำงาน (Method Study) และ การวัดผลงาน (Work Measurement) [6] ที่ใช้ในการศึกษาอย่างเป็นระเบียบถึงการทำงานของคน โดยพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและภาวะของการทำงาน เพื่อปรับปรุงการทำงานนั้นๆ ให้ดีขึ้น ซึ่งการศึกษากิจการงานมีผลโดยตรงกับการเพิ่มผลผลิต ดังนั้น การศึกษาการทำงาน สามารถนำมาช่วยในการเพิ่มผลผลิตจากทรัพยากรที่มีอยู่เดิม และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น ส่งผลให้ได้ผังโรงงานที่เหมาะสมกับสภาพของโรงงาน รวมทั้งลดการเมื่อยล้าของคนงาน รวมถึงสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ดี

ขั้นตอนของการศึกษาการทำงาน แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ การเลือกงานหรือกระบวนการที่ทำการศึกษาของผู้บริโภค การบันทึกและสังเกตการณ์ในสิ่งที่เกิดขึ้นในการทำงาน หรือกระบวนการที่เลือก โดยใช้วิธีการบันทึกที่เหมาะสม เพื่อเป็นข้อมูลที่เหมาะสมในการวิเคราะห์การ

ตรวจสอบข้อเท็จจริงที่บันทึก โดยพิจารณาจุดประสงค์ของการทำงานนั้นๆ สถานที่ที่ทำงานนั้นๆ กำลังดำเนินการอยู่ ลำดับการทำงานของคนงาน วิธีการทำงานและอุปกรณ์ การทำงานและการพัฒนาวิธีการทำงานที่ประหยัด โดยพิจารณาสิ่งแวดล้อมทั้งหมด ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

6. การศึกษาและวิเคราะห์

ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลนั้น ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (FPC) เพื่อเปรียบเทียบเวลาและระยะทาง ตลอดกระบวนการผลิต ซึ่งมีอยู่ 5 ชนิดผลิตภัณฑ์ คือ ขวดขนาด 200 มิลลิลิตร 400 มิลลิลิตร 500 มิลลิลิตร 1,000 มิลลิลิตร และถังบรรจุน้ำ 20 ลิตร โดยการวัดระยะทางและจับเวลาของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด พบว่าขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร ใช้ระยะทางและระยะเวลาอย่างมากว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ผลจากการเก็บข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงระยะทางและเวลาที่ใช้ในการผลิตขวด

ชนิดบรรจุภัณฑ์	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)
200 cc.	54	123
400 cc.	63	144
500 cc.	69	159
1,000 cc.	86	196
20,000 cc.	92	225

จากข้อมูลดังกล่าว พบว่าปัญหาของกระบวนการผลิตขวดทั้งหมด โดยเฉพาะกระบวนการผลิต ในแผนกคัดแยก มีระยะทางและเวลาในการขนย้ายมากกว่าแผนกอื่นๆ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับขวดขนาดอื่นแล้ว พบว่า ควรปรับปรุงกระบวนการไหลของขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการวิจัย ดังรูปที่ 3

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต									
กิจกรรม กระบวนการผลิตขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร					วันที่เก็บข้อมูล 19-12-65				
คน ☐ วิส ☐ เครื่องจักร ☐	การทำงาน ☐								
หมายเลขแผนภูมิ 10-10	Operation ☐								
วิธีทำ ☐ ปัจจุบัน ☐ ปรับปรุงแล้ว	Transport ☐								
สถานที่ หน่วยผลิต 1	Delay ☐								
คนงาน 2 คน	Inspection ☐								
ผู้บันทึก	Storage ☐								
	ระยะทาง (เมตร)								
ผู้ตรวจ	เวลา (วินาที/นาที)								
	สัญลักษณ์								
ขั้นตอน	จำนวน	ระยะทาง	เวลา	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ยกขวดดิบจากสโตร์	20 ก.ก.	10	4	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ย้ายขวดดิบจากสโตร์	20 ก.ก.	15	3.5	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ยกขวดดิบขึ้นเครื่องฉีด	20 ก.ก.	3	2	☐	☐	☐	☐	☐	☐
เดินเครื่องฉีด		1.2	2.2	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ย้ายขวดมาจุดคัดแยก	400 ขวด	38	3.75	☐	☐	☐	☐	☐	☐
คัดแยกขวด	5,000 ขวด	2	20	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ย้ายขวดมาจุดคัดแดง	5,000 ขวด	6.2	3	☐	☐	☐	☐	☐	☐
คัดแดงขวด	5,000 ขวด	2	10	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ตรวจสอบ	5,000 ขวด	2	3	☐	☐	☐	☐	☐	☐
บรรจุถุง	12 ขวด	3	7	☐	☐	☐	☐	☐	☐

รูปที่ 3 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร

6.1 การวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุปัญหา

ในการวิเคราะห์ปัญหา ผู้วิจัยได้นำปัญหาที่เกิดจาก 4M คือ MAN, MACHINE, MATERIALS และ METHODS มาวิเคราะห์ปัญหา [7] โดยใช้แผนภูมิแก๊งปลา เพื่อแสดงให้เห็นถึงสาเหตุของปัญหา

ผู้วิจัยได้นำปัญหากระบวนการผลิตที่ใช้เวลานานที่สุด คือ สายการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่เป็นขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร เนื่องจากการผลิตขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร จะใช้เวลาในการคงรูป จากการฉีดนานกว่าขวดขนาดอื่น รวมทั้งขวดที่ผลิตมีน้ำหนักมาก ในการขนย้าย ซึ่งไม่สามารถขนย้ายได้ครั้งละมาก ๆ และยังต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บแต่ละสถานีเป็นจำนวนมากด้วยเช่นกัน สำหรับวิเคราะห์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการใช้แผนภูมิแก๊งปลา เรื่องการปรับปรุงผังโรงงานด้วยการออกแบบผังโรงงานอย่างเป็นระบบ กรณีศึกษา โรงงานผลิตดักท์แอร์ [8] และงานวิจัยเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตด้วย

เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ [9] ทำให้ทราบสาเหตุหลักของปัญหาในการผลิตขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร ได้ดังนี้

- 1) การจัดวางเครื่องจักรและอุปกรณ์ไม่เหมาะสมกับการทำงาน
- 2) ขาดการกำหนดหน้าที่ในการทำงานอย่างชัดเจน
- 3) ขาดขั้นตอนการทำงานที่เป็นมาตรฐาน
- 4) ขาดอุปกรณ์ช่วยการทำงาน

6.2 การปรับปรุงกระบวนการผลิต

ในการปรับปรุงสายการผลิตขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร เพื่อให้ผังโรงงานมีความคล่องตัวสูง มีการเคลื่อนย้ายน้อยที่สุด และมีการเคลื่อนย้ายวัสดุทางเดียว มีความสอดคล้องกับงานวิจัย เรื่องการปรับปรุงผังบริษัทประกอบอุปกรณ์เสริมรถยนต์ด้วยหลักการออกแบบผังโรงงานอย่างเป็นระบบ [10] นอกจากนี้ ยังตรงกับงานวิจัยเรื่อง การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้หลักการควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง กรณีศึกษาการผลิตชิ้นรูปพลาสติกด้วยระบบสูญญากาศ [11] ซึ่งสามารถสรุปได้ โดยใช้หลักการ (ECRS) ในการปรับปรุงดังตารางที่ 2

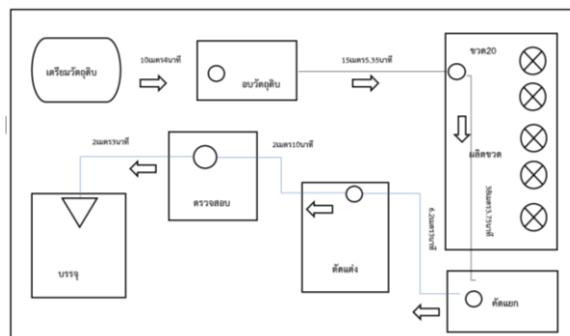
ตารางที่ 2 สรุปการนำหลักการ ECRS มาใช้ในการปรับปรุง

สายการผลิตปัจจุบัน	ECRS	สายการผลิตที่เสนอแนะ
1. แผนกเตรียมวัตถุดิบ	-	-
2. แผนกอบเม็ด	R	เปลี่ยนตำแหน่งของแผนกอบเม็ด
3. แผนกแยกขนาด	R	เปลี่ยนตำแหน่งของแผนกแยกขนาดใหม่
4. แผนกตัดแต่งขวด	R	เปลี่ยนตำแหน่งของแผนกตัดแต่งใหม่
5. แผนกตรวจสอบแก้ไข	R	เปลี่ยนตำแหน่งของแผนกตรวจสอบแก้ไขใหม่
6. แผนกบรรจุและจัดส่ง	-	-

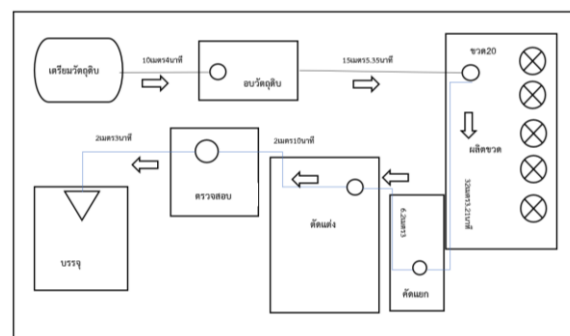
7. ผลการวิจัย

7.1 การเปรียบเทียบลักษณะการเคลื่อนที่ก่อนและหลังปรับปรุง

จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร จากสถานีผลิตขวดน้ำไปยังสถานีคัดแยก สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 5 - 6



รูปที่ 5 การเคลื่อนที่ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 6 การเคลื่อนที่หลังการปรับปรุง

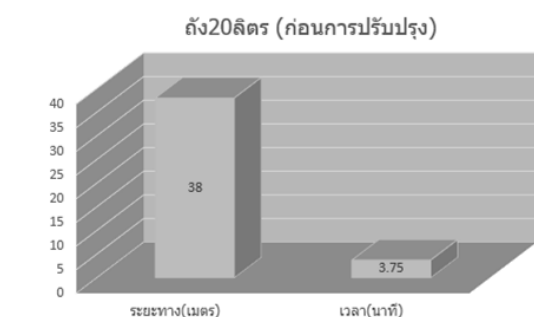
7.2 การเปรียบเทียบเวลาการเคลื่อนที่ของแผนผังก่อนและหลังปรับปรุง

จากการปรับปรุงผังการดำเนินการ ผู้วิจัยได้เสนอให้ทางโรงงาน ปรับปรุง 4 สถานี ได้แก่ สถานีอบวัตถุดิบ สถานีคัดแยก และสถานีตัดแต่ง และสถานีตรวจสอบ แต่บางสถานีไม่สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องจักรได้ จึงเสนอให้เคลื่อนย้ายสถานีที่มีผลกระทบต่อผลิตน้อยที่สุด คือ สถานีคัดแยก และสถานีตัดแต่ง ซึ่งมีเครื่องมือขนาดเล็ก สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยง่าย ส่งผลให้ระยะทางในการทำงานสั้นลง และมีพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูปมากขึ้น ดังแสดงได้จากตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลการศึกษาวิธีการก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุงกระบวนการย้ายขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร

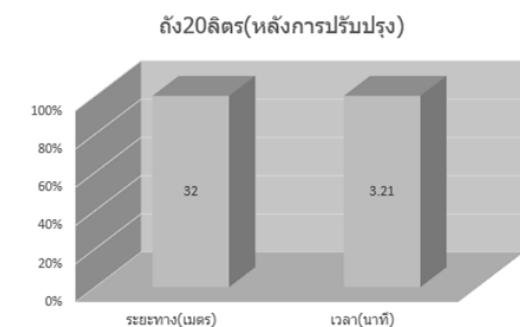
ผลการศึกษา	วิธีก่อนปรับปรุง	วิธีหลังปรับปรุง	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
ระยะทาง (เมตร)	38	32	ลดลง 14.22
เวลา (นาท)	3.75	3.21	ลดลง 15.21
ผลผลิต (ชิ้น/เดือน)	39,202	46,632	เพิ่มขึ้น 18.9

จากตารางที่ 3 เห็นได้ว่า เวลาการเคลื่อนที่ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 3.75 นาที และเวลาเคลื่อนที่หลังการปรับปรุงเท่ากับ 3.21 นาที ซึ่งเวลาในการเคลื่อนที่หลังการปรับปรุง ลดลงจากเดิม 14.22% ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบเวลาการเคลื่อนที่ของแผนผังก่อนการปรับปรุง

นอกจากนี้ จากตารางที่ 3 ยังพบว่า ระยะทางการเคลื่อนที่ ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 38 เมตร และระยะทางเคลื่อนที่หลังการปรับปรุงเท่ากับ 32 เมตร ซึ่งระยะทางในการเคลื่อนที่หลังการปรับปรุง ลดลงจากเดิม 15.21% ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะทางการเคลื่อนที่หลังการปรับปรุง

8. อภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการผลิต บรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติก ทั้งในด้านการศึกษาสภาพปัญหา การวิเคราะห์ปัญหา ตลอดจนการปรับปรุงสายการผลิต พบประเด็นหลัก 3 สาเหตุ ได้แก่

1. ระยะทางในการขนย้ายวัสดุ มีความห่างเกินระยะเวลาในการเดินทาง ซึ่งใช้เวลานาน รวมทั้งการวางผังโรงงานที่มีขีดจำกัดในด้านของพื้นที่ เนื่องจากต้องใช้พื้นที่ในการวางสินค้าในแต่ละสถานีค่อนข้างมาก ดังนั้น การปรับปรุงผังบางส่วนของโรงงาน ที่ไม่กระทบกับตำแหน่งการวางของเครื่องจักร จึงเป็นส่วนที่สามารถทำได้ สอดคล้องกับเอกสารอ้างอิงที่ [12] ที่ได้วิเคราะห์การวางผังอย่างเป็นระบบ โดยผังมีความสัมพันธ์ของการไหลและมีเกณฑ์ระยะทางในการเคลื่อนที่ การไหลของวัสดุ และอรรถประโยชน์ ในการใช้พื้นที่ ส่งผลให้สามารถใช้พื้นที่ที่สั้นลง

2. เวลาที่ใช้หลังจากปรับปรุง ในกระบวนการสามารถลดเวลาลงได้อย่างเหมาะสม เช่นเดียวกับเอกสารอ้างอิงที่ [13] ซึ่งได้เพิ่มประสิทธิภาพของโรงงานพลาสติก ในส่วนโรงงาน โดยการประยุกต์ทฤษฎีการวางผังโรงงาน ทำให้ลดเวลาในการทำงานได้ 0.513 นาที

3. การปรับปรุงผังโรงงาน มีการใช้เกณฑ์ความสัมพันธ์ระหว่างสถานี โดยต้องเลือกวิธีที่ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับเอกสารอ้างอิงที่ [14] ที่ปรับปรุงผังโรงงานและกระบวนการผลิตโคโม่ โดยสามารถลดระยะทางได้ 33 เมตร และลดเวลาได้ 43 นาที

9. บทสรุป

9.1 สรุปผล

จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตขวดพลาสติกขนาด 20 ลิตร ก่อนและหลังปรับปรุง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ด้านเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายจากสถานีผลิต มายังสถานีคัดแยกเดิม ก่อนปรับปรุง ใช้เวลาทั้งสิ้น 38 นาที เมื่อได้ทำการปรับปรุงแล้ว เวลาลดลงเหลือ 32 นาที คิดเป็น 14.22 เปอร์เซ็นต์

2. ด้านระยะทางที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายจากสถานีผลิต มายังสถานีคัดแยกเดิม ใช้ระยะทาง 3.75 เมตร หลังจากทำ

การปรับปรุง สามารถลดระยะทางเหลือ 3.21 เมตร คิดเป็น 15.21 เปอร์เซ็นต์

3. ด้านผลผลิต เดิมผลิตได้จำนวน 39,202 ชิ้น ต่อเดือน หลังการปรับปรุง สามารถเพิ่มผลผลิตเป็น 46,632 ชิ้นต่อเดือน เพิ่มขึ้น 18.9 เปอร์เซ็นต์

9.2 ข้อเสนอแนะ

1. แผนผังสายการผลิตที่ได้จัดทำขึ้น จะไม่มีประโยชน์ หากผู้รับผิดชอบขาดการดูแลเอาใจใส่ในเรื่องของการวางแผนผังสายการผลิต หรือพนักงานขาดความกระตือรือร้นในการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามแผนผังที่วางไว้ ดังนั้น ผู้ควบคุมหรือหัวหน้างาน ควรเอาใจใส่ดูแล หรือกระตุ้นให้พนักงานในสายงาน มีความกระตือรือร้นในการปฏิบัติงานอยู่อย่างสม่ำเสมอ

2. สามารถนำวิธีการวางแผนผังสายการผลิต มาประยุกต์ใช้กับงานในแผนกอื่น ๆ ได้เช่นกัน แต่ต้องมีการศึกษาถึงแผนภูมิการไหลของงานเดิมก่อน

3. เนื่องจากโรงงาน ยังมีปัญหาในเรื่องของการวางแผนความต้องการวัสดุ เช่น บางครั้งวัตถุดิบส่งมาไม่ทัน หรือใช้เวลาในการเบิกวัตถุดิบนานเกินไป ทำให้การผลิตต้องหยุดชะงัก ไม่สามารถทำการผลิตต่อได้ จึงควรมีการศึกษาต่อในเรื่องของการวางแผนความต้องการวัสดุ และการควบคุมสินค้าคงคลังต่อไป

10. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท ขวดพลาสติก จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ในการดำเนินการวิจัยและได้เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยในครั้งนี้

11. เอกสารอ้างอิง

- [1] K.Phayub, "Enhancement of Layout Efficiency in Case Study of AAA Plastics Industry Co., Ltd," Master of Business Administration Thesis University of the Thai Chamber of Commerce , Bangkok, 2014 (in Thai)
- [2] C. Srisupinanon. Factory layout design to increase productivity. Bangkok: SE-EDUCATION Co., Ltd. (in Thai)

- [3] P. Homsri, "Renovation of factory layout to increase production efficiency Case study of downlight manufacturers," *Journal of Engineering and Digital Technology (JEDT)*, vol.9, no.2, pp.25-36. Jul-Dem. 2021 (in Thai)
- [4] N. Kriengkorn, *Industrial Studies*. (3rd printing). Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University Printing House, 2017 (in Thai)
- [5] L. P. Ritzman, L. J. Krajewski, *Principles of production management*. Bangkok: Pearson Education Indochina Co., Ltd, 2015 (in Thai)
- [6] P. Sangrungs, *Faculty of Production Management*. Bangkok: (in Thai)
- [7] A.Klankamdee and his team, *QC, technique, theory and 76 questions series*, Bangkok. (in Thai)
- [8] W. Mai and P. Chuaybuda, *Improving factory layout through systematic factory layout design, case study, duct-air factory*, Bangkok Dhurakij Pundit University, 2017 (in Thai)
- [9] T. Phannikul, D. Sangkamanee and P. Ngamsanga "Improving the efficiency of the production process with industrial engineering tools a case study of a bicycle assembly plant," *Documents of the 2014 Industrial Engineering Network Symposium, Samut Prakan Thailand*, October. 30 – 31, 2014. (in Thai)
- [10] L. Sekjaisuea and R. Chantasa, "The improvement of the company layout of the assembly of car accessories by systematic factory layout design principles," *Industrial Engineering Network Academic Conference 2016, Phetchaburi Thailand*, October. 17-19, 2012, pp.601-607 (in Thai)

- [11] A. Tiewti Boonchai S. Siew and S. Worarat
“Improving the production process to reduce waste in the production process by using 7 quality control principles. A case study of plastic molding with waste syste,” *Vacuum Documents of the 2014 Industrial Engineering Network Symposium, Samut Prakan Thailand*, October. 30-31, 2014. (in Thai)
- [12] J. Suksrisawat and P. Koedthong, “Plant Layout and Design of Furniture Factory Master Management and Logistics Engineering Thesis Graduate,” Dhurakij Pundit University, Bangkok, 2019 (in Thai)
- [13] K payup, “Increasing the efficiency of layout management, A case study of AAA Plastic Company,” University of the Thai Chamber of Commerce, Bangkok, 2015 (in Thai)
- [14] P.Homsri, “Improving the factory layout to increase production efficiency Case study of downlight manufacturer,” *Journal of Engineering and Digital Technology*, vol.9, no.2, pp.25-36, Jul.-Dec. 2021 (in Thai)

การจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวที่มีต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของ
อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ : กรณีศึกษา บริษัท เดลต้า

อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

Green Logistics and Green Supply Chain Management affecting to
The Operational Efficiency of Electronic Equipment and Components
Industry: A Case Study of Delta Electronics (Thailand) Public
Company Limited

อนุวัฒน์ คำคุณ* และ สิริพร ทัดทวี

Anuwat Khamkhun* and Siriporn Tattawee

คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกริก

Faculty of Business Administration Krirk University

*Email: Matttvelas@gmail.com

Received: February 12, 2023; Revised: April 09, 2023; Accepted: April 22, 2023

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษากระบวนการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวของบริษัท เดลต้าฯ 2) ศึกษาปัจจัยการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวที่มีต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท เดลต้าฯ 3) เสนอแนวทางการปรับปรุงระบบการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว กลุ่มตัวอย่างคือ พนักงานแผนกปฏิบัติการที่ทำงานภายในบริษัท จำนวน 316 คน และผู้ให้ข้อมูลหลัก จำนวน 5 คน เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์ โดยใช้สถิติค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติเชิงอนุมาน และการวิเคราะห์เนื้อหา

ผลการศึกษา พบว่า 1) ปัจจัยการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวที่มีต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท พบว่า อายุ และสายงานปัจจุบันที่ต่างกัน มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงาน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว มีผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ 2) กระบวนการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวของบริษัท พบว่า บริษัท กำหนดให้ซัพพลายเออร์ต้องได้รับการรับรองมาตรฐานที่บริษัทฯ กำหนด โดยมีการส่งเสริมให้พนักงานให้มีความรู้ด้านพลังงานเพื่อช่วยกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อีกทั้งมีการจัดการสินค้าที่เหลือ โดยส่งไปขายต่อที่ตลาดมือสองหรือแยกเพื่อนำเอาชิ้นส่วนไปใช้งานต่อหรือกำจัด 3) แนวทางการปรับปรุงระบบการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว พบว่า ควรเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน พร้อมทั้งอาศัยความร่วมมือจากหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง จัดให้คณะกรรมการดำเนินการตรวจประเมิน โดยเน้นการตรวจสอบซัพพลายเออร์ในประเทศ เพื่อติดตามสถานะของซัพพลายเออร์

คำสำคัญ : การจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว, ประสิทธิภาพการดำเนินงาน, การปรับปรุงระบบการจัดการ

Abstract

This research aims to 1) study the logistics and green supply chain management process of Delta Corporation, 2) study the factors of logistics and green supply chain management that affect the operational efficiency of Delta Corporation, and 3) propose suggestions for improving the logistics and green supply chain management system. The sample group includes 316 employees working in the company's operations department and 5 primary informants. Data were collected using questionnaires and interviews and analyzed using statistics such as percentages, means, standard deviations, inferential statistics, and content analysis.

The study found that 1) logistics and green supply chain management factors have significant effects on the company's operational efficiency. Age and current job position have statistically significant differences in opinions on operational efficiency at a level of 0.05, and logistics and green supply chain management factors affect the company's operational efficiency. 2) The company's logistics and green supply chain management processes found that the company requires suppliers to be certified according to the company's standards, and encourages employees to have knowledge of energy conservation to help reduce greenhouse gas emissions. Additionally, the company manages excess inventory by selling it in secondary markets or repurposing it. 3) The study suggests improving competitiveness and collaboration with relevant parties, establishing an evaluation committee with a focus on domestic suppliers to monitor their status.

Keywords : Green logistics and supply chain management, operational efficiency, management system improvement

1. บทนำ

สถานการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน โดยเฉพาะอุทกภัยไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (EEE) ที่เป็นที่ต้องการมากขึ้นในสังคมปัจจุบัน เนื่องจากแรงหนุนจากระดับรายได้ที่เพิ่มขึ้น การขยายตัวของเมืองและอุตสาหกรรม และการเติบโตของประชากร โดยพบว่า ในปี 2564 มีขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้น 57.4 ล้านตัน เมื่อเทียบกับปี 2557 ที่มีปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์เพียง 44.4 ล้านตัน และคาดการณ์ว่า ในปี 2573 จะมีปริมาณขยะอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นมากถึง 74.7 ล้านตัน [1] ส่งผลให้เกิดกระแสที่ทำให้เกิดการตื่นตัวในเรื่องการอนุรักษ์ธรรมชาติและสภาพแวดล้อมทั่วโลก ผู้คนจำนวนมากจากหลากหลายอาชีพเข้ามาร่วมกันจัดกิจกรรมที่มุ่งเน้นในการรักษาความสะอาดของสภาพแวดล้อม ตลอดจนกิจกรรมที่ช่วยบรรเทาผลกระทบที่เป็นปัญหาวิกฤตในปัจจุบัน ซึ่งปรากฏออกมาใน

รูปของการรณรงค์ เพื่อสร้างสรรค์สังคมในลักษณะต่าง ๆ เช่น การปลูกป่าชายเลน งดการใช้ถุงพลาสติก เป็นต้น

นอกจากนี้ กระทรวงอุตสาหกรรม ได้จัดทำกำหนดอุตสาหกรรมสีเขียว เพื่อส่งเสริมและผลักดันให้ผู้ประกอบการมีการพัฒนาและปรับปรุงต่อเนื่องเพื่อเข้าสู่อุตสาหกรรมสีเขียว ซึ่งมี 5 ระดับ คือ 1) ความมุ่งมั่นสีเขียว 2) ปฏิบัติการสีเขียว 3) ระบบสีเขียว 4) วัฒนธรรมสีเขียว และ 5) เครือข่ายสีเขียว

อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง โดยพบว่า การแพร่หลายของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ส่งผลให้เกิดขยะอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากในหลุมฝังกลบ การใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นและการปล่อยวัสดุที่เป็นอันตรายสู่สิ่งแวดล้อม [2] จากสถานการณ์ดังกล่าว Green Supply Chain เริ่มมีบทบาทต่อกระบวนการค้า การขนส่ง และการส่งมอบสินค้า และมีความสำคัญต่อการ

เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันขององค์กรเป็นอย่างมาก จะเห็นได้จากกฎระเบียบและมาตรการต่าง ๆ ในการรักษาสิ่งแวดล้อมจะมีความเข้มข้นมากยิ่งขึ้นและจะถูกนำไปใช้กับคู่ค้าต่าง ๆ ทั่วโลก [3] ดังนั้น ผู้ประกอบการในประเทศไทยจึงจำเป็นต้องติดตามสถานการณ์ อย่างใกล้ชิดและปรับตัวให้ทันเพื่อให้สามารถแข่งขันและอยู่รอดได้ในโลกอนาคต

ปัจจุบันผู้ประกอบการอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย มีจำนวนมากถึง 743 ราย แบ่งเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก จำนวน 438 ราย ขนาดกลาง 179 ราย และขนาดใหญ่ จำนวน 126 ราย [4] ซึ่งถือได้ว่าอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์นับเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศไทยเป็นอย่างมาก

ด้วยเหตุนี้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวของอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยให้ความสำคัญกับการศึกษากระบวนการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวที่มีต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทเดลต้า อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ให้เติบโตตลอดซัพพลายเชน อีกทั้ง สามารถนำรูปแบบของการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนมาปรับใช้สำหรับการวางแผนการดำเนินงาน ตลอดจนการสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมทั้งภายในองค์กรและภายนอกองค์กร ทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชน ในการร่วมดำเนินงานเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษากระบวนการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวของบริษัทเดลต้าฯ

2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวที่มีต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทเดลต้าฯ

2.3 เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของบริษัท เดลต้าฯ

3. สมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานที่ 1 ปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกัน มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 2 ปัจจัยการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวมีผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ ประชากร คือ พนักงานฝ่ายปฏิบัติงาน บริษัทเดลต้า อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) จำนวน 1,500 คน สามารถกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณ กรณีทราบจำนวนประชากร ใช้สูตรคำนวณของของยามานะ [5] ได้เท่ากับ 316 ตัวอย่าง โดยการคำนวณสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างเพื่อให้ได้จำนวนของกลุ่มตัวอย่างแต่ละแผนกของฝ่ายปฏิบัติงานที่เป็นไปตามสัดส่วนของจำนวนประชากรในแผนกนั้น ๆ

2. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ประชากร คือ ผู้บริหารบริหารบริษัท เดลต้า อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Selection) กำหนดผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key Informants) จำนวน 5 คน ประกอบด้วย ผู้บริหาร แผนกจัดการสิ่งแวดล้อม 1 คน รองผู้บริหารแผนกจัดการสิ่งแวดล้อม 1 คน ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 2 คน และกรรมการแผนกจัดการสิ่งแวดล้อมของบริษัท 1 คน

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบสอบถาม (Questionnaire) ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 ปัจจัยส่วนบุคคล เป็นลักษณะคำถามปลายปิด (Close-Ended Question) ส่วนที่ 2 ระดับความคิดเห็นของปัจจัยการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวของบริษัท เดลต้า อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ประกอบด้วย ด้านการจัดซื้อสีเขียว ด้านการผลิตสีเขียว ด้านการดำเนินงานสีเขียว ด้านการออกแบบสีเขียว และด้านจิตตียั่งยืนกลับ ส่วนที่ 3 ระดับความสำคัญของประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท ประกอบด้วย

ด้านเศรษฐกิจ ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านภาพลักษณ์องค์กร เป็นลักษณะคำถามแบบวิธีลิเคิร์ต (Likert Scale) โดยมีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ของ Likert 5 ระดับ โดยใช้เกณฑ์ในการประเมินค่า [6] มีรายละเอียด ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.51–5.00 = มีความคิดเห็นในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.51–4.50 = มีความคิดเห็นในระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.51–3.50 = มีความคิดเห็นในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.51–2.50 = มีความคิดเห็นในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00–1.50 = มีความคิดเห็นในระดับน้อยที่สุด

จากนั้น นำแบบสอบถามฉบับร่างที่ได้รับการแก้ไขไปตรวจสอบความเที่ยงตรงและความเหมาะสม โดยขอความอนุเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) การทดสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม (Reliability) (ปิยะ นากสงค์ และคณะ, 2565)

2. แบบสัมภาษณ์ (interview) โดยเป็นการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างเกี่ยวกับการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวของบริษัทเตลต้า อีเล็คโทรนิคส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

4.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) ประกอบด้วย ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติเชิงอนุมาน (inferential statistics) เพื่อใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ประกอบด้วย สถิติ t - test การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

2. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่ การวิเคราะห์เนื้อหาเกี่ยวกับการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวของบริษัทเตลต้า อีเล็คโทรนิคส์ (ประเทศไทย) จำกัด

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

1. ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่ม แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	195	61.70
หญิง	121	38.30
อายุ		
ต่ำกว่า 30 ปี	157	49.70
31 – 40 ปี	125	39.60
41 – 50 ปี	23	7.20
51 ปีขึ้นไป	11	3.50
ระดับการศึกษาสูงสุด		
ต่ำกว่าปริญญาตรี	207	65.50
ปริญญาตรี	94	29.70
ปริญญาโท	9	2.80
ปริญญาเอก	6	1.90

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
สายงานปัจจุบัน		
แผนกพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์	190	60.00
แผนกผลิตภัณฑ์โครงสร้างพื้นฐาน	63	20.00
แผนกผลิตภัณฑ์อัตโนมัติ	63	20.00
อายุงาน		
น้อยกว่า 5 ปี	163	51.60
5 – 10 ปี	34	10.80
มากกว่า 10 ปี	119	37.70

จากตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย จำนวน 195 คน (ร้อยละ 61.70) อายุต่ำกว่า 30 ปี จำนวน 157 คน (ร้อยละ 49.70) จบการศึกษาระดับต่ำกว่าปริญญาตรี จำนวน 207 คน (ร้อยละ 65.50) ปัจจุบันปฏิบัติงานอยู่แผนกพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 190 คน

(ร้อยละ 60.00) และมีอายุงานน้อยกว่า 5 ปี จำนวน 163 คน (ร้อยละ 51.60) ตามลำดับ

2. ผลการศึกษาระดับความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวของบริษัท เดลต้า อีเล็คโทรนิคส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว โดยรวม

การจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1) ด้านการจัดซื้อสีเขียว	3.78	0.699	มาก
2) ด้านการผลิตสีเขียว	4.03	0.584	มาก
3) ด้านการดำเนินงานสีเขียว	3.91	0.577	มาก
4) ด้านการออกแบบสีเขียว	3.80	0.635	มาก
5) ด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับ	3.70	0.729	มาก
ระดับความคิดเห็น	3.84	0.555	มาก

จากตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์การจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวโดยรวม พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.84$, S.D. = 0.555) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า มีความคิดเห็นอยู่ในระดับมากทุกด้าน โดยด้านการผลิตสีเขียว มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X} = 4.03$, S.D. = 0.584) รองลงมาคือ ด้านการดำเนินงานสีเขียว ($\bar{X} = 3.91$, S.D. = 0.577) ด้านการออกแบบสีเขียว ($\bar{X} = 3.80$, S.D. = 0.635) ด้านการจัดซื้อสีเขียว ($\bar{X} = 3.78$, S.D. = 0.699) และด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับ ($\bar{X} = 3.70$, S.D. = 0.729) ตามลำดับ

3. ผลการศึกษาระดับความคิดเห็นต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท เดลต้า อีเล็คโทรนิคส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลระดับความคิดเห็นต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท เดลต้า อีเล็คโทรนิคส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) โดยแบ่งข้อมูลประสิทธิภาพการดำเนินงานออกเป็น 3 ด้าน คือด้านเศรษฐกิจ ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านภาพลักษณ์องค์กรนำเสนอในรูปแบบตารางโดยใช้สถิติพรรณนา (Descriptive Statistics) คือ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความคิดเห็นที่มีต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ โดยรวม

ประสิทธิภาพการดำเนินงาน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1) ด้านเศรษฐกิจ	3.65	0.699	มาก
2) ด้านสิ่งแวดล้อม	3.89	0.617	มาก
3) ด้านภาพลักษณ์องค์กร	3.99	0.585	มาก
ระดับความคิดเห็น	3.84	0.547	มาก

จากตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ โดยรวม พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.84$, S.D. = 0.547) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า มีความคิดเห็นอยู่ในระดับมากทุกด้าน โดยด้านภาพลักษณ์องค์กร มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X} = 3.99$, S.D. = 0.585) รองลงมาคือ ด้านสิ่งแวดล้อม ($\bar{X} = 3.89$, S.D. = 0.617) และด้านเศรษฐกิจ ($\bar{X} = 3.65$, S.D. = 0.699) ตามลำดับ

4. ผลการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการตั้งสมมติฐานและได้ตั้งสมมติฐานไว้ 2 ข้อ โดยทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ผลการทดสอบสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานที่ 1 ปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกัน มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ แตกต่างกัน

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบสมมติฐานที่ 1

สมมติฐานที่ 1	สถิติที่ใช้	ค่าสถิติ	Sig.	ผลการทดสอบ
เพศที่ต่างกัน มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ แตกต่างกัน	T-test	-1.138	0.084	ปฏิเสธ
อายุที่ต่างกัน มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ แตกต่างกัน	One-way ANOVA	2.881	0.036*	ยอมรับ
ระดับการศึกษาที่ต่างกัน มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ แตกต่างกัน	One-way ANOVA	0.447	0.719	ปฏิเสธ
สายงานปัจจุบันที่ต่างกัน มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ แตกต่างกัน	One-way ANOVA	5.220	0.006*	ยอมรับ
อายุงานที่ต่างกัน มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ แตกต่างกัน	One-way ANOVA	1.751	0.175	ปฏิเสธ

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบสมมติฐานที่ 1 ปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกัน มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ แตกต่างกัน พบว่า

1) กลุ่มตัวอย่างที่มีเพศ แตกต่างกัน มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ ไม่แตกต่างกัน

2) กลุ่มตัวอย่างที่มีอายุ แตกต่างกัน มีประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างเป็นรายคู่ ของค่าเฉลี่ยของการให้ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ จำแนกตามอายุ พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีช่วงอายุต่ำกว่า 30 ปี และกลุ่มตัวอย่างที่มี

ช่วงอายุ 31 – 40 ปี ให้ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท กลุ่มตัวอย่างที่มีช่วงอายุ 41 – 50 ปี

3) กลุ่มตัวอย่างที่มีระดับการศึกษาแตกต่างกัน มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทไม่แตกต่างกัน

4) กลุ่มตัวอย่างที่มีสายงานปัจจุบันแตกต่างกัน มีประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของการให้ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท จำแนกตามสายงานปัจจุบัน พบว่า กลุ่มตัวอย่างแผนกเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ให้ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับ ประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท แตกต่างกับกลุ่มตัวอย่างแผนก

ผลิตภัณฑ์โครงสร้างพื้นฐาน และกลุ่มตัวอย่างแผนกผลิตภัณฑ์โครงสร้างพื้นฐานให้ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท แตกต่างกับกลุ่มตัวอย่างแผนกผลิตภัณฑ์อัตโนมัติ สามารถสรุปได้อีกหนึ่งว่า แผนกเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพการดำเนินงานน้อยกว่า แผนกผลิตภัณฑ์โครงสร้างพื้นฐาน และแผนกผลิตภัณฑ์โครงสร้างพื้นฐานมีประสิทธิภาพการดำเนินงานมากกว่า แผนกผลิตภัณฑ์

5) กลุ่มตัวอย่างที่มีอายุงาน แตกต่างกัน มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท ไม่แตกต่างกัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

สมมติฐานที่ 2 ปัจจัยการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสี่เหลี่ยมมีผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์และค่าสถิติทดสอบปัจจัยการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสี่เหลี่ยมที่มีประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท โดยใช้ การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสี่เหลี่ยม	B	Std. Error	Beta	t	Sig.
ค่าคงที่	1.014	.138		7.329	.000
1) การจัดซื้อสี่เหลี่ยม	-.248	.058	0.317	-4.257	.000*
2) การผลิตสี่เหลี่ยม	-.188	.070	0.201	-2.696	.007*
3) การดำเนินงานสี่เหลี่ยม	-.281	.079	0.296	-3.574	.000*
4) การออกแบบสี่เหลี่ยม	-.132	.075	0.154	-1.755	.080
5) โลจิสติกส์ย้อนกลับ	1.594	.200	1.617	7.956	.000*

Multiple R = 0.801^a R Square = 0.642 Adjusted R Square = 0.636 Std. Error = 0.330

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 5 พบว่า ปัจจัย การจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสี่เหลี่ยมมีผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท ด้านการจัดซื้อสี่เหลี่ยม ด้านการผลิตสี่เหลี่ยม ด้านการดำเนินงานสี่เหลี่ยม และด้านโลจิสติกส์ย้อนกลับ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

โดยผลการวิเคราะห์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple R) เท่ากับ 0.801 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) เท่ากับ 0.642 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่

ปรับแล้ว (Adjusted R Square) เท่ากับ 0.636 และค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานในการตัดสินใจ (Standard Error) เท่ากับ 0.330 และเมื่อพิจารณารายตัวแปร พบว่า โลจิสติกส์ย้อนกลับ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท มากที่สุด โดยมีค่า Sig. เท่ากับ 0.000 มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 มีค่า Beta เท่ากับ 1.617 รองลงมา คือ ด้านการจัดซื้อสี่เหลี่ยม มีค่า Sig. เท่ากับ 0.000 มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 มีค่า Beta เท่ากับ 0.317 ด้านการดำเนินงานสี่เหลี่ยม มีค่า Sig. เท่ากับ 0.000 มีนัยสำคัญที่

ระดับ 0.05 มีค่า Beta เท่ากับ 0.296 และด้านการผลิตสีเขียว มีค่า Sig. เท่ากับ 0.007 มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 มีค่า Beta เท่ากับ 0.201 ตามลำดับ

5.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

1. ผลการศึกษากระบวนการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวของบริษัทเตลต้าฯ

1.1) การจัดซื้อสีเขียว จากการสัมภาษณ์ พบว่า วัตถุประสงค์หลักที่บริษัทฯ ใช้ในการผลิตแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ชิ้นส่วนไฟฟ้า (Electrical parts) และชิ้นส่วนเชิงกล (Mechanical parts) โดยชิ้นส่วนไฟฟ้าส่วนใหญ่นำเข้ามาจากประเทศ สิงคโปร์ ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น ไต้หวัน สำหรับชิ้นส่วนเชิงกล ส่วนใหญ่เป็นการจัดหาจากผู้ผลิตในประเทศและนำเข้าจากประเทศจีนบางส่วนเพื่อ เป็นการกระจายความเสี่ยงและเปรียบเทียบต้นทุน ทั้งนี้ บริษัทฯ กำหนดให้ซัพพลายเออร์ที่จำหน่ายวัตถุดิบให้เตลต้าต้องได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO9001, ISO14001, ONSAS18001, IATF16949 ปี 2017 และอื่น ๆ ที่บริษัทฯ กำหนดอีกด้วย นอกจากนี้ คณะกรรมการบริหารห่วงโซ่อุปทานสีเขียวของบริษัทฯ ได้ดำเนินการพัฒนาและปรับปรุงซัพพลายเออร์ใน 3 ด้าน เพื่อช่วยสนับสนุนการดำเนินธุรกิจ ได้แก่ การทำข้อตกลง การฝึกอบรม การตรวจสอบ โดยให้ความสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมถึงการประหยัดพลังงาน

1.2) การผลิตสีเขียว จากการสัมภาษณ์ พบว่า บริษัทฯ ใช้มาตรฐานระบบการจัดการคุณภาพ IECQ QC080000 พร้อมกับส่งเสริมระบบการจัดการผลิตภัณฑ์สีเขียว (Green Product Management - GPM) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแบ่งปันข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมในโซ่อุปทาน โดยได้มีการออกข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมในระดับนานาชาติ เช่น สารควบคุมล่าสุดของสหภาพยุโรป คือ RoHS 2.0 REACH SVHC โดยบริษัทฯ ได้ดำเนินการส่งต่อข้อมูลนี้ไปยังซัพพลายเออร์พันธมิตรเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงและปฏิบัติให้เป็นไปตามข้อกำหนด นอกจากนี้ บริษัทฯ มีการลงทุนด้านการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อต่อยอดธุรกิจที่มีการเติบโตและมีศักยภาพสูง ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ระบบเครือข่ายศูนย์ข้อมูล และระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรม ส่งผลให้สามารถ

สร้างผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายและมีคุณภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน อัตราการจ่ายพลังงาน และความสามารถในการประมวลข้อมูลดิจิทัล เป็นต้น

1.3) การดำเนินงานสีเขียว จากการสัมภาษณ์ พบว่า บริษัทฯ ได้มีการเข้าร่วมในโครงการ “อุตสาหกรรมสีเขียว” (Green Industry) และ “โรงงานอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ” (ECO Factory) ของกระทรวงอุตสาหกรรม โดยบริษัทฯ ได้รับการรับรองมาตรฐานระบบสีเขียว (Green System) ซึ่งเป็นการรับรองอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบที่ นอกจากนี้ บริษัทฯ ยังมีการดำเนินการส่งเสริมด้านพลังงานทดแทนด้วยการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (PV Solar) ที่โรงงานควบคู่ไปกับโครงการประหยัดพลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลายโครงการ พร้อมทั้งพัฒนาระบบ SCADA ซึ่งเป็นระบบควบคุม ดูแลและเก็บข้อมูล พร้อมชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบเฉพาะ (in-house software) ร่วมกับเทคโนโลยีมาตรวัดดิจิทัล (digital metering technology) เพื่อเฝ้าสังเกต รวบรวม และประมวลผลข้อมูล ทั้งนี้ การเฝ้าติดตามแบบ real-time และผลวิเคราะห์จากระบบจะช่วยสร้างแนวทางในการประหยัดพลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้

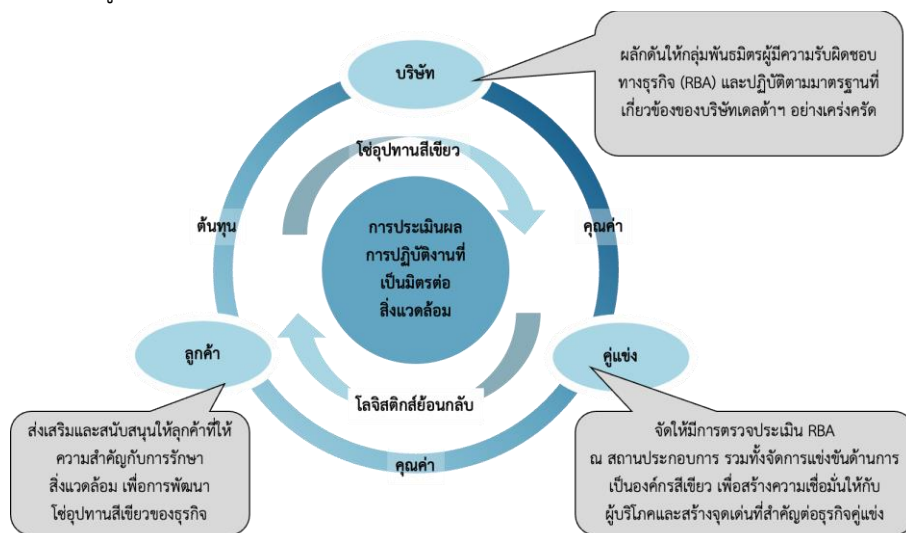
1.4) การออกแบบสีเขียว จากการสัมภาษณ์ พบว่า บริษัทฯ มีการปรับปรุงอาคารใหม่ให้เป็นอาคารสีเขียวจนผ่านการได้รับการรับรองมาตรฐาน LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ซึ่งเป็นโรงงานแห่งแรกในประเทศไทยที่ได้รับการรับรองมาตรฐานในหมวด EBOM นอกจากนี้ บริษัทฯ ได้ส่งเสริมให้พนักงานได้เป็นจิตอาสาเพื่อให้ความรู้ด้านพลังงาน (DEEP & SEED) รวมทั้งสนับสนุนทุนการศึกษามอบผลิตภัณฑ์และจัดฝึกอบรมให้แก่โรงเรียนและมหาวิทยาลัยต่าง ๆ เพื่อช่วยกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อีกทั้งบริษัทฯ ยังได้แลกเปลี่ยนประสบการณ์ในการสร้างอาคารที่ช่วยประหยัดพลังงานและมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณต่ำ และการสร้างอาคารเขียวสำหรับสำนักงานโรงงานผ่านกิจกรรมเปิดบ้านสู่โครงการอาคารสีเขียว รวมถึงการทำงานร่วมกับกลุ่มอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมท้องถิ่น เพื่อส่งเสริมโครงการการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมและแนวคิดเรื่องการประหยัดพลังงานของ

อาคารสีเขียว ร่วมกับภาครัฐ โรงเรียน ชุมชน และภาคประชาชน

1.5) โลจิสติกส์ย้อนกลับ จากการสัมภาษณ์ พบว่า บริษัทฯ เล็งเห็นถึงกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับว่ามีความจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยภายในกระบวนการดังกล่าว เนื่องจากมีความจำเป็นต้องติดตามการเคลื่อนที่ของสินค้าอย่างชัดเจนในโซ่อุปทาน โดยสินค้าส่วนใหญ่จะมีกระบวนการจัดการให้สามารถมาวางจำหน่ายได้อีก ทั้งนี้ อาจจะมีการตัดแปลงหรือแก้ไขสินค้านั้นก็ได้ เนื่องจาก ร้อยละ 75 ของสินค้าที่ถูกส่งกลับคืนไม่ได้เป็นสินค้าที่ชำรุดหรือบกพร่อง แต่จะเป็นสินค้าที่ถูกส่งคืนเนื่องจากไม่มีข้อมูลที่ถูกต้อง หรือมีข้อมูลที่ผิดพลาด ส่วนสินค้าที่เหลืออาจจะถูกส่งไปขายต่อที่ตลาดมือสองหรือ

แยกเพื่อนำเอาชิ้นส่วนไปใช้งานต่อหรืออาจจะนำไปกำจัดได้เช่นกัน

2. ผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงระบบการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของบริษัท เติลต้าฯ จากผลการศึกษาปัจจัยการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวที่มีต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัท เติลต้าฯ และผลการศึกษากระบวนการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวของบริษัท เติลต้าฯ ผู้ศึกษาจึงดำเนินการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงระบบการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของบริษัท เติลต้าฯ สามารถอธิบาย ดังภาพที่ 1



รูปที่ 1 แนวทางการปรับปรุงระบบการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของบริษัท เติลต้าฯ

จากรูปที่ 1 แสดงแนวทางการปรับปรุงระบบการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของบริษัท เติลต้าฯ สามารถอธิบายได้ดังนี้

บริษัทฯ ควรดำเนินการจัดคณะกรรมการเพื่อให้คำปรึกษาและตรวจสอบตามแนวทางของ RBA เพื่อลดความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม สังคมและธรรมาภิบาล (ESG risks) ในโซ่อุปทานสีเขียว และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน พร้อมทั้งจัดตั้งทีมงานโดยอาศัยความร่วมมือจากหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ฝ่ายทรัพยากรบุคคล ฝ่ายความปลอดภัยของแรงงาน ฝ่ายกิจการโรงงาน และฝ่ายจัดซื้อ

โดยทีมงานจะทำการตรวจสอบตามแนวทางของ RBA พร้อมให้คำปรึกษากับซัพพลายเออร์รายสำคัญที่มีความเสี่ยงด้าน ESG สูง เนื่องจากปัจจุบัน พบว่า ยังมีซัพพลายเออร์อีกจำนวนมาก ที่ยังสามารถปรับปรุงระบบการจัดการ RBA ด้านความปลอดภัย และสุขอนามัยให้ดีขึ้นได้อีก ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถจัดการกับปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องได้ โดยทีมงานดังกล่าวนี้ จะต้องเป็นผู้แบ่งปันประสบการณ์ โดยการแนะนำและสนับสนุนการใช้ระบบจัดการของบริษัทฯ ให้แก่ซัพพลายเออร์ พร้อมทั้ง จัดให้คณะกรรมการดำเนินการตรวจประเมิน RBA

ณ สถานประกอบการ (RBA On-Site Audit) โดยเน้นการตรวจสอบซัพพลายเออร์ในประเทศ เพื่อติดตามสถานะของซัพพลายเออร์ เพื่อให้มั่นใจว่ามีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เมื่อพบว่าซัพพลายเออร์มีผลการดำเนินงานด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว ที่ดีขึ้นตามเกณฑ์มาตรฐานแล้วนั้น จัดให้มีใบประกาศรับรองการปฏิบัติตามจรรยาบรรณของ RBA (Declaration of Compliance with RBA Code of Conduct) พร้อมกันนี้ ควรมีการส่งเสริมโครงการการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมและแนวคิดเรื่องการประหยัดพลังงานของอาคารสีเขียว ร่วมกับภาครัฐ โรงเรียน ชุมชน และภาคประชาชน ให้เล็งเห็นถึงความสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

6. อภิปรายผล

6.1 อภิปรายผลการศึกษาปัจจัยการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวที่มีต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทเดต้า

จากผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ อายุ และสายงานที่ต่างกัน มีระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว ได้แก่ การจัดซื้อสีเขียว การผลิตสีเขียว การดำเนินงานสีเขียว และโลจิสติกส์ย้อนกลับ มีผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของบริษัทฯ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุวัจน์ ด้านสมบูรณ์ และธีรินทร์ นฤนาท [7] ศึกษาเรื่อง การจัดการโลจิสติกส์สีเขียวและการจัดการซัพพลายเชนที่ส่งผลต่อการดำเนินงานของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย พบว่า ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์สีเขียวและการจัดการซัพพลายเชนทุกปัจจัยมีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย โดยปัจจัยการผลิตสีเขียวมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด รองลงมาคือ โลจิสติกส์ย้อนกลับ การจัดการซัพพลายเชน และโลจิสติกส์สีเขียว ตามลำดับ อีกทั้งยังสอดคล้องกับ Muma, Samui, Oloya, Munyeme, and Skjerve [8] ศึกษาเรื่อง การจัดการซัพพลายเชนสีเขียวและผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์ในเชิงบวกของการจัดซื้อผลิตภัณฑ์สีเขียวมีผลต่อการจัดการซัพพลาย

เชนสีเขียวกับผลการดำเนินงานของธุรกิจ และยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างการจัดการซัพพลายเชนสีเขียวกับผลการดำเนินงานทางสังคม

6.2 อภิปรายผลการศึกษาระบบการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวของบริษัทเดต้า

กระบวนการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวของบริษัทฯ พบว่า 1) การจัดซื้อสีเขียว พบว่า บริษัทฯ กำหนดให้ซัพพลายเออร์ที่จำหน่ายวัตถุดิบให้เดต้าต้องได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO9001, ISO14001, ONSAS18001, IATF16949 และอื่น ๆ ที่บริษัทฯ กำหนดอีกด้วย 2) การผลิตสีเขียว พบว่า บริษัทฯ ใช้มาตรฐานระบบการจัดการคุณภาพ IECQ QC080000 พร้อมส่งเสริมระบบการจัดการผลิตภัณฑ์สีเขียว (Green Product Management - GPM) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแบ่งปันข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมในโซ่อุปทาน อีกทั้ง มีการลงทุนด้านการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อต่อยอดธุรกิจที่มีการเติบโตและมีศักยภาพสูง ส่งผลให้สามารถสร้างผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายและมีคุณภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน อัตราการจ่ายพลังงานและความสามารถในการประมวลผลข้อมูลดิจิทัล เป็นต้น 3) การดำเนินงานสีเขียว พบว่า บริษัทฯ ได้มีการเข้าร่วมในโครงการ “อุตสาหกรรมสีเขียว” (Green Industry) และ “โรงงานอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ” (ECO Factory) นอกจากนี้ บริษัทฯ ยังมีการดำเนินการส่งเสริมด้านพลังงานทดแทนด้วยการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (PV Solar) ที่โรงงาน ควบคู่ไปกับโครงการประหยัดพลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 4) การออกแบบสีเขียว พบว่า บริษัทฯ มีการปรับปรุงอาคารใหม่ให้เป็นอาคารสีเขียวจนผ่านการได้รับการรับรองมาตรฐาน LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ซึ่งเป็นโรงงานแห่งแรกในประเทศไทยที่ได้รับการรับรองมาตรฐานในหมวด EBOM นอกจากนี้ บริษัทฯ ได้ส่งเสริมให้พนักงานได้เป็นจิตอาสาเพื่อให้ความรู้ด้านพลังงาน (DEEP & SEED) รวมทั้งสนับสนุนทุนการศึกษามอบผลิตภัณฑ์และจัดฝึกอบรมให้แก่โรงเรียนและมหาวิทยาลัยต่าง ๆ เพื่อช่วยกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อีกทั้งบริษัทฯ ยังได้แลกเปลี่ยนประสบการณ์ในการสร้างอาคารที่ช่วยประหยัดพลังงานและมีการปล่อยก๊าซ

เรือนกระจกในปริมาณต่ำ และ 5) โลจิสติกส์ย้อนกลับพบว่า บริษัทฯ เล็งเห็นถึงกระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับที่มีความจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยภายในกระบวนการดังกล่าว เนื่องจากมีความจำเป็นต้องติดตามการเคลื่อนที่ของสินค้าอย่างชัดเจนในโซ่อุปทาน ส่วนสินค้าที่เหลืออาจจะถูกส่งไปขายต่อที่ตลาดมือสองหรือแยกเพื่อนำเอาชิ้นส่วนไปใช้งานต่อหรืออาจจะนำไปกำจัดได้เช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุวจน์ ด้านสมบูรณ์ และอิวินท์ ญานา [7] ศึกษาเรื่อง การจัดการโลจิสติกส์สีเขียว และการจัดการซัพพลายเชนที่ส่งผลต่อการดำเนินงานของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย พบว่า อุตสาหกรรมยานยนต์ไทยควรร่วมมือกันทั้งภาครัฐและภาคเอกชนในการส่งเสริมสนับสนุนการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม ด้วยการผลิตที่ลดการปล่อยมลภาวะของเสีย การนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่หรือการใช้ซ้ำ เพื่อการดำเนินงานอย่างยั่งยืน อีกทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาของ ญฐราณี พงศ์กระพัน [9] กล่าวว่าการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว เป็นการบริหารจัดการซัพพลายเชนที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมตั้งแต่เป็นวัตถุดิบจนถึงผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปส่งถึงลูกค้า ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Guide and Srivastava [10] กล่าวว่า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว ประกอบด้วย 5 ด้าน ได้แก่ การจัดซื้อสีเขียว การผลิตสีเขียว การดำเนินงานสีเขียว การออกแบบแบบสีเขียว และโลจิสติกส์ย้อนกลับ

6.3 อภิปรายผลการศึกษานโยบายการปรับปรุงระบบการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของบริษัท เบลต้า

จากผลการศึกษา พบว่า บริษัทฯ ควรดำเนินการจัดคณะกรรมการเพื่อให้คำปรึกษาและตรวจสอบตามแนวทางของ RBA เพื่อลดความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม สังคมและธรรมาภิบาล (ESG risks) ในโซ่อุปทานสีเขียว และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน พร้อมทั้งจัดตั้งทีมงานโดยอาศัยความร่วมมือจากหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ทำการตรวจสอบตามแนวทางของ RBA พร้อมให้คำปรึกษากับซัพพลายเออร์รายสำคัญที่มีความเสี่ยงด้าน ESG สูง พร้อมทั้งจัดให้คณะกรรมการดำเนินการตรวจสอบประเมิน RBA ณ สถานประกอบการ (RBA On-Site Audit) โดยเน้นการตรวจสอบซัพพลายเออร์ในประเทศ เพื่อติดตามสถานะของ

ซัพพลายเออร์ เพื่อให้มั่นใจว่ามีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง พร้อมกันนี้ ควรมีการส่งเสริมโครงการการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมและแนวคิดเรื่องการประหยัดพลังงานของอาคารสีเขียว ร่วมกับภาครัฐ โรงเรียน ชุมชน และภาคประชาชน ให้เล็งเห็นถึงความสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและเหมืองแร่ [11] กล่าวว่า นโยบายสิ่งแวดล้อม เป็นนโยบายที่จำเป็นต้องได้รับการกำหนดอย่างจริงจัง โดยเน้นย้ำความสำคัญของสิ่งแวดล้อมในทุก ๆ ระดับ เพื่อให้หน่วยงานและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเข้าใจและตระหนักถึงปัญหาและร่วมกันลดผลกระทบที่เกิดกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยการบูรณาการหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการกำหนดมาตรฐานมาตรการ และบทลงโทษที่ชัดเจน

7. ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชนสีเขียวในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การลดต้นทุนการผลิต การจัดการขนส่งและการกระจายสินค้า การจัดการคลังสินค้า เป็นต้น โดยใช้กระบวนการวิจัยแบบมีส่วนร่วมจากซัพพลายเออร์และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Geo-Informatics and Space Technology Development Agency. The key role of geospatial data in disaster management. [Online]. (2020). [Cited September 24, 2022]. Available: https://gistda.or.th/news_view.php?n_id=2883&lang=TH (in Thai).
- [2] W. Yongpisanphop. Business/industry trends 2019-2021. [Online]. (2021). [Cited September 24, 2022]. Available: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Food> (in Thai).
- [3] S. Raeker. Combating environmental impacts in the electronic components industry. [Online]. (2020). [Cited September 24, 2022]. Available: <https://www.digikey.co.th/th/articles/combating>

- environmental-impact-in-the-electronics-components-industry (in Thai).
- [4] Electrical and Electronics Institute. Electrical and electronic industry, February 2021. [Online]. (2021). [Cited September 24, 2022]. Available: <https://www.mreport.co.th/news/statistic-and-ranking/314-electronics-industry-2021-February> (in Thai).
- [5] T. Yamane, *Statistics: An introductory analysis* (2nd edition). New York: Harper and Row, 1967.
- [6] P. Naksong, A. Petcharakul, M. Samanmoo, and K. Chompoothip, Eds., *Data analysis using SPSS*. Bangkok: Rai Wai Wa, 2022, pp. 81-115 (in Thai).
- [7] S. Dansomboon and T. Narunart, "Green logistics and supply chain management affecting performance outcomes of Thai automotive industry," *MUT J. of Bus. Adm.*, vol. 17, no. 1, pp. 125-145. Jan.-Jun. 2020 (in Thai).
- [8] J. B. Muma, K. L. Samui, J. Oloya, M. Munyeme, and E. Skjerve, "Risk factors for brucellosis in indigenous cattle reared in livestock-wildlife interface areas of Zambia," *Prev. Vet. Med.*, vol. 80, no. 4, pp. 306-317, Aug. 2017.
- [9] N. Phongkraphan, "Development of green logistics management model for sustainable environmental quality of Thailand's palm oil mills in the future," Ph.D. dissertation, Department of Natural Resources and Environmental Management, Graduate School, Yala Rajabhat University, Yala, 2022 (in Thai).
- [10] V. D. R. Guide and R. Srivastava, "Inventory buffers in recoverable manufacturing," *J. Oper. Manag.*, vol. 16, no. 5, pp. 551-568, Oct. 1998.
- [11] Department of Primary Industries and Mines. (2015). *Annual Report 2015 Department of Primary Industries and Mines*. [Online]. Available: https://www1.dpim.go.th//Dpim_Report/Dpim-Annual-Report-2558.pdf (in Thai).

ปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวที่ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขัน
ของสถานประกอบการที่พักแรมในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี
Tourism Logistics Factors affecting to The Competitive Advantage of
Accommodation Establishments in Mueang District,
Kanchanaburi Province

ธีระพงศ์ สิงห์บุตร* และ สิริพร ทัดทวี
Teerapong Singboot* and Siriporn Tattawee

สาขาวิชาอุตสาหกรรมโลจิสติกส์และซัพพลายเชนระหว่างประเทศ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกริก
Department of International logistics and Supply Chain Industry, Faculty of Business Administration, Krirk University

*Email: Teerapong.si59@kru.ac.th

Received: March 19, 2023; Revised: May 16, 2023; Accepted: May 18, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวที่ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักแรมในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี และ 2) เพื่อหาแนวทางการเตรียมความพร้อมและการปรับตัวของผู้ประกอบการที่พักแรมในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี เพื่อรองรับนักท่องเที่ยว โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากสถานประกอบการที่พักแรมประเภทโรงแรมและรีสอร์ท ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี จำนวน 104 ราย (312 คน) สถิติที่ใช้วิเคราะห์คือ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นเกี่ยวกับความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักแรมโดยรวม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง และให้ความสำคัญเกี่ยวกับปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวโดยรวม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก โดยที่ปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยว ได้แก่ ด้านการไหลทางกายภาพ ด้านการไหลของสารสนเทศ และด้านการไหลทางการเงิน ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักแรม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แนวทางการเตรียมความพร้อมและการปรับตัวของผู้ประกอบการที่พักแรมในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี ควรเพิ่มสิ่งอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้บริการ พร้อมทั้งออกโปรโมชั่นใหม่ทุกไตรมาส เพื่อให้เกิดความแตกต่างจากสถานประกอบการที่พักแรมอื่นเพื่อเป็นการกระตุ้นและดึงดูดความสนใจผู้ใช้บริการ และวางแผนต้นทุนในการดำเนินกิจการ เพื่อสร้างความได้เปรียบด้านต้นทุนที่ต่ำกว่าสถานประกอบการอื่น เพื่อเพิ่มความสามารถและศักยภาพในการแข่งขัน

คำสำคัญ : ปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยว, ความสามารถในการแข่งขัน, สถานประกอบการที่พักแรม

Abstract

This research Objectives. 1) to study the tourism logistics factors affect the competitive advantage of accommodation establishments in Mueang district, Kanchanaburi, and 2) to identify the guidelines of accommodation establishments for preparation and adaptation in order to accommodate tourists. The questionnaire was used as a tool to collect data from accommodation establishments in the category of hotels and resorts in Mueang district, Kanchanaburi, 104 cases (312 people). The statistics used for analysis were frequency, percentage, mean, standard deviation, and multiple regression analysis.

The results found that the sample group had opinions about the overall competitiveness of the accommodation establishment, the average was at a moderate level, and focusing on the overall tourism logistics factor, the average was at a high level. Tourism logistics factors include physical flow, information flow and financial flow affecting the competitiveness of accommodation establishments, statistically significant 0.05. Guidelines for preparation and adaptation of accommodation operators in Muang district, Kanchanaburi, that should increase facilities for service users along with launching new promotions every quarter to make it different from other establishments, in order to stimulate and attract attention. And make an operating cost plan to create a lower cost advantage than other establishments to increase competency and competitiveness.

Keywords: Tourism Logistics Factors, Competitive Advantage, Accommodation Establishments

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวถือเป็นอุตสาหกรรมหลักที่มีความสำคัญ ซึ่งสามารถทำรายได้ให้กับประเทศไทยมากเป็นอันดับหนึ่ง จึงอาจกล่าวได้ว่าการท่องเที่ยวมีความสำคัญโดยตรงต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศอันส่งผลให้ความเป็นอยู่ของประชาชนในประเทศดีขึ้นด้วย ดังนั้นรัฐบาลได้มีการพัฒนาองค์ประกอบหลายอย่างทางการท่องเที่ยวทั้งภาครัฐและภาคเอกชนควบคู่กันอีกทั้งการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทยก็มีส่วนสำคัญในการประชาสัมพันธ์สถานที่ท่องเที่ยวให้เป็นที่รู้จักทั้งในประเทศและในระดับนานาชาติ สำหรับสิ่งที่มีการพัฒนานั้นมีทั้งการปรับปรุงสถานที่ท่องเที่ยวและการพัฒนาสาธารณูปโภคพื้นฐานทางการท่องเที่ยว เช่น เส้นทางคมนาคม ถนน และสิ่งปลูกสร้างอาคารต่าง ๆ ในแหล่งท่องเที่ยว เพื่อให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางทางการท่องเที่ยวของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เพื่ออำนวยความสะดวกและมีความพร้อมสำหรับการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนในปี 2563 [1] โลจิสติกส์สำหรับการท่องเที่ยวครอบคลุมสาม

เรื่องใหญ่คือ การขนส่งนักท่องเที่ยวและวัตถุดิบของ (Physical flow) การให้และรับข้อมูลข่าวสาร (Information flow) และการรับจ่ายเงิน (Financial flow) ในขณะที่ยังมีการขนส่งสำหรับการท่องเที่ยวจะครอบคลุมเฉพาะเรื่องการขนส่งนักท่องเที่ยวและวัตถุดิบของเท่านั้น [2] จากสถานการณ์โรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา (COVID-19) ทำให้การท่องเที่ยวประเทศไทย ประสบภาวะวิกฤตปัญหาของนักท่องเที่ยวลดลงเป็นจำนวนมาก ในปี 2654 ที่ผ่านมา มีจำนวนนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติที่ท่องเที่ยวในประเทศไทย หายไปจากปี 2653 ถึง 63,993,542 คน อัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 46.70 โดยการท่องเที่ยวประเทศไทย ที่เป็นเมืองหลัก มีจำนวน 22 จังหวัด ได้แก่ พระนครศรีอยุธยา สมุทรปราการ สมุทรสาคร สระบุรี เชียงใหม่ ขอนแก่น นครราชสีมา ภูเก็ต สุราษฎร์ธานี กาญจนบุรี ประจวบคีรีขันธ์ กรุงเทพมหานครฯ นครปฐม นนทบุรี ปทุมธานี เพชรบุรี ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ระยอง กระบี่ พังงา และ สงขลา ในสถานการณ์ที่ประสบภาวะวิกฤต

ปัญหาของนักท่องเที่ยวลดลงใน ปี 2564 แต่พบว่า 3 อันดับแรกที่นักท่องเที่ยวไปเที่ยวที่เป็นเมืองหลักของการท่องเที่ยวของประเทศไทย ได้แก่ อันดับแรกจังหวัดกรุงเทพมหานครฯ อันดับที่สองจังหวัดกาญจนบุรี และอันดับที่สามจังหวัดเชียงใหม่ [3] จากการศึกษาสถิติของนักท่องเที่ยวที่เข้ามาท่องเที่ยวใน 22 จังหวัด ที่เป็นเมืองหลักของการท่องเที่ยวของประเทศไทยซึ่งรองจากจังหวัดกรุงเทพมหานครฯ ที่เป็นเมืองหลวงของประเทศไทย ก็คือจังหวัดกาญจนบุรี สถานะปัญหาการท่องเที่ยวของจังหวัดกาญจนบุรี ในสถานการณ์ของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา (COVID-19) ที่นักท่องเที่ยวลดลงเป็นจำนวนมาก ทำให้ผู้ประกอบการการท่องเที่ยวในจังหวัดกาญจนบุรีต้องแบกรับภาระในด้านต้นทุนและบางสถานประกอบการแบกรับต้นทุนในการดูแลกิจการไม่ได้ก็ต้องปิดกิจการลงเปลี่ยนการประกอบอาชีพไปประกอบอาชีพอย่างอื่นจำนวนมาก ในสถานการณ์ปัจจุบันการท่องเที่ยวจังหวัดกาญจนบุรี จากสถานการณ์ของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรนา (COVID-19) เริ่มผ่อนคลายมากขึ้น ทำให้จำนวนนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติที่เข้ามาเยือนในจังหวัดกาญจนบุรีเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ยอดนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นถึง 280.14 เปอร์เซ็น [3] ซึ่งจะทำให้สถานประกอบการการท่องเที่ยวในจังหวัดกาญจนบุรี รวมถึงสถานประกอบการที่พักที่โรงแรมจะต้องรับมือในการแข่งขันทางธุรกิจท่องเที่ยวกับสถานประกอบการที่มีอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี เพื่อดึงดูดอำนวยความสะดวก การเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร และตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคให้มากที่สุด

จากปัญหาดังกล่าวเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมและการปรับตัวของผู้ประกอบการที่พักในเขตอำเภอเมืองจังหวัดกาญจนบุรีที่จะรองรับนักท่องเที่ยวและการดูแลนักท่องเที่ยวให้เกิดความเชื่อมั่นกับการท่องเที่ยวจังหวัดกาญจนบุรีและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาเรื่องปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวที่ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวที่ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี
2. เพื่อหาแนวทางการเตรียมความพร้อมในการปรับตัวของผู้ประกอบการที่พัก เพื่อรองรับนักท่องเที่ยว ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ สถานประกอบการที่พักในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี โดยเจาะจงประเภทโรงแรมและรีสอร์ท เนื่องจากสถานประกอบการที่พักประเภทโรงแรมและรีสอร์ท มีที่ตั้งที่แน่นอนและมีความสามารถทางการแข่งขัน มีจำนวนทั้งหมด 140 แห่ง [3] สามารถกำหนดขนาดตัวอย่างกรณีทราบจำนวนประชากร ใช้สูตรคำนวณของของยามานะ [4] ได้เท่ากับ 104 ตัวอย่าง เพื่อให้ได้ความคิดเห็นจากหลายระดับกลุ่มและได้ข้อมูลที่สมบูรณ์แบบ ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ผลกรณคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างคูณด้วย 3 กลุ่มตัวอย่างจะเท่ากับ 312 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถาม (Questionnaire) ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการเป็นลักษณะคำถามปลายปิด (Close-Ended Question)

ส่วนที่ 2 ระดับความสำคัญด้านปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวของสถานประกอบการที่พักในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรีประกอบด้วย ด้านโหลกายภาพ ด้านการไหลของสารสนเทศ ด้านไหลทางด้านการเงิน เป็นลักษณะคำถามแบบวิธีลิเคิร์ต (Likert Scale) โดยมีเกณฑ์ให้คะแนนตามระดับความสำคัญ 5 ระดับ โดยใช้เกณฑ์ในการประเมินค่า มีรายละเอียด ดังนี้ [5]

ค่าเฉลี่ย 4.51 – 5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.51 – 4.50 หมายถึง มีระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.51 – 3.50 หมายถึง ระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.51 – 2.50 หมายถึง ระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.50 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

ส่วนที่ 3 ระดับความคิดเห็นด้านความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักรวม ในอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี เป็นลักษณะคำถามแบบวิธีลิเคิร์ต (Likert Scale) โดยมีเกณฑ์ให้คะแนนตามระดับความสำคัญ 5 ระดับ โดยใช้เกณฑ์ในการประเมินค่า มีรายละเอียด ดังนี้ [5]

ค่าเฉลี่ย 4.51 – 5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.51 – 4.50 หมายถึง มีระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.51 – 3.50 หมายถึง ระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.51 – 2.50 หมายถึง ระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.50 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะ มีลักษณะเป็นคำถามปลายเปิด (Open-ended Questions) เกี่ยวกับสถานประกอบการที่พักรวม

3.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) ประกอบด้วย 1) ข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการ

2) ความสำคัญด้านปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวของสถานประกอบการที่พักรวม ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี และ 3) ความคิดเห็นด้านความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักรวม ในอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี โดยนำมาวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา ประกอบด้วย ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. สถิติเชิงอนุมาน (inferential statistics) เพื่อใช้ในการทดสอบสมมติฐานโดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการ แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการ

(n = 312)

ข้อมูลทั่วไปข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการ	จำนวน	ร้อยละ
สถานะในสถานประกอบการ		
เจ้าของสถานประกอบการ	72	23.1
ผู้จัดการ	78	25
ผู้ช่วยผู้จัดการ	79	25.3
พนักงานที่มีอายุมากกว่า 5 ปี	83	26.6
ประเภทสถานประกอบการ		
โรงแรมขนาดเล็ก (มีจำนวนห้องพักต่ำกว่า 30 ห้อง)	72	23.1
โรงแรมขนาดกลาง (มีจำนวนห้องพักมากกว่า 30 ห้องไม่เกิน 100 ห้อง)	85	27.2
โรงแรมขนาดใหญ่ (มีจำนวนห้องพักมากกว่า 100 ห้อง)	19	6.1
รีสอร์ท	136	43.6
สถานประกอบการดำเนินกิจการมากี่ปี		
น้อยกว่า 5 ปี	38	12.2
5 – 10 ปี	148	47.4
มากกว่า 10 ปี	126	40.4

จากตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการ พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นพนักงานที่มีอายุมากกว่า 5 ปี จำนวน 83 คน (ร้อยละ 26.6) เป็นสถานประกอบการประเภทรีสอร์ท จำนวน 136 ตัวอย่าง (ร้อยละ 43.6) และสถานประกอบการมีระยะเวลาดำเนินกิจการมา 5-10 ปี (ร้อยละ 47.4)

4.2 ผลการศึกษาความสำคัญด้านปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวของสถานประกอบการที่พักแรม ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี นำเสนอในรูปตารางโดยใช้สถิติพรรณนา (Descriptive Statistics) คือ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับความสำคัญต่อปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยว โดยรวม

ปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยว	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1) ด้านการไหลทางกายภาพ	3.25	0.84	ปานกลาง
2) ด้านการไหลของสารสนเทศ	3.68	0.58	มาก
3) ด้านการไหลทางการเงิน	3.74	0.84	มาก
รวม	3.55	0.59	มาก

จากตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความสำคัญต่อปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยว โดยรวม พบว่า กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญด้านปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวของสถานประกอบการ ที่พักแรม ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.55, S.D. = 0.59$) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่สุด คือ ด้านการไหลทางการเงิน ($\bar{X} = 3.74, S.D. = 0.84$) อยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ให้ความสำคัญกับการที่สถานประกอบการมีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการชำระเงินของผู้ใช้บริการมีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ สถานประกอบการมีบริการในการรับชำระเงินทุกรูปแบบ และมีจุดบริการชำระเงินมากกว่า 1 จุด เพื่อเพิ่มความรวดเร็วแก่ผู้ให้บริการตามลำดับ ส่วนรายด้านที่รองลงมา คือ ด้านการไหลของสารสนเทศ ($\bar{X} = 3.68, S.D. = 0.58$) อยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ให้ความสำคัญกับการที่สถานประกอบการมีการบอกพิกัดสถานที่ตั้งในเว็บไซต์หรือ Google Map เพื่อให้เดินทางมาถึงที่พักได้อย่างถูกต้อง มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ มีป้ายบอกทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ ภายในสถานประกอบการอย่างชัดเจน, มีการโฆษณาประชาสัมพันธ์ข้อมูลข่าวสารของสถานประกอบการอย่างสม่ำเสมอ, สถานประกอบการมีข้อเสนอแนะหรือคู่มือปฏิบัติ

ในการเข้าพักจัดไว้ให้ในห้องพักและสถานประกอบการมีการชี้แจงหรือคู่มือปฏิบัติในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน ตามลำดับ และรายด้านสุดท้ายคือ ด้านการไหลทางกายภาพ ($\bar{X} = 3.25, S.D. = 0.84$) อยู่ในระดับ ปานกลาง เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ให้ความสำคัญกับการที่สถานประกอบการมีสิ่งอำนวยความสะดวกด้านอาหาร เช่น ห้องอาหาร สถานที่จัดเลี้ยง เป็นต้น มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ ให้ความสำคัญกับการที่สถานประกอบการมีระบบความปลอดภัยแก่ผู้เข้ามาใช้บริการ, สถานประกอบการมีสิ่งอำนวยความสะดวกด้านกิจกรรมรองรับ ผู้เข้าพัก เช่น ห้องออกกำลังกาย สระว่ายน้ำ เป็นต้น, สถานประกอบการมีสิ่งอำนวยความสะดวกด้านร้านสะดวกซื้อ เช่น ร้านขายของชำ เป็นต้น, สถานประกอบการมีบริการขนส่งสัมภาระของผู้ใช้บริการไปส่งยังห้องพัก, สถานประกอบการมีบริการนำเที่ยวหรือกิจกรรมการท่องเที่ยว, และสถานประกอบการมีบริการในการรับส่งผู้ให้บริการไปยังสถานีขนส่ง บขส. ตามลำดับ

4.3 ผลการศึกษาระดับความคิดเห็นด้านความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักแรม ในอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี นำเสนอในรูปตารางโดยใช้สถิติพรรณนา (Descriptive Statistics) คือ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความคิดเห็นต่อความสามารถในการแข่งขัน โดยรวม

ประสิทธิภาพการดำเนินงาน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1) ด้านการสร้างความแตกต่าง	3.66	0.69	มาก
2) ด้านการตอบสนองอย่างรวดเร็ว	3.67	0.71	มาก
3) ด้านต้นทุน	3.10	0.79	ปานกลาง
รวม	3.47	0.59	ปานกลาง

จากตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการแข่งขัน โดยรวม พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นด้านความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่פקแรมในอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 3.47, S.D. = 0.59$) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ด้านการตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($\bar{X} = 3.67, S.D. = 0.69$) อยู่ในระดับมาก รองลงมา คือ ด้านการสร้างความแตกต่าง ($\bar{X} = 3.66, S.D. = 0.69$) อยู่ในระดับมาก และด้านต้นทุน ($\bar{X} = 3.10, S.D. = 0.79$) อยู่ในระดับปานกลาง ตามลำดับ

4.4. ผลการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการตั้งสมมติฐานและได้ตั้งสมมติฐานไว้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ผลการทดสอบสมมติฐานดังนี้

สมมติฐาน ปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวที่ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่פקแรมในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี มีรายละเอียด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์และค่าสถิติทดสอบปัจจัยโลจิสติกส์ที่ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขัน โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

ปัจจัยด้านการจัดการโลจิสติกส์และ ซัพพลายเชนสีเขียว	B	Std. Error	Beta	t	Sig.
ค่าคงที่	0.554	0.143		3.865	0.000
1.การไหลทางกายภาพ	0.285	0.028	0.408	10.020	0.000*
2.การไหลของสารสนเทศ	0.344	0.038	0.340	8.972	0.000*
3.การไหลทางการเงิน	0.197	0.029	0.282	6.804	0.000*

Multiple R = 0.788^a R Square = 0.620 Adjusted R Square = 0.617 Std Error = 0.365

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 4 พบว่า ปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวทุกด้าน ได้แก่ การไหลทางกายภาพ การไหลของสารสนเทศ และการไหลทางการเงิน ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่פקแรม ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple R) เท่ากับ 0.788 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square) เท่ากับ 0.620 ค่าสัมประสิทธิ์

การตัดสินใจที่ปรับแล้ว (Adjusted R Square) เท่ากับ 0.617 และ ค่าความคลื่อนมาตรฐานในการตัดสินใจ (Std Error) เท่ากับ 0.365 เมื่อพิจารณารายตัวแปร พบว่า การไหลทางกายภาพ ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่פקแรมฯ มากที่สุด โดยมีค่า Sig. เท่ากับ 0.000 มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 มีค่า Beta เท่ากับ 0.408 รองลงมาคือ การไหลของสารสนเทศ มีค่า Sig. เท่ากับ 0.000 มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 มีค่า Beta เท่ากับ

0.340 และการไหลทางการเงิน มีค่า Sig. เท่ากับ 0.000 มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 มีค่า Beta เท่ากับ 0.282 ตามลำดับ

5.สรุปผล

5.1 สรุปผลปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวของสถานประกอบการที่พักแรม ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

ผลการวิเคราะห์ระดับความสำคัญเกี่ยวกับปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยว พบว่า โดยภาพรวมสถานประกอบการที่พักแรมในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรีให้ความสำคัญเกี่ยวกับปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวในระดับมาก โดยให้ความสำคัญในระดับมากกับด้านการไหลทางการเงินเป็นอันดับแรก รองลงมาคือ ให้ความสำคัญกับด้านการไหลของสารสนเทศ และด้านการไหลทางกายภาพเป็นอันดับสุดท้าย

5.2 สรุปผลความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักแรม ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

ผลการวิเคราะห์ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับความสามารถในการแข่งขัน พบว่า โดยภาพรวมสถานประกอบการที่พักแรมในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรีมีความคิดเห็นเกี่ยวกับความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการในระดับมาก โดยมีความคิดเห็นในระดับมากกับด้านการตอบสนองอย่างรวดเร็วสูงสุดเป็นอันดับแรก รองลงมาคือ มีความคิดเห็นกับด้านการสร้างความแตกต่างและด้านต้นทุนเป็นอันดับสุดท้าย

5.3 สรุปผลแนวทางการเตรียมความพร้อมและการปรับตัวของผู้ประกอบการที่พักแรม เพื่อรองรับนักท่องเที่ยว ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

ผลการวิเคราะห์ข้อเสนอแนะต่อสถานประกอบการที่พักแรม สามารถสรุปแนวทางการเตรียมความพร้อมและการปรับตัวผู้ประกอบการที่พักแรม ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี โดยการเพิ่มการแข่งขันให้กับสถานประกอบการทางด้านสิ่งอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้บริการ ได้แก่ ร้านสะดวกซื้อ การจัดหารถเพื่อขนส่งผู้ใช้บริการ โปรแกรมทัวร์ หรือโปรแกรมในการแนะนำการท่องเที่ยวจังหวัด คู่มือแนะนำการเข้าพัก และการบริการขนส่งสาธารณะผู้ใช้บริการไปยัง

ห้องพัก พร้อมทั้งควรที่จะสร้างโปรโมชั่นใหม่ ๆ หรือเปลี่ยนโปรโมชั่นตลอด จะทำให้เกิดความแตกต่างจากสถานประกอบการที่พักแรมอื่น เพื่อเป็นการดึงดูดความสนใจผู้ใช้บริการ และควรที่จะวางแผนด้านต้นทุนในการดำเนินกิจการในด้านต่างๆ อาทิเช่น วางแผนการจัดการทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ วางแผนในการใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงาน วางแผนด้านบุคลากรช่วง High Season และวางแผนการสร้างคู่ค้าเพื่อลดต้นทุนด้านการบริการ เพื่อสร้างต้นทุนที่ต่ำกว่าสถานประกอบการอื่นในพื้นที่และเพื่อเป็นการเพิ่มการแข่งขันให้กับสถานประกอบการ

6. อภิปรายผล

6.1 อภิปรายผลการศึกษาปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวของสถานประกอบการที่พักแรมในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

จากผลการศึกษา พบว่า สถานประกอบการที่พักแรม ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี ให้ความสำคัญกับปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวโดยรวมอยู่ในระดับมาก และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ให้ความสำคัญกับด้านการไหลทางการเงินสูงสุดอยู่ในระดับมาก รองลงมา คือ ให้ความสำคัญกับด้านการไหลของสารสนเทศในระดับมาก และด้านการไหลทางกายภาพอยู่ให้ความสำคัญในระดับปานกลาง ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ อรกิติ์ แวกคล้ายหงส์ [6] ศึกษาเรื่อง การจัดการท่องเที่ยวและโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเพื่อเพิ่มขีดความสามารถด้านการแข่งขันในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวของประเทศไทย พบว่า ปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวมีความสำคัญโดยรวมอยู่ในระดับมาก และเมื่อพิจารณาคัดประกอบรายด้าน พบว่า ปัจจัยที่มีค่าเฉลี่ยของระดับความสำคัญ โดยเรียงจากมากไปหาน้อย ได้แก่ ด้านการไหลทางการเงินสูงสุดอยู่ในระดับมาก รองลงมา คือด้านการไหลทางกายภาพอยู่ให้ความสำคัญ และด้านการไหลของข้อมูลสารสนเทศมีความสำคัญอยู่ในระดับมาก

6.2 อภิปรายผลการศึกษาความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักแรมในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

จากผลการศึกษา พบว่า สถานประกอบการที่พักรวม ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี ให้ความคิดเห็นกับความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการโดยรวมในระดับมาก และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ให้ความคิดเห็นกับด้านการตอบสนองอย่างรวดเร็วสูงสุดอยู่ในระดับมาก รองลงมาคือ ให้ความคิดเห็นกับด้านการสร้างความแตกต่างในระดับมาก และด้านต้นทุนให้ความคิดเห็นในระดับปานกลาง ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ พรพิมล ขุนทอง [7] ศึกษาเรื่อง การสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันของธุรกิจเอสเอ็มอี ในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ผู้ประกอบการธุรกิจเอสเอ็มอี ให้ความคิดเห็นความได้เปรียบในการแข่งขัน ด้านการตอบสนองอย่างรวดเร็วสูงสุดอยู่ในระดับมากที่สุด รองลงมา คือด้านต้นทุนอยู่ในระดับมากที่สุด และด้านการสร้างความแตกต่างให้ความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก

6.3 อภิปรายผลการศึกษาปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยว ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักรวม ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

จากผลการศึกษา พบว่า ปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยว ได้แก่ ด้านการไหลทางกายภาพ ด้านการไหลของสารสนเทศ และด้านการไหลทางการเงิน ส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักรวม ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ อรกิตี แวควลัยหงส์ [6] ศึกษาเรื่อง การจัดการท่องเที่ยวและโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเพื่อเพิ่มขีดความสามารถด้านการแข่งขันในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวของประเทศไทย พบว่า โลจิสติกส์ท่องเที่ยว ประกอบด้วย การไหลทางกายภาพ การไหลข้อมูลสารสนเทศ และการไหลทางการเงิน เป็นองค์ประกอบที่เพิ่มขีดความสามารถด้านการแข่งขันในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวของประเทศไทย

6.4 อภิปรายผลการศึกษาแนวทางการเตรียมความพร้อม และการปรับตัวของผู้ประกอบการที่พักรวม เพื่อรองรับนักท่องเที่ยว ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

จากผลการศึกษา พบว่า ด้านสิ่งอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้บริการ ควรเพิ่มด้านสิ่งอำนวยความสะดวก เช่น ร้านสะดวกซื้อ การจัดหารถเพื่อขนส่งผู้ใช้บริการ โปรแกรมทัวร์

หรือโปรแกรมในการแนะนำการท่องเที่ยวในจังหวัด คู่มือแนะนำการเข้าพัก และการบริการขนส่งสาธารณะผู้ใช้บริการไปยังห้องพัก เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันให้กับสถานประกอบการ ด้านโปรโมชั่น ควรเพิ่มในการสร้างโปรโมชั่นใหม่ๆ เพื่อเป็นการดึงดูดผู้ใช้บริการ เพื่อสร้างความแตกต่างด้านการวางแผนด้านต้นทุน ควรเพิ่มการวางแผนในการใช้ต้นทุนเป็นรายด้าน เพื่อหาแนวในการลดต้นทุนรวม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ บุหลันฉาย สมรรถนเรศวร์ ชยุตม์ วัฒนา และสุรพงษ์ วัชจิต [8] ศึกษาเรื่องกลยุทธ์ความได้เปรียบในการแข่งขันของโรงแรมและที่พักขนาดกลางและขนาดย่อมในกรุงเทพมหานคร พบว่า ด้านการตลาดการพัฒนาผลิตภัณฑ์มีอิทธิพลในการสร้างความแตกต่าง และด้านต้นทุนในการดำเนินงานให้มีต้นทุนที่ต่ำ เพื่อได้เปรียบทางการแข่งขัน

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

จากผลการวิจัยสามารถนำเสนอแนวทางการเตรียมความพร้อม และการปรับตัวผู้ประกอบการที่พักรวม ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี ดังนี้

1. ด้านการสร้างความแตกต่าง พบว่า สถานประกอบการที่พักรวมส่วนใหญ่ยังขาดการสร้างโปรโมชั่นใหม่ ๆ หรือเปลี่ยนโปรโมชั่นตลอด จึงทำให้ไม่สามารถสร้างความแตกต่างจากสถานประกอบการที่พักรวมอื่น ดังนั้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของสถานประกอบการที่พักรวม ควรมีโปรโมชั่นใหม่ ๆ ทุกไตรมาส เพื่อเป็นการกระตุ้นและดึงดูดผู้ใช้บริการ เช่น จัดโปรเป็นแพ็คเกจห้องพักพร้อมอาหาร 2 มื้อ เพื่อสร้างความแตกต่าง เป็นต้น

2. ด้านการตอบสนองอย่างรวดเร็ว พบว่า สถานประกอบการที่พักรวมส่วนใหญ่ยังขาดสิ่งอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้บริการ เช่น ร้านสะดวกซื้อ การจัดหารถเพื่อขนส่งผู้ใช้บริการ โปรแกรมทัวร์หรือโปรแกรมในการแนะนำการท่องเที่ยวในจังหวัด คู่มือแนะนำการเข้าพัก และการบริการขนส่งสาธารณะผู้ใช้บริการไปยังห้องพัก ดังนั้น สถานประกอบการที่พักรวมควรเพิ่มสิ่งอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้บริการ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการ

และเพิ่มความสามารถและศักยภาพในการแข่งขันให้กับสถานประกอบการ

3. ด้านต้นทุน พบว่า สถานประกอบการที่แพคเกจส่วนใหญ่อยู่ว่าขาดการวางแผนด้านต้นทุนในหลายด้าน อาทิเช่น การวางแผนการจัดการทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดมูลค่า การวางแผนในการใช้พลังงานทดเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงาน การวางแผนด้านบุคลากรในช่วง High Season และการวางแผนการสร้างความคุ้มค่าเพื่อลดต้นทุนด้านการบริการ เพื่อเพิ่มการแข่งขันของสถานประกอบการที่แพคเกจ ควรเพิ่มการวางแผนในการใช้ต้นทุนเป็นรายด้าน เพื่อหาแนวในการลดต้นทุนรวม

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวในระดับจังหวัดกาญจนบุรี เพื่อให้เห็นภาพรวมในการให้บริการทั้งจังหวัด

2. ควรศึกษาปัจจัยโลจิสติกส์การท่องเที่ยวในด้านความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่มาใช้บริการสถานประกอบการที่แพคเกจในจังหวัดกาญจนบุรี เพื่อให้เห็นภาพรวมทั้งผู้ให้บริการและผู้ให้บริการ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Chumanee, “Model showing the influence of service quality of hotels in Phuket Province Krabi and Phang Nga to the loyalty of tourists,” M.B.A. thesis, S.M., W.U., NRT., Graduate Student, 2018 (in Thai).
- [2] K. Suriya, Tourism logistics conceptual framework. [Online]. (2008). [Cited January 21, 2022]. Available: www.tourismlogistic.com
- [3] Ministry of Tourism and Sports. Situation at the camp: Number of visitors and money made by visitors. [Online]. (2021) [Cited January 21, 2022]. Available: <https://www.mots.go.th/news>
- [4] T. Yamane, *Statistics: An Introductory Analysis* (2nd ed.), New York: Harper and Row, 1973.
- [5] P. Naksong et al, *Data analysis by SPSS program*. Bangkok: Simplify, 2022 (in Thai).

- [6] O. Waeokhlaihong, “Tourism Logistics and Management to Improve Competition Competence in Thailand's Tourism Industry,” M.M. thesis, NIDA., BKK., Graduate Student, 2022 (in Thai).
- [7] P. Khunthong, “Building Competitive Advantage for Guest House Business in Muang District, Chiangmai.” M.B.A thesis, B.A., CMU., CMI, Graduate Student, 2017 (in Thai).
- [8] S. Bulanchi, W. Chayoot and V. Surapong, “The Competitive Advantage strategies of Small and Medium sized Hotels in Bangkok,” *Ph.D. in Social Sciences Journal*, vol. 9, no. 3, pp. 584-598. Sep.-Dec. 2019 (in Thai).

ประเมินค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติใน
การผลิตหินปูน กรณีศึกษา: เหมืองแร่หินปูน เพื่ออุตสาหกรรมเคมี
ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง
Environmental Damage Assessment of Natural Resource Depletion In
Limestone Production Case Study: Limestone Mining for the chemical
industry of the Electricity Generating Authority of Thailand,
Mae Moh, Lampang Province

ประกอบ ประมะ^{1*}, สุรัตน์ เศษโพธิ์² และ พุทธิ อุบลสุข³
Prakob Parama^{1*}, Surat Sedpho² and Putthadee Ubolsook³

^{1,2}สาขาการจัดการพลังงานและสมรรถกิริยาเทคโนโลยี คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

³สาขาสังคมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

^{1,2}Energy Management and Smart Grid Technology Department, School of Energy and Environment, University of Phayao

³Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University

E-mail: prakob_prm@hotmail.com

Received: February 28, 2023; Revised: May 21, 2023; Accepted: May 22, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติในการผลิตหินปูนสำหรับใช้ในกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ ในกลุ่มของสินทรัพย์ทางสังคม (Social asset) สามารถประเมินค่าเสียโอกาสจากการใช้ทรัพยากร (User cost, Marginal user cost; MUC) คิดเป็น 0.867 บาทต่อตัน เมื่อคำนวณค่าเสียโอกาสหากมีการทำเหมืองหินปูนจนถึงปี พ.ศ.2593 จะมีค่าประมาณ 0.1 พันล้านบาท โดยมูลค่าของหินปูนหากคำนวณเป็นระยะเวลา 90 ปี มีค่าประมาณ 8 พันล้านบาท ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาส พบว่ามีมูลค่าไม่มาก ดังนั้นการทำเหมืองหินปูนของโรงไฟฟ้าแม่เมาะจึงมีความคุ้มค่าในการลงทุน ส่วนค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติในกลุ่มผลผลิตปฐมภูมิ (Primary productivity) ที่สูญเสียไปจากการนำทรัพยากรมาใช้ ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างผลผลิตปฐมภูมิในกรณีที่ไม่มี การขุดเจาะทรัพยากรมาใช้กับผลผลิตปฐมภูมิหลังจากการขุดเจาะคิดเป็น 0.633 ตันต่อตัน หากดำเนินการขุดแร่หินปูนจนกระทั่งเหมืองปิด (พ.ศ. 2593) จะก่อให้เกิดความเสียหายผลผลิตปฐมภูมิคิดเป็น 44 ล้านตัน/ตัน เนื่องจากพื้นที่ทำเหมืองปัจจุบันเป็นพื้นที่ป่าเบญจพรรณที่มีสภาพไม่สมบูรณ์ ประกอบด้วยต้นไม้ได้แก่ สัก ประดู่ อ้อยช้าง ยมหิน ปอหยาบ ฯลฯ ทำให้ค่าความเสียหายไม่สูงมากนัก

คำสำคัญ : สินทรัพย์ทางสังคม, ด้านผลผลิตปฐมภูมิ, การประเมินสินทรัพย์ด้านสังคม, การผลิตหินปูน

Abstract

The objective of this research is to assess the environmental damage caused by the reduction of natural resources in the production of limestone used in the process of eliminating sulfur dioxide gas at the Maemoh Power Plant in Maemoh District, Lampang Province. The environmental damage in terms of resource reduction can be evaluated as a social asset and quantified as the user cost or marginal user cost (MUC), which is calculated at 0.867 baht per ton. When calculating the opportunity cost if limestone mining continues until the year 2050 (B.E. 2593), it amounts to approximately 100 billion baht. The value of limestone, if calculated over a 90-year period, is estimated at around 8 billion baht. Comparing this with the opportunity cost, it is evident that the value is not significant. Therefore, the limestone mining operations of the Maemoh Power Plant are considered economically viable. As for the environmental damage caused by the reduction of natural resources in terms of primary productivity, which is the loss of productivity resulting from the use of resources, it is estimated to be 0.633 tons per ton. If limestone mining continues until the closure of the mine (B.E. 2593), it will result in a loss of 44 million tons per ton of primary productivity. The current mining area is a degraded forest area consisting of various tree species such as teak, Pradu, sugarcane, Yomhin, and Pohyaa. Therefore, the environmental damage is not considered to be significantly high.

Keywords : Social asset, Primary productivity, Social Assessment, Limestone Production

1. บทนำ

ไฟฟ้าจัดเป็นระบบสาธารณูปโภคที่สำคัญในการดำเนินชีวิตและการขับเคลื่อนเศรษฐกิจที่มีความต้องการใช้งานมากขึ้น ควบคู่ไปกับการพัฒนาประเทศ ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยส่วนใหญ่ยังคงใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากกว่าร้อยละ 70 [1] โดยเชื้อเพลิงจากถ่านหินมีสัดส่วนราวร้อยละ 22 [2] การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเหล่านี้ล้วนแต่ก่อให้เกิดมลพิษต่าง ๆ ทั้ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (NO₂) รวมถึง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) โดยโรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินลิกไนต์ภายในพื้นที่ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ปัจจุบันมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 2,400 เมกะวัตต์ (MW) ใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงปีละประมาณ 16 ล้านตัน ซึ่งการเผาไหม้ถ่านหินที่ปราศจากการลด กำจัดหรือผ่านกระบวนการเคมีจะมีการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศและเมื่อรวมตัวกับไอน้ำจะทำให้เกิดฝนกรด ส่งผลกับประชาชนที่อาศัยโดยรอบโรงไฟฟ้า ดังนั้นโรงไฟฟ้าแม่เมาะจึงได้ทำการติดตั้งระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ได

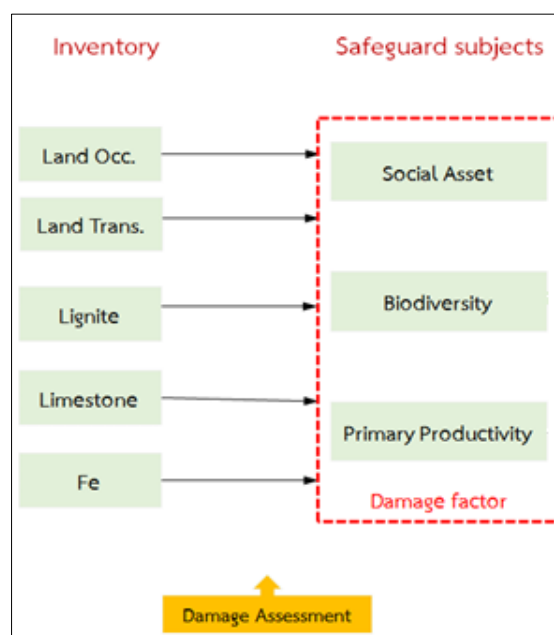
ออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization; FGD) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แยกก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกจากไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันปนอยู่ โดยระบบ FGD จะใช้หินปูน (Calcium Carbonate, CaCO₃) เป็นตัวดูดซับ (Absorbent) และจะได้ยิบซัม (Gypsum) เป็นผลผลิตตามมา ซึ่งในแต่ละปีระบบ FGD มีความต้องการใช้หินปูนประมาณ 1,320,000 ตัน [3] เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการกำจัด ซึ่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมไม่ได้เกิดเฉพาะในส่วนของการใช้เท่านั้น ในส่วนของการนำแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ลิกไนต์ หรือ หินปูน เป็นต้น จะต้องมีการขุดเจาะส่งผลให้สูญเสียทรัพยากรมากขึ้น โดยโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีโรงผลิตหินปูนสำหรับใช้ในระบบ FGD ซึ่งเป็นการผลิตภายในพื้นที่ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยในกระบวนการผลิตหินปูนประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ 1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน 2) การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ 3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน และ 4) การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า กระบวนการผลิตหินปูนแบบเปิดหน้าเหมืองนั้นจะมีการใช้เครื่องจักรหนักในการทำงาน เช่น รถเจาะ

แบคโฮ เป็นต้น จากนั้นมีการขนส่งเข้าโรงแต่งแร่ด้วยรถบรรทุกซึ่งล้วนแล้วแต่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก และในการบดย่อยให้ได้ขนาดตามความต้องการจะมีการใช้พลังงานจากไฟฟ้า ซึ่งการใช้พลังงานเหล่านี้ส่งผลกระทบททางสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นสาเหตุให้เกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ [4] นอกจากนี้ยังมีของเหลือทิ้งที่มาจากการกระบวนการผลิต และมลภาวะต่าง ๆ ซึ่งผลกระทบเหล่านี้ไม่ได้เกิดเฉพาะขั้นตอนที่นำมาใช้งานเท่านั้น แต่เกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการขุดเจาะ การขนส่ง เพื่อนำแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ลิแกไนต์ หรือ หินปูน [5] มาใช้งาน ส่งผลให้สูญเสียทรัพยากรมากขึ้นด้วยเช่นกัน

การจำกัดหรือนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นการช่วยลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมได้ด้วยเช่นกัน ซึ่งหากสามารถประเมินค่าออกมาเป็นเชิงตัวเลข จะทำให้เกิดการบริหารจัดการทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นแนวคิดในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากร จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวัดการใช้หรือการลดลงของทรัพยากร โดยแนวคิดที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง คือ แนวคิดที่ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ซึ่งมีนักวิจัยในหลายภูมิภาค เช่น ยุโรป อเมริกา เอเชีย เป็นต้น ได้พัฒนาวิธีการประเมินไว้ เช่น TRACI, CML, EDIP, IMPACT 2000+, ReCiPe เป็นต้น สำหรับประเทศไทยได้มีนักวิจัยพัฒนาแนวทางการประเมินผลกระทบและค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อม โดยอาศัยแนวทางการประเมินตามแนวคิดของประเทศญี่ปุ่นที่มีชื่อว่า Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modelling (LIME) ซึ่งได้มีการพัฒนาผลกระทบใน 5 กลุ่มผลกระทบ [6] ได้แก่ ด้านภาวะโลกร้อน ด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ การเกิดยูโทรฟิเคชัน และการเกิดฝนกรด แต่ไม่ได้พัฒนาในกลุ่มผลกระทบและค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการประเมินเฉพาะค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติของการผลิตหินปูนสำหรับใช้ในกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ด้านทรัพยากรทางสังคม (Social

Assets) และด้านผลผลิตปฐมภูมิ (Primary Production) โดยใช้โมเดลการประเมินค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติตามแนวคิดของวิธี LIME ซึ่งค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นสามารถหาได้จากความเสียหายในแต่ละกลุ่มที่มีผลต่อการนำทรัพยากรไปใช้เพื่อวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อไป โดยขั้นตอนการประเมินค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติตามแนวคิดของ LIME ประเทศญี่ปุ่น แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการประเมินค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

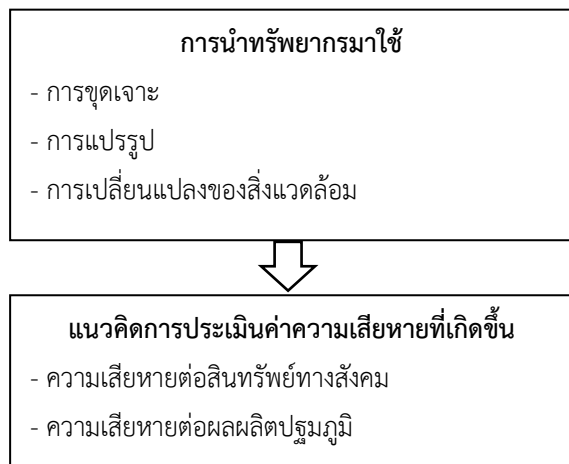
เพื่อประเมินค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติของการผลิตหินปูนสำหรับใช้ในกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง

3. ขอบเขตและสมมติฐานงานวิจัย

3.1 ศึกษาค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติของการผลิตหินปูนโดยอาศัยแนวทางการประเมินตามแนวคิดที่มีชื่อว่า Life cycle Impact

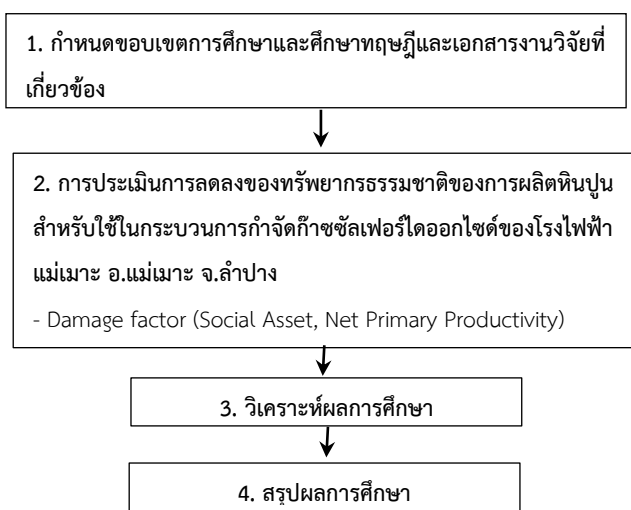
assessment Method based on Endpoint modelling (LIME)

3.2 วิเคราะห์ค่าความเสียหายด้านสินทรัพย์ทางสังคม และด้านผลผลิตปฐมภูมิ



รูปที่ 2 แนวคิดการพัฒนาค่าความเสียหายการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ

4. วิธีการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1 การประเมินค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติจากการผลิตหินปูน

การประเมินค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติจากการผลิตหินปูน จะพิจารณาความเสียหาย (Damage factor) จาก 2 กลุ่มความเสียหาย ได้แก่ ด้านสินทรัพย์ทางสังคม (Social asset)

ด้านผลผลิตปฐมภูมิ (Primary productivity) ในหน่วยบาท/ตันหินปูน ซึ่งในแต่ละด้านมีแนวคิดในการประเมินดังนี้

4.1.1 การวิเคราะห์ความเสียหายด้านสินทรัพย์ทางสังคม (Social asset) จะใช้แนวคิดการประเมินค่าเสียโอกาสจากการใช้ทรัพยากร (User cost, Marginal user cost; MUC) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ 1 (Matsuda and Itsubo, 2018)

$$MUC = \left(\frac{1}{1+r} \right)^n \times R \quad (1)$$

โดยที่

MUC คือ ค่าเสียโอกาสจากการใช้ทรัพยากร (บาท/ตัน)

r คือ อัตราดอกเบี้ย (-)

R คือ รายได้จากการขายทรัพยากร (บาท/ปี)

n คือ จำนวนปีที่ทำเหมืองทรัพยากรนั้น (ปี)

4.1.2 การวิเคราะห์ความเสียหายด้านผลผลิตปฐมภูมิสามารถคำนวณได้จากผลผลิตปฐมภูมิที่สูญเสียไปจากการนำทรัพยากรมาใช้ ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างผลผลิตปฐมภูมิในกรณีที่ไม่มี การขุดเจาะทรัพยากรมาใช้กับผลผลิตปฐมภูมิหลังจากการขุดเจาะ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ 2

$$NPP_{loss} = npp_0 - npp_{mine} \quad (2)$$

โดยที่

NPP_{loss} คือ ผลผลิตปฐมภูมิที่สูญเสียไปจากการขุดเจาะทรัพยากร (t-NPP/t-resource)

npp_0 คือ ผลผลิตปฐมภูมิที่สามารถเกิดขึ้นได้หากไม่มีการขุดเจาะทรัพยากรมาใช้ (t-NPP/t-resource)

npp_{mine} คือ ผลผลิตปฐมภูมิที่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการขุดเจาะทรัพยากรมาใช้ (t-NPP/t-resource)

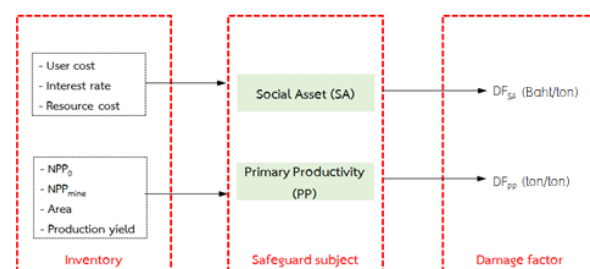
การพัฒนาค่าความเสียหายของการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้สำหรับประเทศไทย ผู้วิจัยจะเลือกพัฒนาทรัพยากรตามข้อมูลของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่พบว่าทรัพยากร (แร่) ที่สามารถผลิตได้ในประเทศไทยระหว่างปี 2558 - 2561 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การผลิตแร่ของประเทศไทยปี 2558-2561

หน่วย: ตัน				
แร่พลังงาน	๒๕๕๘	๒๕๕๙	๒๕๖๐	๒๕๖๑*
ลิกไนต์	๑๕,๑๕๐,๕๕๙	๑๗,๕๔๓,๕๕๗	๑๖,๒๕๘,๖๗๗	๘,๓๙๐,๐๕๕
ถ่านหิน	๑๗๖,๖๖๖,๑๑๑	๑๗๗,๗๗๓,๖๗๕	๑๗๖,๕๖๗,๖๗๕	๑๗,๗๗๖,๐๕๕
หินบะซอลต์	๑๖,๕๕๗,๐๕๕	๑๗,๕๕๗,๕๕๖	๑๖,๕๕๗,๐๕๕	๖,๕๕๗,๕๕๖
หินแกรนิต	๕,๐๕๗,๖๕๕	๕,๕๕๗,๖๕๕	๕,๐๕๗,๖๕๕	๕,๕๕๗,๖๕๕
แร่โลหะ				
แร่เหล็ก	-	-	๑๗๕	๑๗๕
สังกะสี	๑๕๖,๐๕๕	๑๗๕,๖๗๖	๑๗,๕๕๗	๑๗,๕๕๗
แมงกานีส	๑,๐๐๐	๑,๕๕๖	๕,๐๕๗	๖,๕๕๖

ที่มา: กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ [9]

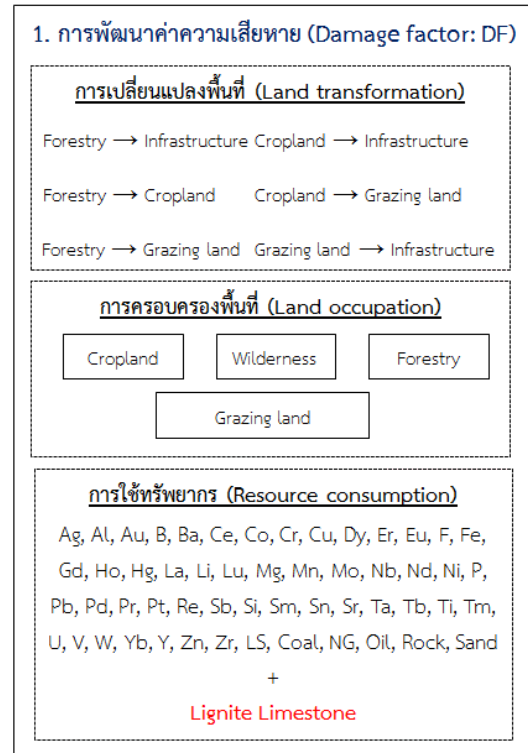
จากตารางที่ 1 พบว่าแร่หลักที่ผลิตในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ แร่พลังงาน แร่โลหะ และแร่โลหะ ซึ่งเมื่อพิจารณาตามข้อมูลแล้ว พบว่าแต่ละกลุ่มมีแร่หลัก ๆ ที่ผลิตได้ คือ ลิกไนต์ในกลุ่มแร่พลังงาน หินปูนในกลุ่มแร่โลหะ และแร่เหล็กในกลุ่มแร่โลหะ ซึ่งแร่เหล็กในกลุ่มโลหะนั้นได้มีการพัฒนาค่าความเสียหายโดยวิธีการ LIME ไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นงานวิจัยนี้จะพัฒนาค่าความเสียหายจากทรัพยากรหินปูน โดยพิจารณาความเสียหาย 2 ด้าน คือ ด้านสินทรัพย์ทางสังคม (Social asset) และด้านผลผลิตปฐมภูมิ (Primary productivity) ส่วนด้านความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity) นั้น ข้อมูลของประเทศไทยยังไม่เพียงพอสำหรับการพัฒนา ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนการพัฒนาความเสียหายของหินปูน

บัญชีรายการของข้อมูลที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย ต้นทุนที่ใช้ในการเตรียมทรัพยากร อัตราดอกเบี้ย ราคาขายทรัพยากร ค่าผลผลิตปฐมภูมิของพื้นที่นั้น ๆ ขนาดของพื้นที่เหมือง รวมถึงปริมาณทรัพยากรที่ผลิตได้ถูกรวบรวมเพื่อพัฒนาเป็นค่าความเสียหายทั้งในด้านสินทรัพย์ทางสังคม

และด้านผลผลิตปฐมภูมิ โดยค่าความเสียหายของหินปูนที่ผลิตจากเหมืองแร่หินปูนของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะจังหวัดลำปาง มีขอบเขตการพัฒนาความเสียหายในกลุ่มผลกระทบการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติของประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขอบเขตการพัฒนาความเสียหายในกลุ่มผลกระทบการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติของประเทศไทย

โดยการพัฒนาค่าความเสียหายของหินปูนใช้ข้อมูลของเหมืองหินปูนที่ตั้งอยู่ภายในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะจังหวัดลำปาง มีต้นทุนที่ใช้ในการเตรียมทรัพยากรอ้างอิงจากราคาของหินปูนขายให้กับระบบ FGD โรงไฟฟ้าแม่เมาะปี 2560 ราคาตันละ 70 บาท (หรือ 0.07 บาท/กิโลกรัม) ส่วนจำนวนปีที่มีการทำเหมืองหินปูน อ้างอิงจากปีที่มีการเปิดเหมืองโดยยึดเป็นปีที่มีการเปิดโรงไฟฟ้า คือ ปี พ.ศ. 2503 และเวลาในการปิดเหมืองอ้างอิงจากแผนการปิดเหมืองของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ในปี 2593 รวมระยะเวลาการทำเหมืองทั้งสิ้น 90 ปี

ส่วนการพัฒนาความเสียหายด้านผลผลิตปฐมภูมินั้นใช้สมมติฐานว่า ในการทำเหมืองได้มีการเปิดหน้าเหมืองและ

ทำลายพื้นที่ป่าไป ซึ่งพื้นที่ป่าดังกล่าวตั้งอยู่ในเขตอำเภอแม่เมะ จังหวัดลำปาง (พื้นที่ใกล้เคียงกับเหมืองถ่านหินลิกันต์) โดยขณะทำเหมืองนั้นพื้นที่ดังกล่าวไม่สามารถทำให้เกิดผลผลิตปฐมภูมิสุทธิได้ (ค่า $npp_{mine,i} = 0$) ค่าผลผลิตปฐมภูมิสุทธิที่สามารถเกิดขึ้นได้หากไม่มีการขุดเจาะทรัพยากรมาใช้ ($npp_{0,i}$) อ้างอิงค่าจากป่าเบญจพรรณของประเทศเท่ากับ $1.566 \text{ kg/m}^2/\text{ปี}$ (Diloksumpun, 2008) ปริมาณหินปูนที่ขุดขึ้นมาใช้ในปี 2560 เท่ากับ 1,929,532.95 ตัน และเหมืองมีพื้นที่ทั้งหมดมีจำนวน 2 ปรหะนบัตร รวม 487 ไร่ 3 งาน 2 ตารางวา หรือ 780,408 ตารางเมตร

5. ผลการวิจัย

การประเมินค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติจากการผลิตหินปูนจะพิจารณาค่าความเสียหาย (Damage factor) จาก 2 กลุ่มความเสียหาย ได้แก่ ด้านสินทรัพย์ทางสังคม (Social asset) ด้านผลผลิต ปฐมภูมิ (Primary productivity) ในหน่วย บาท/ตันหินปูน มีผลแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความเสียหาย (Damage factor: DF) ของหินปูน

Safeguard subject	Damage factor	Unit
Social asset (SA)	0.867	Baht/ton
Primary production (PP)	0.633	ton/ton

จากตารางจะเห็นว่าค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติจากการผลิตหินปูนด้านสินทรัพย์ทางสังคม (Social asset) เท่ากับ 0.867 Baht/ton ส่วนด้านผลผลิตปฐมภูมิ (Primary productivity) มีค่าความเสียหายเท่ากับ 0.633 ton/ton

ค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติในกลุ่มของสินทรัพย์ทางสังคม (Social asset) สามารถประเมินค่าเสียโอกาสจากการใช้ทรัพยากร (User cost, Marginal user cost; MUC) คิดเป็น 0.867 บาทต่อตัน เมื่อคำนวณค่าเสียโอกาสในปี 2561 ที่มีปริมาณหินปูนที่ผลิตได้ 1,929,532 ตัน ราคาขายเท่ากับ 70 บาท

ต่อตัน จะคิดราคาหินปูนที่ผลิตได้ทั้งหมดเท่ากับ 135,067,240 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสจากการใช้ทรัพยากรในกลุ่มของสินทรัพย์ทางสังคม (Social asset) คิดเป็น 1,672,904 บาท ซึ่งมีผลต่างของราคาขายกับค่าเสียโอกาสเท่ากับ 133,394,335 บาท เมื่อวิเคราะห์ผลที่ได้พบว่าการทำเหมืองหินปูนของโรงไฟฟ้าแม่เมะมีความคุ้มค่าในการลงทุน

ส่วนค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติในกลุ่มผลผลิตปฐมภูมิ (Primary productivity) ที่สูญเสียไปจากการนำทรัพยากรมาใช้ คิดเป็น 0.633 ตันต่อตัน เมื่อคำนวณค่าเสียความเสียหายในปี 2561 ที่มีปริมาณหินปูนที่ผลิตได้ 1,929,532 ตัน คิดเป็น 1,221,393 ตัน ซึ่งไม่สามารถประเมินค่าความเสียหายเป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้ เนื่องจากเป็นผลกระทบทางด้านชีววิทยา

6. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

6.1 สรุปผลการประเมินค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติของการผลิตหินปูน

ค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ ในกลุ่มของสินทรัพย์ทางสังคม (Social asset) สามารถประเมินค่าเสียโอกาสจากการใช้ทรัพยากร (User cost, Marginal user cost; MUC) คิดเป็น 0.867 บาทต่อตัน เมื่อคำนวณค่าเสียโอกาสหากมีการทำเหมืองหินปูนจนถึงปี พ.ศ.2593 จะมีค่าประมาณ 0.1 พันล้านบาท โดยมูลค่าของหินปูนหากคำนวณเป็นระยะเวลา 90 ปี มีค่าประมาณ 8 พันล้านบาท ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาส พบว่ามีมูลค่าไม่มาก ดังนั้นการทำเหมืองหินปูนของโรงไฟฟ้าแม่เมะจึงมีความคุ้มค่าในการลงทุน ส่วนการวิเคราะห์ Sensitivity analysis ของอัตราดอกเบี้ยที่มีผลกับค่าความเสียหาย พบว่า หากอัตราดอกเบี้ยมีค่าลดลงจะส่งผลให้ค่าความเสียหายมีค่าสูงขึ้นในทางตรงกันข้ามหากมีอัตราดอกเบี้ยที่เพิ่มขึ้นค่าความเสียหายจะมีค่าลดลง

ค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติในกลุ่มผลผลิตปฐมภูมิ (Primary productivity) ที่สูญเสียไปจากการนำทรัพยากรมาใช้ ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างผลผลิตปฐมภูมิในกรณีที่ไม่มีมีการขุดเจาะทรัพยากรมาใช้กับผลผลิตปฐมภูมิหลังจากการขุดเจาะคิด

เป็น 0.633 ตันต่อตัน หากดำเนินการชุดแร่หินปูนจนกระทั่งเหมืองปิด (พ.ศ. 2593) จะก่อให้เกิดความเสียหายผลผลิตปฐมภูมิคิดเป็น 44 ล้านตัน/ตัน เนื่องจากพื้นที่ทำเหมืองปัจจุบันเป็นพื้นที่ป่าเบญจพรรณที่มีสภาพไม่สมบูรณ์ประกอบด้วยต้นไม้ได้แก่ สัก ประดู่ อ้อยช้าง ยมหิน ปอหยาบ ฯลฯ ทำให้ค่าความเสียหายไม่สูงมากนัก

6.2 อภิปรายผลการประเมินค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติของการผลิตหินปูน

จากผลการวิจัยค่าความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ ในกลุ่มของสินทรัพย์ทางสังคม (Social asset) มีค่าเท่ากับ 0.867 บาทต่อตัน และในกลุ่มผลผลิตปฐมภูมิ (Primary productivity) ที่สูญเสียไปจากการนำทรัพยากรมาใช้ มีค่าเท่ากับ 0.633 ตันต่อตัน จากผลงานวิจัยของ Manfred Klinglmair และ คณะ, 2014 ที่พบว่า วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตในการประเมินการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติยังไม่มีระเบียบวิธีวิจัยที่แน่ชัด และการจัดลำดับกลุ่มผลกระทบด้านการลดลงทรัพยากร ตามที่ได้เปรียบเทียบกับกำหนดบทบาท โดยใช้ค่าแฟคเตอร์ (Characterization Factor) แบบจำลองที่ตรวจสอบมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันอย่างมากมายของผลกระทบการลดลงทรัพยากร และแสดงให้เห็นถึงประเภทของทรัพยากรที่ยังไม่ครอบคลุมทั้งหมด รวมถึงงานวิจัยของสำเร็จ, 2555 ที่ทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในป่าที่เป็นป่าอนุรักษ์หรือป่าเศรษฐกิจ หรือในป่าไม้ที่เป็นป่าเต็งรัง พบว่ากระบวนการหาค่า NPP ของป่านั้นเป็นวิธีเดียวกัน แต่พรรณไม้ของป่าในแต่ละพื้นที่อาจจะแตกต่างกัน มวลชีวภาพของป่าไม้ที่เกิดขึ้นนั้น ไม่เพียงแต่จะเกิดขึ้นบนพื้นดินเท่านั้น แต่ยังมีมวลชีวภาพที่อยู่ใต้ดินที่เป็นส่วนของรากอีกด้วย ซึ่งในหากจะต้องคิดมวลชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมดอาจจะต้องพิจารณาส่วนนี้ในการคำนวณ NPP ด้วย แต่การวัดมวลชีวภาพในส่วนของรากลึกนั้น ไม่เป็นที่นิยม แต่จะใช้สัดส่วนที่เรียกว่าสัดส่วนน้ำหนักของรากต่อต้น (Root/Shoot ratio) แทน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Energy Policy and Planning office (EPPO). Energy Statistic of Thailand 2019. Ministry of Energy [Online]. (2019). [Cited December 20, 2020]. Available: <https://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/value-energy-statistic>
- [2] Electricity Generating Authority of Thailand. Proportion of using fuel to produce electricity in the system of EGAT 2021 [Online]. (2021). [Cited February 14, 2022]. Available: https://www.egat.co.th/home/en/wp-content/uploads/2022/07/EGAT_SR2021_EN-20220718.pdf
- [3] Department of Primary Industries and Mines. Mineral Statistics of Thailand 2014 – 2018 [Online]. [Cited August 15, 2021]. Available: <http://www1.dpim.go.th/dt/pper/000001567147580.pdf>.
- [4] S.Kittipongvises, C. Polprasert, GHGs Emissions and Sustainable Solid Waste Management. In: O.P. Karthikeyan, K. Heimann, S. Muthu, (eds) Recycling of Solid Waste for Biofuels and Biochemicals. Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes. Springer, Singapore. 2016, pp 55-85.
- [5] S. Niyomthai, and A. Wattanawan, “Sustainable Mining in Thailand: Paradigm Shift in Environmental Management,” *Applied Environmental Research*, vol. 36, no. 1, pp.55-63, Feb. 2014.
- [6] C. Rewlay-ngoen, S. Paping, P. Piumsomboon, P. Malakul. and S. Sampattagul, “Life Cycle Impact Modeling of Global Warming on Net Primary Production: A Case Study of Biodiesel in Thailand” *Environment and Resources Journal*, vol 11, No.1, June 2013:21-30.

- [7] C. Rewlay-ngoen, "Development of downstream environmental impact assessment methods based on the LIME approach: Case Study of Personal Electric Vehicle," Research, Development and Engineering Report, Department of Cluster Management and Research Program in Research Management, the National Science and Technology Development Agency (NSTDA), 2019, pp.36 (in Thai).
- [8] Department of Primary Industries and Mines. Situation of Thailand's mining industry in 2020 and future trends [Online]. [Cited August 10, 2021]. Available: <https://www.dpim.go.th/service/download?articleid=13327&F=30661> (in Thai).
- [9] P. Diloksumpun, "Decision support system for eucalypt plantation investment in Chachoensao province," Kasetsart University/Bangkok. DOI: https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_Doi=10.14457/KU.the.2008.166
- [10] M. Klinglmair, S. Sala and M. Brandão, "Assessing resource depletion in LCA: a review of methods and methodological issues," *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol.19, no.1, pp.580-592. Mar. 2014.
- [11] S. Panuthai, S. Junmahasatein, S. Diloksumpun "Soil CO₂ Emission in Dry Evergreen Forest and Mixed Deciduous Forest" Research Program in Budget for Activities of Forest and Wildlife Research, 2004. (in Thai).

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับ คอนเดนเซอร์โดยใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากอีวาพอเรเตอร์ Performance Enhancement of Air Conditioning Systems with Enhancement the Heat Transfer of the Condenser Using Waste Cooling Energy from the Evaporator

สิริสวัสดิ์ จิงเจริญนิรร

Sirisawat Juengjaroennirachon

แขนงวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

Program in Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

Email: sirisawat74@hotmail.com

Received: January 29, 2023; Revised: March 06, 2023; Accepted: March 20, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์โดยใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากอีวาพอเรเตอร์ ชุดทดลองประกอบด้วย ระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 3.52 กิโลวัตต์ (12,000 บีทียูต่อชั่วโมง) คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน ในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งการทดลองระบบปรับอากาศออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และระบบที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จากการทดลองพบว่าระบบที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์มีอุณหภูมิเฉลี่ย 13.05 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิของอากาศสิ่งแวดล้อมก่อนที่จะเข้าถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิเฉลี่ย 33.57 องศาเซลเซียส เมื่ออากาศไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิของอากาศจะลดลงเฉลี่ย 2.46 องศาเซลเซียส ในส่วนอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก่อนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4.28 องศาเซลเซียส อีกทั้งระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนได้เพิ่มขึ้น 11.76 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้น 13.78 เปอร์เซ็นต์ และใช้กำลังไฟฟ้าลดลง 2.95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

คำสำคัญ : พลังงานความร้อนเหลือทิ้ง, อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, การถ่ายเทความร้อน, ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

Abstract

The aim of this research was to study of performance enhancement of air conditioning systems with enhancement the heat transfer of the condenser using waste cooling energy from the evaporator. The experimental unit consisted of a vapor compression refrigeration system with a capacity of 3.52 kW (12,000 BTU/hr), and R-22 refrigerant was used in the system and air cooled condenser. This study was divided into

two experimental systems, the system without the heat exchanger device and the system with the heat exchanger device. For considering the system with the heat exchanger device, the results showed that the average outlet refrigerant temperature of evaporator was 13.05 °C while the air temperature before entering through heat exchanger device was 33.57 °C, when the air flow passing through the heat exchanger device, the average decrease of temperature was 2.46 °C the refrigerant temperature, that outlet heat exchanger device into the compressor increase to 4.28 °C. Nevertheless, comparable results between the system without the heat exchanger device and the system with the heat exchanger device indicated that the heat transfer rate of condenser increase of 11.76%, had the highest coefficient of performance with an increase of 13.78%, and reduced power consumption by up to 2.95%.

Keywords : Waste cooling energy, Heat exchanger device, Heat transfer, Split type air conditioning system

1. บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ส่งผลให้ประเทศไทยมีลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น ระบบปรับอากาศจึงมีความจำเป็นในชีวิตประจำวัน และถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในอาคารสำนักงาน และที่พักอาศัย เพราะหน้าที่หลักของระบบปรับอากาศ คือ ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในบริเวณที่ต้องการปรับอากาศ ระบบปรับอากาศส่วนมากจะนิยมใช้เป็นแบบแยกส่วน (Split type) เพราะเป็นระบบที่มีขนาดเล็ก ติดตั้งง่าย ราคาไม่แพงและบำรุงรักษาง่าย ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนใช้หลักการนำอากาศจากสิ่งแวดล้อมเป็นตัวถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ [1] และด้วยสภาพอากาศที่ร้อน คอนเดนเซอร์จึงถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดี ส่งผลให้ระบบปรับอากาศใช้พลังงานมากขึ้นและมีประสิทธิภาพการทำงานลดลง พลังงานที่ใช้ไปกับระบบปรับอากาศนับได้ว่าเป็นพลังงานที่มีอัตราส่วนการใช้มากที่สุดเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในอาคารสำนักงาน และที่พักอาศัย เพราะฉะนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพและการลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้

ในการลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบปรับอากาศนั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น [2] การศึกษาการควบคุมอุณหภูมิของอากาศภายในห้องปรับอากาศให้มีความเหมาะสม พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานและลดภาระการทำงานของระบบปรับอากาศได้ [3] ได้ศึกษาการใช้พัดลมขนาดเล็กเป็นตัวช่วยในการถ่ายเทความร้อนภายในห้องปรับอากาศ

พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศลงได้เมื่อใช้พัดลมขนาดเล็กเป็นตัวช่วยในการถ่ายเทความร้อน [4] ได้ศึกษาปริมาณน้ำควบแน่นที่ออกมาจากอีวาพอเรเตอร์ภายใต้สภาวะต่าง ๆ ของระบบปรับอากาศ พบว่าการลดภาระการทำงานส่งผลต่อการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ [5] ได้ศึกษาการใช้ท่อความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิของอากาศก่อนระบายความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบปรับอากาศได้ [6, 7] ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศโดยการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ด้วยการติดตั้งแผ่นลดอุณหภูมิ พบว่าความสามารถในการทำความเย็นและประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้น และใช้พลังงานลดลง [8] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นรอบมีวาล์วกันกลับ (CLOHP/CV) ในการเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานให้กับระบบปรับอากาศ [9] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ด้วยถังกักเก็บพลังงานร่วมกับท่อความร้อน รวมถึง [10-12] ได้ศึกษาการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้ากับระบบปรับอากาศ พบว่าการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ได้ จึงส่งผลให้ระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและใช้พลังงานลดลง อีกทั้ง [13-15] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศโดยใช้น้ำควบแน่นจากอีวาพอเรเตอร์ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความ

ร้อนเพื่อลดอุณหภูมิของอากาศก่อนถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ พบว่าเมื่อลดอุณหภูมิของอากาศก่อนที่จะถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ คอนเดนเซอร์จะสามารถถ่ายเทความร้อนได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและใช้พลังงานลดลง นอกจากนี้ [16] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานให้กับระบบปรับอากาศด้วยวิธีการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยใช้ถังแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า การเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมีด้วยกันหลายวิธี โดยที่วิธีการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์โดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้น เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานให้กับระบบปรับอากาศได้เป็นอย่างดี อีกทั้งวิธีนี้มีข้อดีคือ อุปกรณ์ไม่ซับซ้อน ใช้พื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์น้อย และเมื่อนำหลักการทางด้านวิศวกรรมมาเกี่ยวข้องจะพบว่า เมื่อระบบปรับอากาศมีการทำงานครบวัฏจักร ท่อของสารทำความเย็นที่ออกจาก อีวาพอเรเตอร์ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์จะมีความเย็นซึ่งเป็นพลังงานเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศ และถ้าหากนำความเย็นนี้กลับมาใช้ถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ได้ ก็จะเป็นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

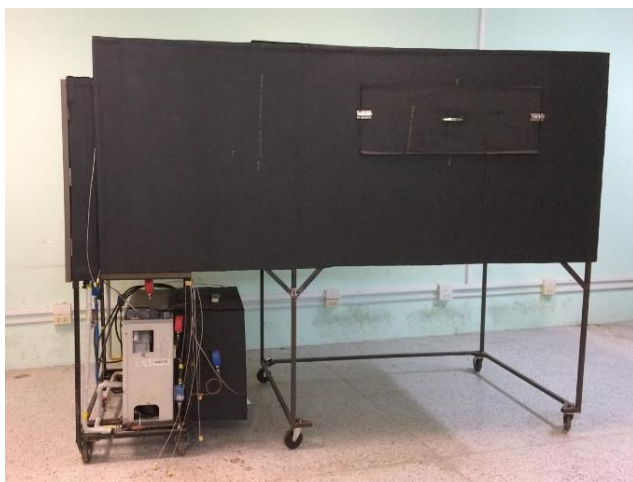
ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์โดยใช้พลังงานความเย็นเหลือทิ้งจากอีวาพอเรเตอร์ เพื่อลดการใช้พลังงานและเพิ่ม

ประสิทธิภาพในระบบปรับอากาศ ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้คือ สามารถลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศได้ทันทีเมื่อเปิดระบบปรับอากาศ และหากนำเอาอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นในครั้งนี้นำไปติดตั้งกับระบบปรับอากาศ ภายในอาคารสำนักงาน และที่อยู่อาศัยทั้งหมดได้ จะสามารถช่วยประเทศชาติประหยัดพลังงานได้

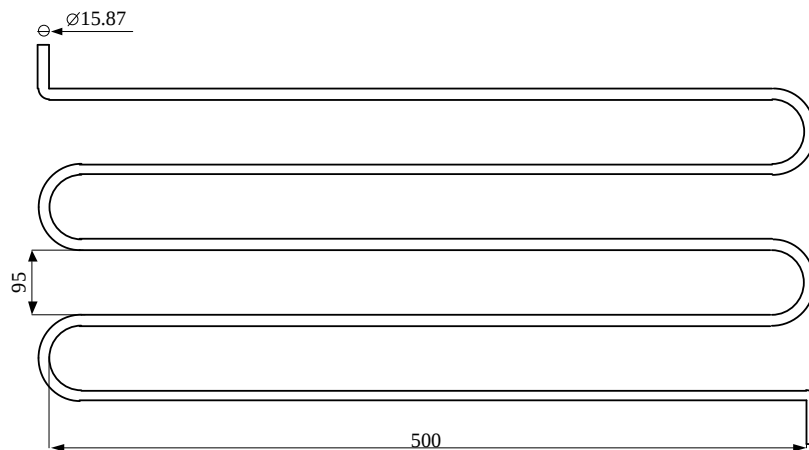
2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 อุปกรณ์และการออกแบบ

การศึกษการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์โดยใช้พลังงานความเย็นเหลือทิ้งจากอีวาพอเรเตอร์นั้น ได้ใช้ระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 3.52 kW (12,000 บีทียูต่อชั่วโมง) คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน [16] และสร้างห้องจำลองการปรับอากาศขนาด 120X260X120 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 1 ในส่วนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสร้างจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.87 มิลลิเมตร ยาว 500 มิลลิเมตร ระยะห่างท่อ 95 มิลลิเมตร มีขดท่อจำนวน 4 โค้งเลี้ยว แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกติดตั้งระหว่างอีวาพอเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์



รูปที่ 1 ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



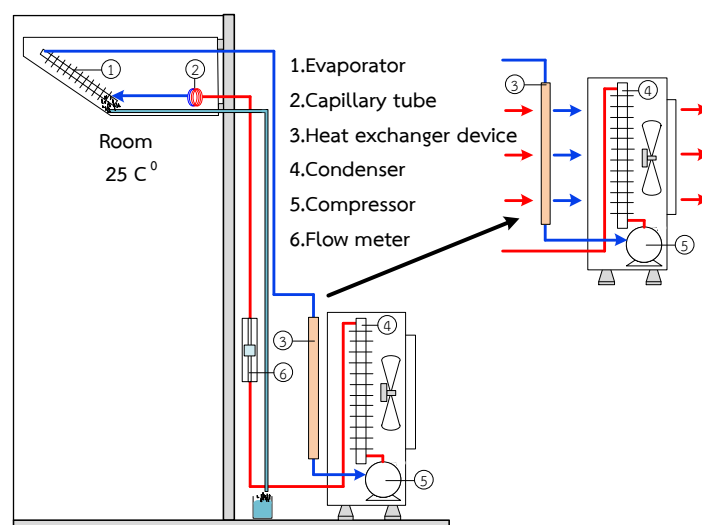
รูปที่ 2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

2.2 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อเปิดระบบปรับอากาศ คอมเพรสเซอร์จะดูดสารทำความเย็นสถานะเป็นแก๊สจากอีวาพอเรเตอร์ที่มีอุณหภูมิต่ำ แรงดันต่ำ แล้วอัดสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิสูง แรงดันสูง สถานะเป็นแก๊ส และสารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่คอนเดนเซอร์เพื่อควบแน่น โดยการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็น และสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวก่อนที่จะไปลดแรงดันที่แคปปิลาไรซ์ทิว หลังจากนั้นสารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่อีวาพอเรเตอร์เพื่อดูดซับปริมาณความร้อนของอากาศโดยรอบ ซึ่งส่งผลให้อากาศโดยรอบอีวาพอเรเตอร์มีอุณหภูมิลดต่ำลง สารทำความเย็นภายในอีวาพอเรเตอร์จะระเหยตัวและ

เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส

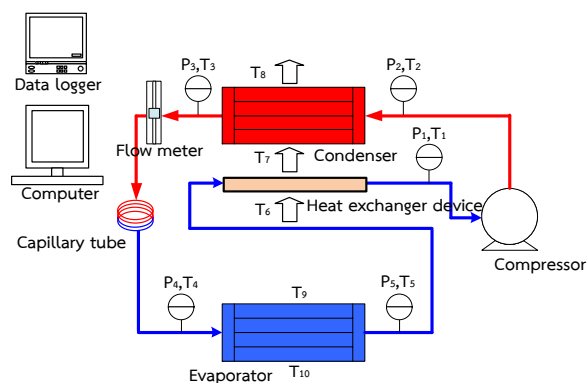
ซึ่งสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์นี้จะมีอุณหภูมิที่ต่ำและไหลเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก่อนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์เป็นวัฏจักรต่อไป [1] ซึ่งในวัฏจักรการทำงานของระบบปรับอากาศนั้นเมื่ออากาศไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศสิ่งแวดล้อม สารทำความเย็นจะดูดซับความร้อนของอากาศก่อนเข้าไปถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ ส่งผลให้คอนเดนเซอร์ถ่ายเทความร้อนได้เพิ่มขึ้น ส่วนสารทำความเย็นที่เข้าสู่คอมเพรสเซอร์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและสถานะเป็นไอเพิ่มขึ้น มีผลให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานในการขับเคลื่อน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การทำงานของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ในการทดลองนั้น ได้ปรับอุณหภูมิในห้องทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส วัดความดันของสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศโดยใช้บูตองเกจ วัดอัตราการไหลของสารทำความเย็นด้วย Flow meter วัดอุณหภูมิของสารทำความเย็นบริเวณผิวท่อและวัดอุณหภูมิของอากาศด้วยสายเทอร์โมคัปเปิล Type K โดยต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ Brainchild รุ่น VR18 ความถูกต้อง ± 0.05 เปอร์เซ็นต์ และใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ายี่ห้อ CHAUVIN ARNOUX รุ่น C.A.8210 ความถูกต้อง ± 0.3 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของการเก็บข้อมูลการทดลองนั้นได้ทำการเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยบันทึกค่าทุก 30 นาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4 [16]

โดยที่ $P_1 - P_5$ คือความดันของสารทำความเย็น $T_1 - T_5$ คืออุณหภูมิของสารทำความเย็น $T_6 - T_{10}$ คืออุณหภูมิของอากาศ [16]



รูปที่ 4 ตำแหน่งวัดความดันและอุณหภูมิของระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศแบบอัดไอที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และระบบที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จากการทดลองสามารถพิจารณาได้ดังนี้ [9, 16]

อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์จากการทดลองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และ 2

$$Q_{cond, without} = \dot{m}_r (h_2 - h_3) \quad (1)$$

$$Q_{cond, with} = \dot{m}_r (h_2 - h_3) \quad (2)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนของอีวาพอเรเตอร์จากการทดลองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 และ 4

$$Q_{evap, without} = \dot{m}_r (h_5 - h_4) \quad (3)$$

$$Q_{evap, with} = \dot{m}_r ((h_5 - h_4) + (h_1 - h_5)) \quad (4)$$

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 และ 6

$$COP_{without} = \frac{Q_{evap, without}}{W_T} \quad (5)$$

$$COP_{with} = \frac{Q_{evap, with}}{W_T} \quad (6)$$

กำลังไฟฟ้าจากการทดลองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7

$$W_T = VI \cos \theta \quad (7)$$

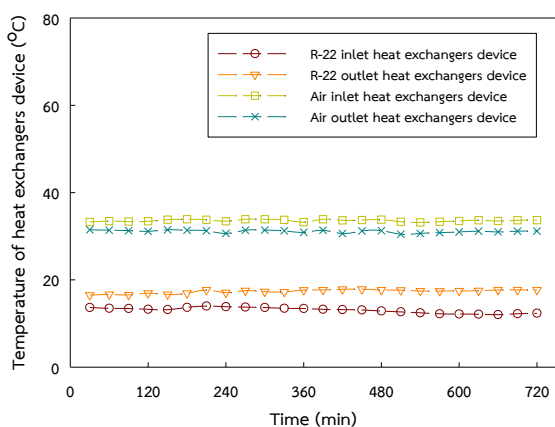
เมื่อ

COP	คือ	สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบปรับอากาศ
$\cos \theta$	คือ	เพาเวอร์แฟคเตอร์
h	คือ	เอนทาลปี
I	คือ	กระแสไฟฟ้า
$\dot{m}_r$	คือ	อัตราการไหลสารทำความเย็น
Q_{cond}	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์
Q_{evap}	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนของอีวาพอเรเตอร์
V	คือ	แรงดันไฟฟ้า
W_T	คือ	กำลังไฟฟ้า

3. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์โดยใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากอีวาพอเรเตอร์ ในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งการทดลองระบบปรับอากาศออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และ

ระบบที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน [16] สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

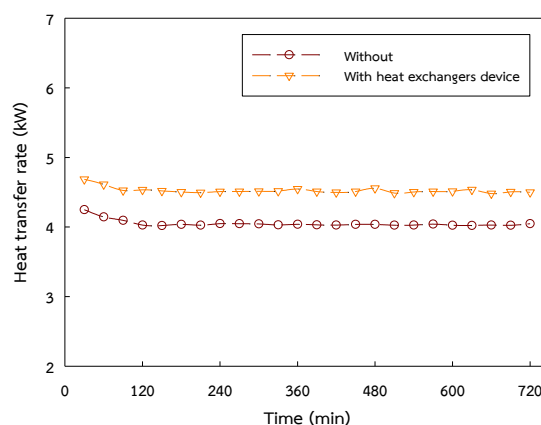


รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารทำความเย็นและอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าและออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

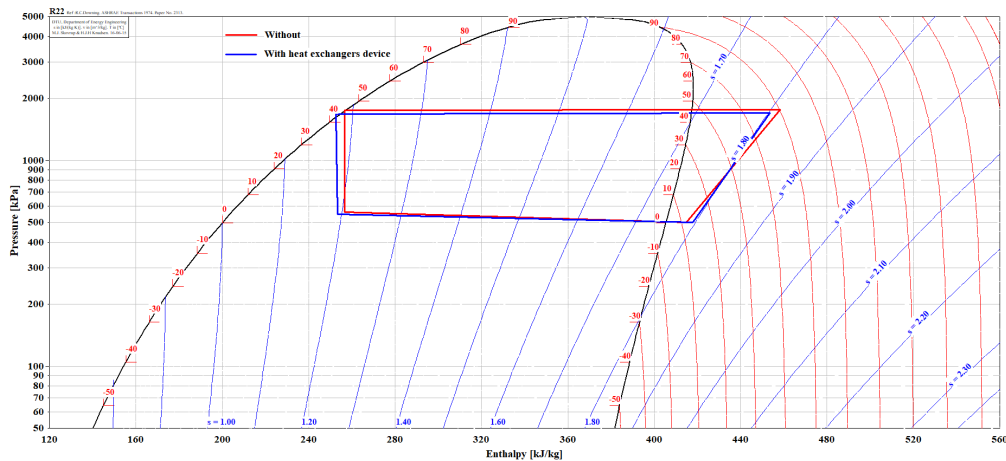
รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารทำความเย็นและอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าและออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์ก่อนเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 13.05 องศาเซลเซียส ในขณะเดียวกันอุณหภูมิของอากาศสิ่งแวดล้อมก่อนที่จะเข้าถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 33.57 องศาเซลเซียส เมื่ออากาศไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศสิ่งแวดล้อม โดยสารทำความเย็นจะดูดซับความร้อนของอากาศก่อนเข้าไปถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ อุณหภูมิของอากาศหลังจากออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะมีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.11 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนได้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 6 ในส่วนสารทำความเย็นที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อดูดซับความร้อนของ

อากาศแล้ว จะมีอุณหภูมิเฉลี่ย 17.34 องศาเซลเซียส ก่อนไหลเข้าสู่คอมเพรสเซอร์

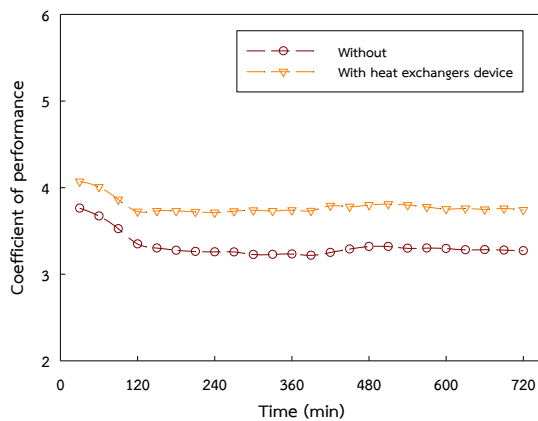
รูปที่ 6 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ในระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและระบบที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์เฉลี่ย 4.05 กิโลวัตต์ และ 4.53 กิโลวัตต์ ตามลำดับ ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าเนื่องจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ ซึ่งอุณหภูมิของสารทำความเย็นโดยรวมในคอนเดนเซอร์จะลดลง จึงส่งผลให้คอนเดนเซอร์ถ่ายเทความร้อนได้เพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์จะมีสถานะ subcooled โดยสารทำความเย็นจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของสารทำความเย็นอิ่มตัวที่มีความดันเดียวกัน ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ในระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจึงสูงกว่าระบบที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเหตุผลนี้จะสอดคล้องกับรูปที่ 7 ที่แสดง P-h diagram ของระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และระบบที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 6 อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์

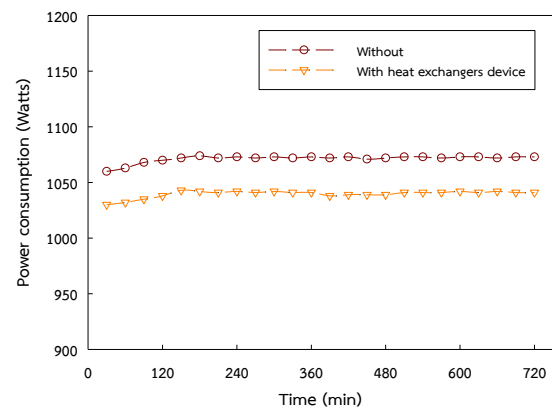


รูปที่ 7 P-h diagram ของระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และระบบที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 8 สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศ

รูปที่ 8 แสดงสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและระบบที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศมีค่าเฉลี่ย 3.32 และ 3.78 ตามลำดับ ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสูงกว่า เนื่องจากสารทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์มีสถานะเป็น Subcool มากกว่า อีกทั้งสารทำความเย็นที่เข้าสู่ฮีวพาเรเตอร์แตกตัวเป็นฟอยละเองได้ดีกว่า ส่งผลให้สารทำความเย็นสามารถแลกเปลี่ยนกับภาวะในการปรับอากาศได้ปริมาณความร้อนที่สูง มีผลให้สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสูงกว่าระบบที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 9 กำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

รูปที่ 9 แสดงกำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและระบบที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1,071.33 วัตต์ และ 1,039.70 วัตต์ ตามลำดับ ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถลดการใช้พลังงานได้มากกว่า เนื่องจากระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ได้ดีกว่า เมื่ออากาศไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศสิ่งแวดล้อม สารทำความเย็นจะดูดซับความร้อนของอากาศก่อนเข้าไปถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ ซึ่งอุณหภูมิของสารทำความเย็นโดยรวมในคอนเดนเซอร์จะลดลง ส่งผลให้ความดันของ

สารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์และทางออกคอมเพรสเซอร์ลดลงด้วย ในขณะที่ตัวสารทำความเย็นที่ไหลออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก่อนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและสถานะเป็นไอเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานในการขับเคลื่อน ดังนั้นระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจึงสามารถลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศได้มากกว่าระบบที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

4. สรุปผลและอภิปรายผล

จากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์โดยใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากอีวาพอเรเตอร์พบว่า ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์มีอุณหภูมิเฉลี่ย 13.05 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิของอากาศสิ่งแวดล้อมก่อนที่จะเข้าถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิเฉลี่ย 33.57 องศาเซลเซียส เมื่ออากาศไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศสิ่งแวดล้อม สารทำความเย็นจะดูดซับความร้อนของอากาศก่อนเข้าไปถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ อุณหภูมิของอากาศหลังจากแลกเปลี่ยนความร้อนจะลดลงเฉลี่ย 2.46 องศาเซลเซียส ในส่วนอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ไหลออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก่อนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4.28 องศาเซลเซียส อีกทั้งระบบปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนได้เพิ่มขึ้น 11.76 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้น 13.78 เปอร์เซ็นต์ และใช้กำลังไฟฟ้าลดลง 2.95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ [5] ที่ได้ศึกษาการใช้ท่อความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิของอากาศก่อนระบายความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ พบว่าสามารถเพิ่มสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะให้กับระบบปรับอากาศได้ 6.40 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของ [7] ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศโดยการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าระบายความ

ร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ พบว่าระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ และใช้กำลังไฟลดลง 20 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้ง [14] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบปรับอากาศโดยใช้น้ำควบแน่นจากอีวาพอเรเตอร์ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดครีบบบสื่อกว้างผิวผิวยาวตลอดแนวท่อ พบว่าสามารถลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์เฉลี่ย 2.81 องศาเซลเซียส ซึ่งระบบปรับอากาศสามารถถ่ายเทความร้อนได้เพิ่มขึ้น 5.52 เปอร์เซ็นต์ ใช้กำลังไฟฟาลดลง 3.72 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะเพิ่มขึ้น 9.53 เปอร์เซ็นต์ และ [16] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานให้กับระบบปรับอากาศด้วยวิธีการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยใช้ถังแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน ใช้กำลังไฟฟาลดลง 3.10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะเพิ่มขึ้น 15.38 เปอร์เซ็นต์ และสามารถถ่ายเทความร้อนได้เพิ่มขึ้น 12.11 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่ได้ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน เพราะฉะนั้นวิธีการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์โดยใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากอีวาพอเรเตอร์ จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ ซึ่งข้อดีของการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนคือสามารถใช้พลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศมาลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าถ่ายเทความร้อนให้กับคอนเดนเซอร์ได้ ในขณะเดียวกันก็สามารถเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารทำความเย็นก่อนเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ได้ด้วย ที่สำคัญวิธีนี้ไม่ซับซ้อน และใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย อีกทั้งสามารถใช้ได้กับระบบปรับอากาศทุกประเภทที่ใช้คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

5. ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองนั้น มีความเป็นไปได้ที่จะนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมาติดตั้งใช้งานร่วมกับระบบปรับอากาศที่คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ แต่เนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้ากับระบบปรับอากาศนั้น มีผลให้ความยาวของท่อสารทำความเย็น

เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการติดตั้งใช้งานจริงต้องระวังเรื่องความดันของสารทำความเย็นที่ลดลงภายในระบบปรับอากาศด้วย และในการวิจัยครั้งต่อไปนั้น ควรศึกษาการเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนให้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรีที่สนับสนุนทุนวิจัย ประเภทกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี สัญญาเลขที่ ก.18/2565 ขอขอบคุณแขนงวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่อำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ทำงานวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. F. Stoecker, and J. W. Jones, *Refrigeration & Air Conditioning*, (2nd edition). McGraw-Hill, Singapore, 1982.
- [2] N. Yamtraipat, J. JKhedari, J. Hirunlabh and J. Kunchornrat, "Assessment of Thailand indoor set-point impact on energy consumption and environment," *Energy Policy*, vol. 34, no. 7, pp. 765-770, May. 2006.
- [3] S. Atthajariyakul and C. Lertsattitnakorn, "Small fan assisted air conditioner for thermal comfort and energy saving in Thailand," *Energy Conversion and Management*, vol. 49, no. 10, pp. 2499-2504, Oct. 2008.
- [4] S. Juengjaroennirachon, P. Namprakai, N. Pratinthong, N. Suparos and N. Roonprasang, "A study of the amount of condensed water coming out of evaporator under different air temperature conditions affecting energy savings in air-conditioning system," in *Proceeding of The International Conference on Agricultural Engineering*, Thailand, April 4-5, 2012, pp. 1081-1087.
- [5] P. Naphon, "On the performance of air conditioner with heat pipe for cooling air in the condenser," *Energy Conversion and Management*, vol. 51, no. 11, pp. 2362-2366, Nov. 2010.
- [6] E. Hajidavalloo, "Application of evaporative cooling on the condenser of window-air-conditioner," *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, no. 11-12, pp. 1937-1943. Aug. 2007
- [7] E. Hajidavalloo and H. Eghtedari, "Performance improvement of air-cooled refrigeration system by using evaporatively cooled air condenser," *International Journal of Refrigeration*, vol. 33, no. 5, pp. 982-988. Aug. 2010
- [8] P. Supirattanakul, S. Rittidech and B. Bubphachot, "Application of a closed-loop oscillating heat pipe with check valves (CLOHP/CV) on performance enhancement in air conditioning system," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 7, pp. 1531-1535. Jul. 2011.
- [9] S. Juengjaroennirachon, N. Pratinthong, P. Namprakai and T. Suparos, "Performance enhancement of air conditioning using thermosyphon system's energy storage unit for cooling refrigerant before entering the condenser," *Journal of Mechanical science and Technology*, vol. 31, no. 1, pp. 393-400. Jan. 2017.
- [10] D.M. Nasution, M. Idris, N.A. Pambudi and W. Weriono, "Room air conditioning performance using liquid-suction heat exchanger retrofitted with R290," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 13, pp. 100350. Mar. 2019.
- [11] Y. Honghai, W. Jun, W. Ning and Y. Fengchang, "Experimental study on a pulsating heat pipe

- heat exchanger for energy saving in air-conditioning system in summer,” *Energy and Buildings*, vol. 197, no. 1-6. Aug. 2019.
- [12] A.A. Eidan, M.J. Alshukri, M. Isahlani and D.M. Abdulridha, “Optimizing the performance of the air conditioning system using an innovative heat pipe heat exchanger,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 26, pp. 101075. Aug. 2021.
- [13] S. Juengjaroennirachon, “A Study of air temperature reduction before entering the condenser by condensed water of evaporator passing through heat exchanger,” in *Proceeding of The 4th Rajabhat University National and International Research and Academic Conference*, Thailand, November. 22-24, 2016, pp. 385-394.
- [14] S. Juengjaroennirachon and T. Suparos, “Performance enhancement of air conditioning by condensed water of evaporator passing through heat exchanger with straight rectangular fins along the length of pipe,” in *Proceeding The 13th Conference On Energy Network of Thailand*, Thailand, May-June. 31-2, 2017, pp. 627-632. (in Thai).
- [15] S. Juengjaroennirachon, Performance Enhancement of air conditioning by air temperature reduction before entering the condenser by condensed water of evaporator passing through heat exchanger with square fins, in *Proceeding The 9th Conference on Application Research and Development, Chiang khon Thailand*, July. 25-28, 2017, pp. 261-264. (in Thai).
- [16] S. Juengjaroennirachon and T. Suparos, “Performance enhancement of air conditioning with refrigerant temperature reduction before entering the condenser using heat exchanger storage tank,” *RMUTSV Research Journal*, vol. 12 no. 2, pp. 312-322. May-Aug. 2020. (in Thai).



คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY THEPSATRI RAJABHAT UNIVERSITY
โทรศัพท์ 036-422125 เว็บไซต์ <http://itech.tru.ac.th>