



วารสารวิชาการ พลังงาน ทดแทน สู่ชุมชน

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม- เมษายน 2568



J-REC

JOURNAL
OF RENEWABLE
ENERGY FOR
COMMUNITY

J-REC BY TRECA





วารสารวิชาการ

พลังงานทดแทน สู่ชุมชน



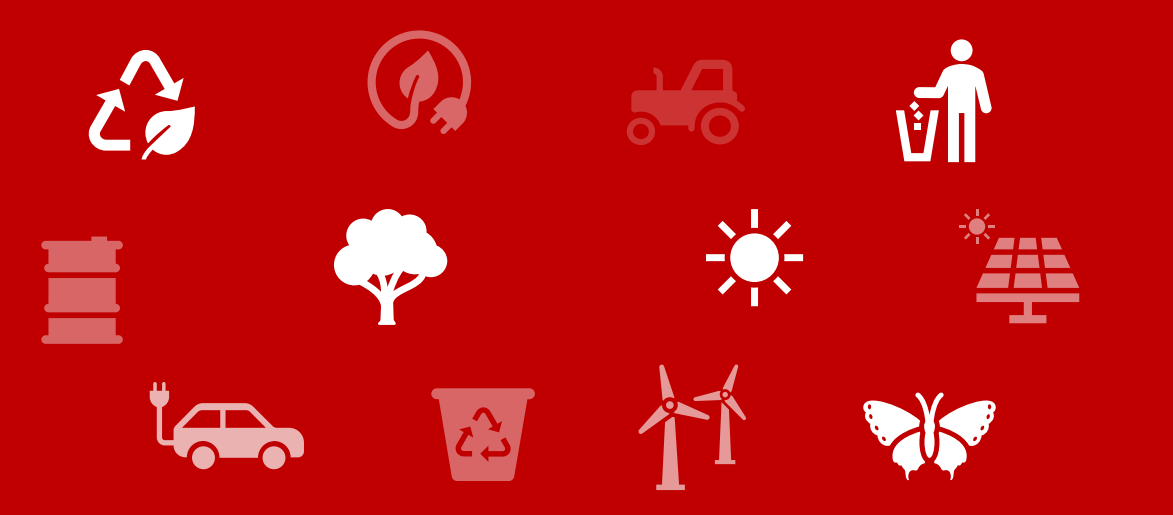
J-REC

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY



วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นเอกสารเผยแพร่ผลงานวิชาการและงานวิจัยทางด้านพลังงานทดแทนในเครือข่ายพลังงานของประเทศไทย
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ และงานวิชาการใหม่ๆ ด้านพลังงานทดแทนระหว่างนักวิจัยและผู้ใช้งานในภาครัฐและเอกชน
3. เพื่อส่งเสริมสนับสนุนให้คณาจารย์ บุคลากรทางการศึกษา นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจทำผลงานทางด้านพลังงานทดแทนที่เป็นประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ
4. เพื่อเป็นเอกสารรวบรวมรายงานวิจัยและบทความทางวิชาการที่มีคุณภาพและมีคุณค่าทางด้านพลังงานทดแทนสู่การใช้



เจ้าของและลิขสิทธิ์ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

ที่ตั้งสมาคมฯ ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 ม.1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110

โทร. 0-2549-3497 www.reca.or.th/jrec

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

พิมพ์ออกเผยแพร่ 3 ฉบับต่อปี ตั้งแต่ เดือนมกราคม-เมษายน พฤษภาคม-สิงหาคม และ กันยายน-ธันวาคม

ติดต่อขอรับเป็นสมาชิกได้โดยตรงที่ สมาคมพลังงานทดแทนแห่งประเทศไทย

วัตถุประสงค์สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน แห่งประเทศไทย

- เพื่อส่งเสริมความร่วมมือ ทางด้านวิชาการระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชนและภาคประชาชน ในด้านพลังงาน ทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชนต่างๆ ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ
- เพื่อจัดหาทุนเพื่อสนับสนุนการศึกษาวิจัย ฝึกอบรม การดำเนินโครงการด้านพลังงานทดแทนให้กับ ภาครัฐ ภาคเอกชนและภาคประชาชน จากแหล่งทุนทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ
- ไม่ดำเนินการส่งเสริมและพัฒนากิจกรรมใดๆ ที่มุ่งไปสู่การดำเนินงานทางการเมือง
- ไม่ดำเนินการให้มีการจัดตั้งโต๊ะบิลเลียดหรือกระทำการอันผิดต่อขนบธรรมเนียมและจารีต ประเพณีที่ดีของสังคมไทย
- เพื่อส่งเสริมให้สมาคมมีรายได้จากโควต้าสลากกินแบ่งรัฐบาล หรือสลากการกุศลของรัฐบาลที่พิมพ์ ออกจำหน่าย เพื่อนำรายได้มาใช้ในการดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของสมาคม
- เพื่อส่งเสริมกิจกรรมทางสังคมด้านสาธารณะประโยชน์ด้านต่างๆ รวมถึงกิจกรรมเพื่อการจัดสวัสดิการให้กับสมาชิก

หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันทั่วโลกต้องเผชิญกับปัญหาด้านพลังงานที่รุนแรงกว่าในอดีตมากอันเนื่องมาจากความต้องการใช้พลังงานและราคาพลังงานเชื้อเพลิงที่มีการปรับตัวอยู่ในระดับสูงอย่างต่อเนื่อง ผลกระทบที่สำคัญจากปัญหาดังกล่าวคือความมั่นคง ทางด้านการจัดหาพลังงาน ขณะเดียวกันการใช้พลังงานที่สูงขึ้นก็ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจนเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Green House Effects) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกอย่างรุนแรง ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาด้านพลังงานดังกล่าวจึงได้มีแนวคิดในการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนกันมากขึ้น โดยเฉพาะพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีการนำมาใช้เป็นระยะเวลายาวนาน ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Green & Clean Energy) อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่มีวันหมดสิ้น

จุดมุ่งหมาย

การทำงานกันทั้งส่วนภาครัฐและประชาชนในการใช้พลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศไทย ตลอดจนการศึกษาวิจัย ดำเนินการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่างๆ มาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อความเหมาะสมและให้เกิดความยั่งยืนของชุมชนและประชาชนในประเทศไทย

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน
JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY

คณะกรรมการจัดทำวารสารวิชาการสู่ชุมชน

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

หัวหน้ากองบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยธินรินทร์ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองบรรณาธิการ	นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (รศ.ดร.พิเชษฐ มณีโชติ)
ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ	กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (ผศ.ดร.จิรวดี ผลประเสริฐ)
กองบรรณาธิการ	ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ ศาสตราจารย์ ดร.ทงกียรติ เกียรติศิริโรจน์ ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล รองศาสตราจารย์ ดร.ประพิธาร์ ธารักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรพงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วารุณี อริยะวิริยะนันท์ ดร.ชานนท์ บุญมีพิพิธ

เลขานุการ

นางสาวกิ่งกานต์ พันธวานิชย์

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวธัญญลักษณ์ ชิดโคกรวด

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาคความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรพงศ์	วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ สีสำนาน	วิศวกรรมศาสตร์ สาขาเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขต สกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ	คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริสุข จินดารักษ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร เจาะจง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ดร.ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด	คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ว่าที่ร้อยโท ดร.ศักดิ์ชัย เพชรสุวรรณ	คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ สอนสารี	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ดา สมกุล	วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัช สุริวงษ์	วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหทัย ทองสาร	วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาลินี แก้วปัญหา	วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.บงกช ประสิทธิ์	วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.อัญชิษฐา ปราสาททรัพย์	วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ เม่นสิน	วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนโดยร่วมมือของเครือข่ายสมาชิกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (TRECA) ซึ่งเป็นฉบับที่ 1 ของปีที่ 8 และนับเป็นการตีพิมพ์วารสารในรูปแบบออนไลน์ปีที่ 4 ISSN 2773-8693 (Online) วารสารฉบับนี้เป็นเนื้อหาของบทความทางวิชาการมุ่งสร้างผลงานที่เด่นทางด้านวิจัยและมุ่งสู่การใช้งานจริง ซึ่งได้รวบรวมความรู้ทางวิชาการที่สามารถถ่ายทอดให้แก่สังคมทางด้านพลังงานทดแทนในสาขาต่างๆ เพื่อให้วารสารนี้เป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนวิชาการและแนวความคิดในแวดวงวิชาการทั้งผู้วิจัยและผู้ใช้งาน อันเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างผลงานทางวิชาการสู่ชุมชนและสังคม โดยดำรงไว้ซึ่งความเป็นตัวตนทางวิชาการของผู้เขียนและวัตถุประสงค์ของสมาคมฯ ที่ทรงคุณค่า บทความในวารสารฉบับนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 10 บทความ ซึ่งในแต่ละบทความมีความเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันของรูปแบบพลังงานทดแทนต่างๆ ครอบคลุมกระบวนการในการวิจัยและการศึกษาสู่ภาคการใช้งาน ผู้อ่านจะได้รับความรู้ที่หลากหลายจากการอ่านวารสารฉบับนี้ ในแนวทางที่จะจุดประกายความคิด หรือการต่อยอดความคิดทางด้านพลังงานทดแทนสาขาต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอ่านอย่างวิพากษ์ และตั้งคำถามเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนในทางวิชาการอย่างสร้างสรรค์ อันจะช่วยให้ความรู้และความคิดเดิมถูกแพร่ขยายออกไปได้อย่างกว้างขวาง อีกทั้งให้วารสารฉบับนี้เป็นแหล่งความรู้ในทุกระดับภาคส่วน ของทุกคนในสังคมไทยโดยไม่ยึดติดตนเองและอยู่กับความรู้ความคิดของตนเองอยู่เสมอมองอย่างไม่หยุดนิ่ง และท้ายที่สุดแล้วความรู้ความคิดที่ถูกต่อขยายออกไปนั้น ก็จะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนกระบวนการทัศนทางความคิดของสังคมและชุมชนอย่างกว้างขวาง อันจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางวิชาการของสังคมเพื่อความยั่งยืนของ ประเทศชาติ กองบรรณาธิการขอขอบพระคุณคุณธำรงทุกท่าน คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิชาการและทุกภาคส่วนที่ได้สละเวลาอันมีค่าอ่านบทความ เพื่อความถูกต้องทางวิชาการ และเป็นวารสารที่ดีต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งนี้หากผู้อ่านมีความประสงค์จะตีพิมพ์บทความทางออนไลน์ที่ www.reca.or.th/jrec เพื่อการพิจารณาและตีพิมพ์ในวารสารฉบับต่อไป

กองบรรณาธิการ

สารบัญ

นวัตกรรมด้านพลังงาน

การออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำจากอากาศด้วยระบบวัฏจักรอัดไอ.....	8
ผลของการปรับสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์ในระบบเก็บน้ำเย็นต่อการลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ: กรณีศึกษาอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่.....	21
การศึกษาผลของการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรจากการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหลือทิ้ง.....	33
การออกแบบและศึกษาปัจจัยด้านขนาดของรูเจาะที่มีผลต่อการผลิตถ่านชาร์ โดยอาศัยการทดลองร่วมกับการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์.....	43
การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยแผ่นดูดซับความร้อนแบบร่องตัววี.....	55
แอปพลิเคชันสำหรับการประเมินเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับศักยภาพพลังงานจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ในตำบลปึงไค้ง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่.....	65

พลังงานเพื่อการเกษตร

ผลการศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลสำหรับตะไคร้อบแห้ง.....	88
การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแบบผสมผสานจากใบอ้อยและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร.....	101
การอบแห้งขมิ้นชันแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานจากขดลวดความร้อนที่ควบคุมสภาวะอากาศอบแห้ง.....	107

พลังงานเพื่อชุมชน

การพัฒนาต้นแบบกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาจากพลังงานแสงอาทิตย์.....	117
--	-----

การออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำจากอากาศด้วยระบบวัฏจักรอัดไอ

Design and development of atmospheric water generation using vapor compression cycle system

ธีรวัฒน์ วงษาเทียม¹ เสมอขวัญ ตันติกุล¹ กิตติกร สาสุจิตต์¹ สุระพล ริยะนา¹ ญาณกร สุัทศมาลี¹ พนักร เหลี่ยมเคลือบ¹
ลลิตา เพชรใจหาญ¹ และ นิกราน หอมดวง^{1*}

Tirawat Wongsatiam¹ Samerkawn Tantikul¹ Kittikorn Sasujit¹ Surapol Riyana¹ Yanakorn Sutasamalee¹
Phontakorn Liamkloub¹ Lalita Petchaihan¹ and Nigran Homdoun^{1*}

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

*Corresponding author: Tel.: 084-1773632 E-mail address: nigranghd@gmail.com

Abstract

Atmospheric Water Generation (AWG) systems are a technology that has the potential to solve water scarcity problems in many areas around the world, including some areas of Thailand. It relies on the principle of extracting moisture or water vapor from the air and condensing it into water. The design and development of atmospheric water generation systems require the study of variables that affect water production. Therefore, this research aims to study and analyze the variables that affect water generation from atmospheric water generation processes using the principle of condensing moisture in the air into water by cooling using a vapor compression cycle. The atmospheric water generator consists of a 12,283 BTU/h vapor compression refrigeration system and four cross-flow heat exchangers that act as cold coils, arranged in series to lower the temperature of the supplied air to the dew point. The relative humidity and temperature of the air fed into the atmospheric water generator are in the range of 75% - 90% and 25-35 °C, respectively, while the airflow rate is in the range of 6-8 m³/min. The results of the study found that temperature, relative humidity, and airflow rate affect the atmospheric water generation rate, with the optimal temperature, relative humidity, and flow rate for the highest water generation being 35 °C, 90%, and 8 m³/min respectively, The maximum water generation rate was 2.65 kg/h. The specific energy consumption of the atmospheric water generation system was in the range of 0.56–0.95 kWh/L.

Keywords: Air, Water, humidity, Vapor compression refrigeration, Atmospheric water generation

บทคัดย่อ

การผลิตน้ำจากอากาศเป็นเทคโนโลยีที่มีความเป็นไปได้ในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำในหลายพื้นที่ทั่วโลก รวมทั้งในบางพื้นที่ของประเทศไทย โดยอาศัยหลักการดึงเอาความชื้นหรือไอน้ำที่อยู่ในอากาศมาควบแน่นให้กลายเป็นน้ำ การออกแบบ และพัฒนาระบบผลิตน้ำจากอากาศจำเป็นต้องศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตน้ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตน้ำจากกระบวนการผลิตน้ำจากอากาศโดยใช้หลักการทำให้ความชื้นในอากาศควบแน่นเป็นน้ำด้วยการทำความเย็นโดยใช้วัฏจักรอัดไอ ซึ่งเครื่องผลิตน้ำจากอากาศประกอบด้วยระบบเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 12,283 BTU/h เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขวางซึ่งทำหน้าที่เป็นคอยล์เย็น 4 ชุด วางเรียงซ้อนต่อกันเป็นแบบอนุกรม เพื่อให้อากาศที่ถูกป้อนเข้ามีอุณหภูมิต่ำลงจนถึงจุดควบแน่น ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศที่ป้อนเข้าสู่เครื่องผลิตน้ำจากบรรยากาศอยู่ในช่วง 75% - 90% และ 25-35 °C ตามลำดับ ในขณะที่อัตราการไหลของอากาศอยู่ในช่วง 6-8 m³/min ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการไหลของอากาศมีผลกระทบต่อการผลิตน้ำจากอากาศ โดยที่อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการไหลที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดคือ 35 °C, 90% และ 8 m³/min ตามลำดับ สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 2.65 kg/h อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.56-0.95 kWh/L

คำสำคัญ: อากาศ น้ำ ความชื้น การทำความเย็นด้วยวัฏจักรอัดไอ การผลิตน้ำจากอากาศ

บทนำ

น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิต ถึงแม้ว่าน้ำจะเป็นทรัพยากรหมุนเวียน แต่ 97.5% ของปริมาณน้ำทั้งหมดบนโลกเป็นน้ำทะเลในมหาสมุทร มีส่วนที่เหลือเพียง 2.5% เท่านั้นที่เป็นน้ำจืด และในน้ำจืด 68.7% ถูกกักเก็บในรูปแบบของน้ำแข็งและหิมะ อีก 30.1% ส่วนเป็นน้ำใต้ดิน ดังนั้นจึงเหลือน้ำจืดที่ผิวดินและอื่น ๆ เพียง 1.2% และเมื่อแบ่งออกเป็น 100 ส่วนจะเห็นว่าน้ำหรือไอน้ำอยู่ในชั้นบรรยากาศถึง 3% ซึ่งมากกว่าน้ำในแม่น้ำหลายเท่าตัว [1] การผลิตน้ำจากอากาศ (Atmospheric water generation: AWG) [2] เป็นวิธีการทางเลือกหนึ่งที่มีความสามารถในการผลิตน้ำจืด นอกเหนือจากการใช้กลยุทธ์การกักเก็บน้ำจากน้ำผิวดินและการขุดเจาะน้ำบาดาลแหล่งน้ำใต้ดิน การผลิตน้ำจากอากาศเป็นวิธีการที่ค่อนข้างใหม่ การผลิตน้ำด้วยวิธีนี้จะเน้นการผลิตน้ำเพื่อนำไปบริโภคเนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง จากการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในปีที่ผ่านมาและปี 2566 ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 35-42 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูง 60-80% และเมื่อใช้ไซโครเมตริกชาร์ทในการคำนวณหาอุณหภูมิจุดไอน้ำกลั่นตัวหรือจุดน้ำค้าง โดยพบว่าใช้อุณหภูมิเพียง 27-34 °C น้ำในอากาศก็สามารถกลั่นตัวได้ [3] ทั้งนี้จะต้องออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพจึงจะดำเนินการได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงสนใจและมุ่งเน้นในการออกแบบ พัฒนา ทดสอบ และประเมินสมรรถนะของระบบผลิตน้ำจากอากาศเพื่อการอุปโภคบริโภค เพื่อแก้ไขปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

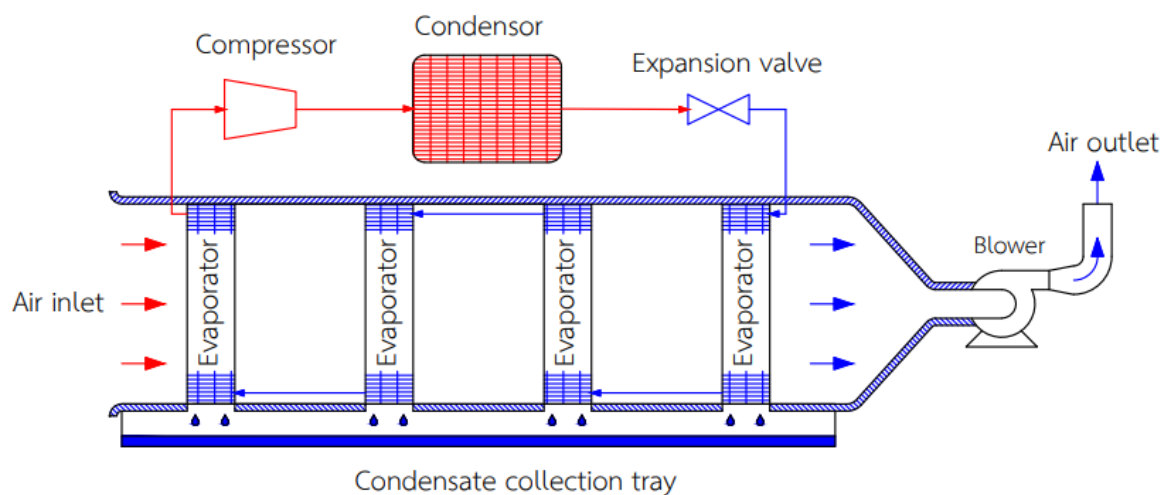
เทคโนโลยีการผลิตน้ำจากอากาศ คือการดึงน้ำจากอากาศหรือการสกัดน้ำจากอากาศที่มีไอน้ำผสมและแทรกตัวอยู่ ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการสกัดน้ำออกมาได้หลายรูปแบบเช่น การสกัดน้ำจากอากาศด้วยการทำความเย็นด้วยวัฏจักรอัดไอ การสกัดน้ำจากอากาศด้วยการทำความเย็นจากเทอร์โมอิเล็กทริก การสกัดน้ำจากอากาศด้วยการเก็บน้ำค้าง การสกัดน้ำจากอากาศด้วยการเก็บหมอก การสกัดน้ำจากอากาศด้วยการใช้การดูดซับ เป็นต้น การผลิตน้ำจากอากาศโดยใช้การทำ ความเย็นด้วยวัฏจักรอัดไอ (Vapour compression refrigeration) เป็นวิธีการที่นิยมใช้สำหรับการผลิตน้ำจากอากาศ [4-6] ซึ่งใช้หลักการเช่นเดียวกับ ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ และเครื่องลดความชื้น คือทำให้อากาศที่มีความชื้นมีอุณหภูมิลด

ต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งจะทำให้ไอน้ำไม่สามารถแทรกตัวอยู่ในอากาศที่อุณหภูมิและความชื้นนี้ได้ จึงทำให้เกิดการควบแน่นกลายเป็นของเหลว โดยขั้นตอนในการทำงานจะเริ่มจากพัดลมหรือโบลเวอร์ดูดอากาศขึ้นผ่านคอยล์เย็นทำให้อากาศชื้นเย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง จากนั้นจะเกิดการควบแน่นที่คอยล์เย็นและกลายเป็นหยดน้ำ โดยระบบการผลิตน้ำจากอากาศโดยใช้การทำความเย็นแบบอัดไอนี้มีข้อดีคือสามารถผลิตน้ำได้จำนวนมากกว่า 1000 L/day โดยการใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ [3] แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตน้ำค่อนข้างสูงประมาณ 1-4 L/kWh [7-9] และจะยิ่งสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากยิ่งขึ้นเมื่อทำงานที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ โดยการทำงานที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 20% จากแผนภูมิไซโครเมตริกจะเห็นว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะมีค่าต่ำกว่า 0 °C จึงทำให้เกิดน้ำที่ควบแน่นที่คอยล์เย็นกลายเป็นน้ำแข็ง ซึ่งจะเกิดการสะสมของน้ำแข็งและอุดตันคอยล์เย็นทำให้ระบบไม่สามารถทำงานในสภาพอากาศแบบนี้ได้ [10] สำหรับการสกัดน้ำจากอากาศด้วยการทำความเย็นแบบอัดไอนี้จะให้สมรรถนะดีที่สุด เนื่องจากเทคโนโลยีนี้มีความสามารถในการผลิตน้ำสูง สามารถออกแบบปรับเพิ่มขนาดได้ตามความต้องการ แม้ว่าต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนการทำงานของระบบต่าง ๆ แต่ก็ให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูง มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานได้จริง แต่ยังคงติดอยู่ในด้านการมีต้นทุนการผลิตที่สูง ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตน้ำจากอากาศด้วยการทำความเย็นแบบอัดไอ เพื่อทำให้ความสามารถในการผลิตน้ำสูงขึ้นในขณะที่ใช้พลังงานน้อยลงเพื่อทำให้ต้นทุนในการผลิตน้ำจากอากาศต่ำลงจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ

วิธีการวิจัย

1. ระบบผลิตน้ำจากอากาศ

ต้นแบบระบบผลิตน้ำจากอากาศใช้หลักการทำความเย็นแบบอัดไอประกอบด้วยเครื่องอัดไอ (Compressor) เครื่องควบแน่น (Condenser) วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) เครื่องทำระเหยหรือคอยล์เย็น (Evaporator) โดยระบบทำความเย็นแบบอัดไอนี้มีกำลังการทำงาน 12,283 BTU/hr ใช้สารทำความเย็น R 22/1.19 เนื่องจากสารทำความเย็นชนิดนี้ไม่ติดไฟ เหมาะกับการทดลองเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในอนาคตที่อาจมีประกายไฟ ทำให้อากาศชื้นเย็นลงได้ และติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำหน้าที่เสมือนเครื่องทำระเหยจำนวน 4 ชุด (จากภาพที่ 2 เครื่องทำระเหยมีทั้งหมด 5 ชุด แต่การศึกษาในครั้งนี้ทำการทดลอง 4 ชุดเนื่องจากให้อัตราการผลิตน้ำจากอากาศที่สูงสุด) วางเรียงต่อกันแบบอนุกรม เพื่อให้อากาศที่เข้าสู่ระบบมีระยะเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้นแต่ละชุดมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน 2.45 m² ติดตั้งไว้ภายในท่อสี่เหลี่ยมขนาด 0.35 m x 0.35 m เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศจากภายนอก ระบบการป้อนอากาศใช้โบลเวอร์ขนาด 373 W อากาศที่มีความชื้นสูงไหลผ่านท่ออากาศเข้า ชุดคอยล์เย็นและพัดลม แล้วปล่อยอากาศที่มีความชื้นต่ำออกสู่ระบบภายนอก ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตน้ำจากอากาศด้วยระบบวัฏจักรอัดไอ



ภาพที่ 2 ระบบผลิตน้ำจากอากาศด้วยการทำความเย็นแบบอัดไอ

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะระบบผลิตน้ำจากอากาศด้วยการทำความเย็นแบบอัดไอ

อุปกรณ์	รายละเอียด
ชุดเครื่องอัดไอ	LG/S13 LCK NR1
กำลังการทำความเย็น	3,600 W (12,283 BTU/hr)
กำลังไฟฟ้าชุดเครื่องอัดไอ	1,150 W
สารทำความเย็น	R 22/1.19
พัดลม	373 W
เครื่องทำระเหยหรือคอยล์เย็น	cross flow 4 panel

2. การประเมินสมรรถนะระบบผลิตน้ำจากอากาศ

ระบบผลิตน้ำจากอากาศทำการทดลองในเขตพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ช่วงเดือนกรกฎาคมซึ่งเป็นฤดูฝน ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในช่วง 25-35 °C และ 75-90% ตามลำดับ โดยใช้การควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าระบบผลิตน้ำจากอากาศด้วยเครื่องปรับสภาพอากาศ ESSOM รุ่น TH 518 โดยเครื่องปรับสภาพอากาศมีระบบทำความเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศให้เย็นลงรวมไปถึงการทำให้ลดความชื้นในอากาศ มีระบบทำความร้อนด้วยฮีตเตอร์เพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศให้ร้อนขึ้น และมีระบบเพิ่มความชื้นในอากาศด้วยหม้อต้มไอน้ำเพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศให้มีค่าสูงขึ้น โดยระบบที่กล่าวมาจะทำให้สามารถควบคุมรวมไปถึงการปรับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ก่อนเข้าระบบผลิตน้ำจากอากาศได้ ในขณะที่อัตราการไหลของอากาศป้อนระหว่าง 6-8 m³/min ซึ่งเป็นช่วงที่ให้อัตราการผลิตน้ำจากอากาศสูงสุดจากงานวิจัยที่ผ่านมา [17] โดยใช้ฮีตเตอร์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์พัดลม Mitsubishi รุ่น D700 ความดันบรรยากาศ 100.91 kPa ระยะเวลาทดสอบเก็บตัวอย่างน้ำทุก ๆ 1 ชั่วโมง เทอร์มิเตอร์และเครื่องวัดความชื้นคือ UNI-T รุ่น A12T ช่วงการวัด -10-50 °C (ความแม่นยำ ±1°C) ในขณะที่มีความชื้นในอากาศสามารถวัดได้ระหว่าง 10-99 % (ความแม่นยำ ±5%) อัตราการไหลของอากาศใช้เครื่องวัดแบบใบพัด รุ่น WM04 การวัดความเร็วในช่วง 0-45 m/s (ความแม่นยำ 3%) น้ำหนักน้ำวัดจากเครื่องชั่งดิจิตอล Sunford รุ่น ACS-30-FC31 ขนาด 30 kg (ความละเอียดชั่ง 10 g) การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิ ความชื้น อัตราการไหลของอากาศ และประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่มีต่ออัตราการผลิตน้ำจากอากาศ [11] สามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$WGR = \frac{V}{T} \quad (1)$$

เมื่อ WGR (Water generation rate) คือ อัตราการผลิตน้ำจากอากาศ (L/h) V คือ ปริมาตรน้ำ (L) และ T คือ เวลา (h)

3. อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ

การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานจำเพาะ คือ การใช้พลังงานต่อหน่วยถือเป็นหนึ่งในดัชนีประสิทธิภาพพลังงาน

[9] สามารถหาได้จากสมการที่ 2 โดย P คือ กำลังไฟฟ้า (kW) ได้จากการวัด

กำลังไฟฟ้ารวมของระบบผลิตน้ำจากอากาศซึ่งมาจากชุดเครื่องอัดไอและพัดลม

$$SEC = \frac{P}{WGR} \quad (2)$$

เมื่อ SEC (Specific energy consumption) คือ อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ (kWh/L) P คือ กำลังไฟฟ้า (kW) และ WGR คือ อัตราการผลิตน้ำจากอากาศ (L/h)

4. การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตน้ำจากอากาศ

การวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์จะประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการทำงานและระยะเวลาคืนทุน ใช้วิธีเส้นตรงในการคิดค่าเสื่อมราคา ไม่คิดค่าโรงเรือน ค่าภาษี และค่าประกัน [12] สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

4.1 ค่าใช้จ่ายในการทำงาน

$$TC = FC + VC \quad (3)$$

โดยที่ TC คือ ค่าใช้จ่ายรวมจากการผลิตน้ำ (baht/yr) FC คือ ต้นทุนคงที่ (baht/yr) VC ต้นทุนผันแปร (baht/yr)

$$FC = D + I \quad (4)$$

โดยที่ D คือ ค่าเสื่อมราคา (baht/yr) I คือ ค่าดอกเบี้ย (%/yr)

$$VC = (L + E + M) \times A \quad (5)$$

โดยที่ L คือ ค่าแรงงาน (baht/d) E คือ ค่าไฟฟ้า (baht/d) M คือ ค่าซ่อมบำรุง (baht/d) A คือ จำนวนวันที่ปฏิบัติงานต่อปี (d/yr)

4.2 ระยะเวลาคืนทุน

$$PB = \frac{TC}{CR \times WGR \times h \times A} \quad (6)$$

โดยที่ PB คือ ระยะเวลาคืนทุน (ปี) CR คือ อัตราการค่าน้ำ (bath/L) WGR คือ อัตราการผลิตน้ำจากอากาศ (L/h) h คือ ระยะเวลาการทำงานของระบบ (h/d)

5. การประเมินประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบผลิตน้ำจากอากาศ

การประเมินประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบผลิตน้ำจากอากาศจะใช้การหาค่า EER (Energy Efficiency Ratio, อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของการทำความเย็นแสดงถึงอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็น (BTU/h) ต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ (W) ค่า EER ที่สูงกว่าหมายถึง ระบบทำความเย็นนั้นมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่ดีกว่าสามารถให้ความเย็นได้มากต่อหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ [13]

$$EER = \frac{C}{P} \quad (7)$$

โดยที่ EER คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (BTU/h/W) P คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (W) และ C คือ ความสามารถในการทำความเย็น (BTU/h) หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

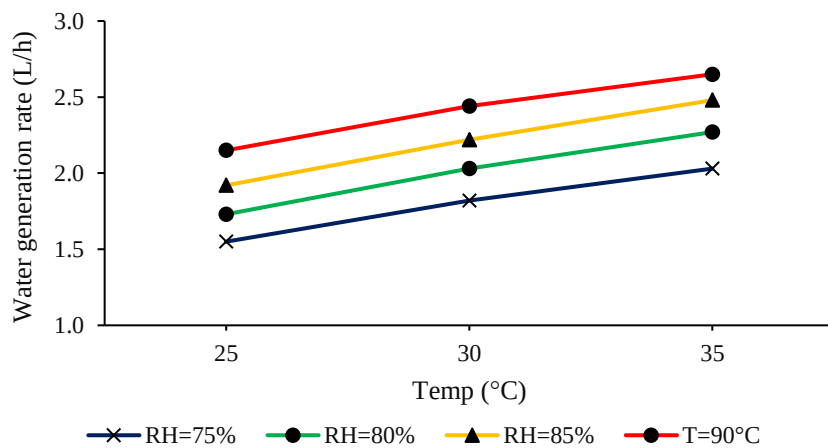
$$C = \Delta h \times Q \times 68.46 \quad (8)$$

โดยที่ Δh คือ ค่าความแตกต่างเอนทาลปีของอุณหภูมิอากาศ (kJ/kg) Q อัตราการไหลของอากาศ (m^3/min)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลของการปรับอุณหภูมิที่มีต่อการผลิตน้ำจากอากาศ

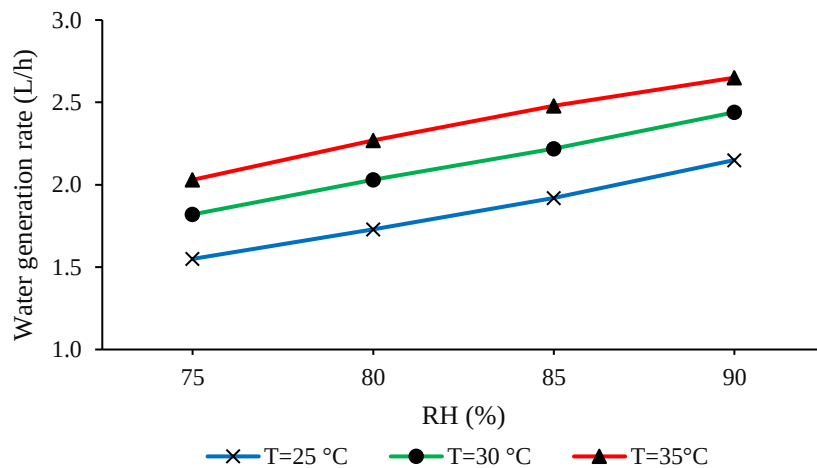
ภาพที่ 2 แสดงถึงผลของการปรับอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าระบบผลิตน้ำจากอากาศเพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ได้ โดยทำการปรับค่าอุณหภูมิที่ 25-35 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 75-90% อัตราการไหลของอากาศเข้าระบบ 8 m^3/min ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของอากาศมีผลต่ออัตราการผลิตน้ำจากอากาศ อุณหภูมิเหมาะสมที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดเกิดขึ้นที่ 35 °C ในทุกค่าความชื้นสัมพัทธ์ ในขณะที่อัตราการผลิตน้ำต่ำสุดเกิดขึ้นที่ 25 °C ในทุกค่าความชื้นสัมพัทธ์เช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศหรืออากาศที่มีอุณหภูมิสูง จะส่งผลให้ระบบผลิตน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [8,15] โดยอากาศที่อุณหภูมิ 35 °C สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 2.03-2.65 L/h เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงนั้นไอน้ำสามารถแทรกตัวอยู่ในอากาศได้ในปริมาณที่สูงกว่าอุณหภูมิต่ำ ซึ่งคุณสมบัติของอากาศในลักษณะนี้สามารถดูได้จากแผนภูมิไซโครเมตริก



ภาพที่ 2 ผลของการปรับอุณหภูมิที่มีต่อการผลิตน้ำจากอากาศ

2. ผลของการปรับความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อการผลิตน้ำจากอากาศ

ภาพที่ 3 แสดงถึงผลของการปรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าระบบผลิตน้ำจากอากาศเพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ได้ โดยทำการปรับค่า ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 75-90% อุณหภูมิที่ 25-35 °C อัตราการไหลอากาศเข้าระบบ 8 m³/min ผลการศึกษาพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีผลต่ออัตราการผลิตน้ำจากอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสมที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดเกิดขึ้นที่ 90% ในทุกค่าอุณหภูมิ ในขณะที่อัตราการผลิตน้ำต่ำสุดเกิดขึ้นที่ 75% ในทุกค่าอุณหภูมิเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหรืออากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะส่งผลให้ระบบผลิตน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [8, 11, 15] โดยอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 90% สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 2.15-2.65 L/h เนื่องมาจากที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงนั้นไอน้ำสามารถแทรกตัวอยู่ในอากาศได้ในปริมาณที่สูงกว่าอุณหภูมิต่ำ ซึ่งคุณสมบัติของอากาศในลักษณะนี้สามารถดูได้จากแผนภูมิไซโครเมตริกเช่นเดียวกัน

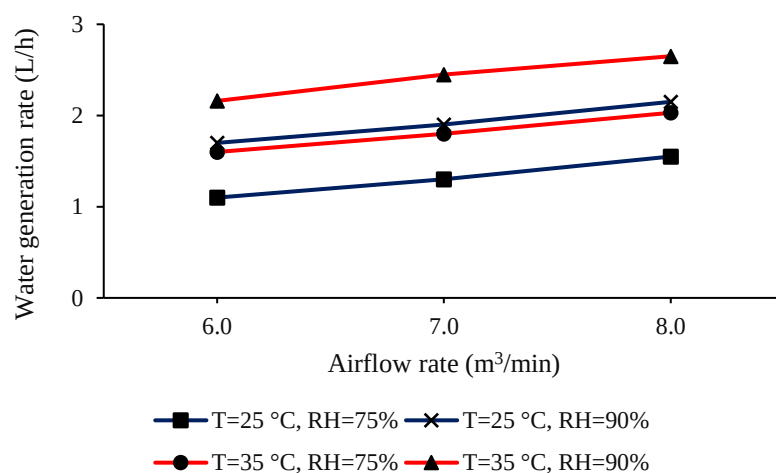


ภาพที่ 3 ผลของการปรับความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อการผลิตน้ำจากอากาศ

3. ผลของการปรับอัตราการไหลของอากาศที่มีต่อการผลิตน้ำจากอากาศ

ภาพที่ 4 แสดงถึงผลของการปรับอัตราการไหลของอากาศเข้าระบบผลิตน้ำจากอากาศเพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ได้ โดยทำการปรับค่าอัตราการไหลของอากาศ 6-8 m³/min อุณหภูมิที่ 25 และ 35 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของ

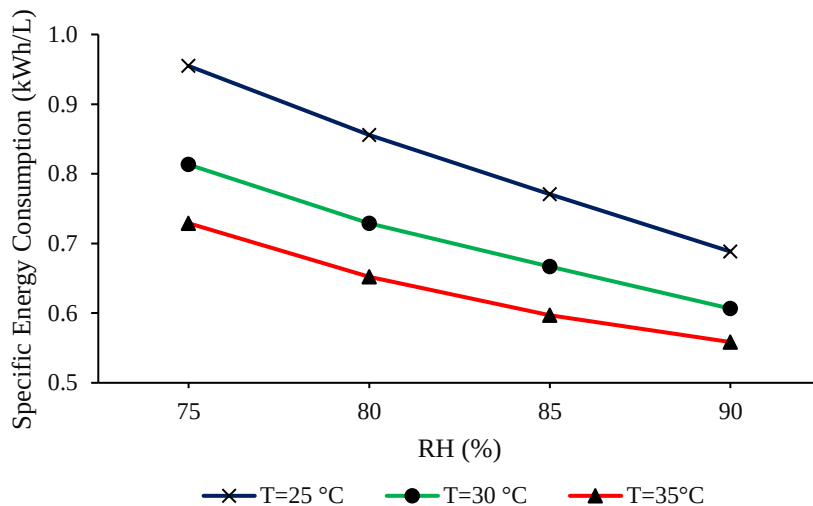
อากาศ 75% และ 90% ผลการศึกษาพบว่า อัตราการไหลของอากาศมีผลต่ออัตราการผลิตน้ำจากอากาศ อัตราการไหลของอากาศที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดเกิดขึ้นที่ $8 \text{ m}^3/\text{min}$ ทุกสภาพอากาศ ในขณะที่อัตราการผลิตน้ำต่ำสุดเกิดขึ้นที่ $6 \text{ m}^3/\text{min}$ ทุกสภาพอากาศเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศ จะส่งผลให้ระบบผลิตน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [7,14] โดยอากาศที่อัตราการไหลของอากาศ $8 \text{ m}^3/\text{min}$ สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 1.55-2.65 L/h แต่จะเห็นได้ว่าที่อัตราการไหลของอากาศ $8 \text{ m}^3/\text{min}$ อาจยังไม่ใช่อัตราการผลิตน้ำสูงสุดของระบบนี้เนื่องจากลักษณะกราฟเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศทำให้อัตราการผลิตน้ำยังมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเป็นข้อจำกัดของพัดลมป้อนอากาศเข้าระบบที่สามารถทำได้สูงสุดที่ $8 \text{ m}^3/\text{min}$ ดังนั้นการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจะทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงขึ้นซึ่งจะทำการปรับปรุงและศึกษาในครั้งต่อไป



ภาพที่ 4 ผลของการปรับอัตราการไหลของอากาศที่มีต่อการผลิตน้ำจากอากาศ

4. อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ

ภาพที่ 5 แสดงถึงอัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ ซึ่งในอุปกรณ์หลักในระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจะประกอบไปด้วย เครื่องอัดไอ พัดลมระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น และพัดลมดูดอากาศเข้าระบบ ซึ่งมีกำลังไฟรวมทั้งหมด 1,523 W ผลการศึกษาพบว่า อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.56– 0.95 kWh/L อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศต่ำสุดจะเกิดขึ้นที่สภาพอากาศที่มีความชื้นสูงและอุณหภูมิสูง เนื่องจากให้อัตราการผลิตน้ำสูง ส่วนอัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศสูงสุดจะเกิดขึ้นที่สภาพอากาศที่มีความชื้นต่ำและอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากให้อัตราการผลิตน้ำต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [9,16,17] โดยพบว่าอัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.18– 1.78 kWh/L



ภาพที่ 5 อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ

5. ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ระบบผลิตน้ำจากอากาศ

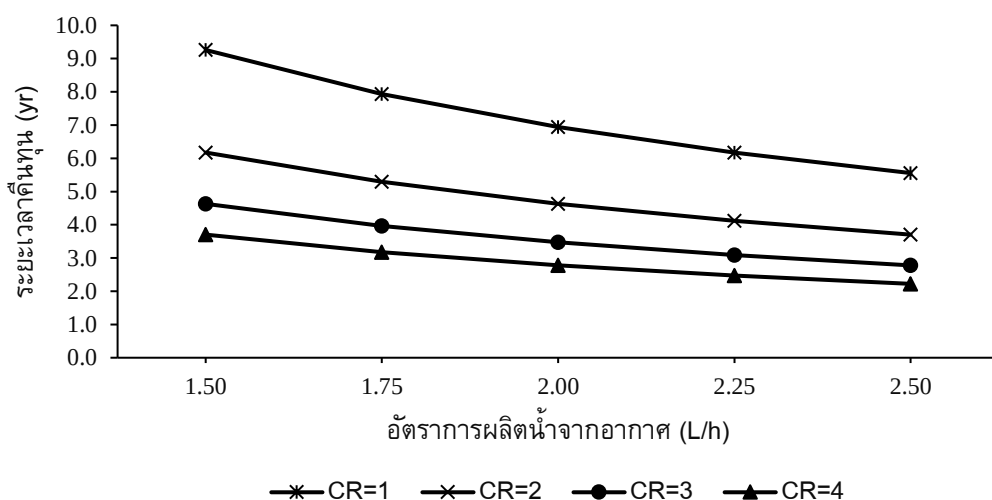
การวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์จะประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการทำงานและระยะเวลาคืนทุน โดยกำหนดให้ตัวแปรที่มีค่าดังต่อไปนี้ ราคากระบบผลิตน้ำจากอากาศ (P) 100,000 baht มูลค่าซาก (s) คิดที่ 10 % ของราคากระบบผลิตน้ำจากอากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10,000 บาท อายุการใช้งาน (y) คิดที่ 10 yr ทำให้ได้ค่าเสื่อมราคา (D) 9,000 baht/yr ค่าดอกเบี้ย (i) คิดที่ 7.5 %/yr ทำให้ได้ค่าดอกเบี้ย 7,500 baht/yr ค่าแรงงาน (L) 340 baht/d คิดจากค่าแรงขั้นต่ำของจังหวัดเชียงใหม่ ใช้ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน ระยะเวลาการทำงานของระบบผลิตน้ำจากอากาศ (h) คิดที่ 12 h/d โดยทำงานในช่วงเวลา 18.00-6.00 น. เนื่องจากให้อัตราการผลิตน้ำจากอากาศและประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูง [17] อัตราค่าไฟฟ้า (e) คิดที่ 4.2 baht/Unit จำนวนวันที่ปฏิบัติงานต่อปี (A) 300 d/yr ค่าอัตราการผลิตน้ำจากอากาศ (w_{GR}) 1.5-2.5 L/h ต่อปี เป็นค่าที่ได้จากการทดสอบระบบผลิตน้ำจากอากาศ เพื่อเป็นการจำลองสถานการณ์การใช้งานของระบบผลิตน้ำจากอากาศจากน้อยไปมาก อัตราราคาค่าน้ำ (CR) 1-4 baht/L ได้มาจากการประมาณของราคาขายน้ำดื่มในพื้นที่ทางไกลและขาดแคลนน้ำ ใช้วิธีเส้นตรงในการคิดค่าเสื่อมราคา ไม่คิดค่าโรงเรือน ค่าภาษี และค่าประกัน คิดค่าใช้จ่ายในปี 2567 เป็นฐานการคำนวณ ซึ่งมีตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวแปรการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ตัวแปรการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	ค่าที่ใช้	หน่วย
ราคากระบบผลิตน้ำจากอากาศ (P)	100,000	baht
มูลค่าซาก (s)	10	%
อายุการใช้งาน (y)	10	yr
ค่าเสื่อมราคา (D)	9,000	baht/yr
ค่าดอกเบี้ย (i)	7.5	%/yr
ค่าแรงงาน (L)	340	baht/d
อัตราค่าไฟฟ้า (e)	4.2	baht/Unit
ค่าซ่อมบำรุง (M)	9.4 (50 % ของ E)	baht/d
ระยะเวลาการทำงานของระบบผลิตน้ำจากอากาศ (h)	12	h/d

อัตราการผลิตน้ำจากอากาศ (WGR)	1.5-2.5	L/h
จำนวนวันที่ปฏิบัติงานต่อปี (A)	300	d/yr
อัตราราคาค่าน้ำ (CR)	1-4	baht/L

ภาพที่ 6 แสดงระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตน้ำจากอากาศเพื่อใช้สำหรับผลิตน้ำดื่มในพื้นที่ห่างไกลและขาดแคลนน้ำ โดยระยะเวลาคืนทุนคืออัตราส่วนของเงินลงทุนต่อผลตอบแทนสุทธิที่ได้รายปี การวิเคราะห์พบว่าการเพิ่มอัตราการผลิตน้ำจากอากาศ และการเพิ่มอัตราราคาค่าน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนลดลง อัตราการผลิตน้ำจากอากาศ 1.5-2.5 L/h และอัตราราคาค่าน้ำอยู่ในช่วง 1-4 baht/L จะให้ระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วง 2.22-9.25 yr การใช้อัตราการผลิตน้ำจากอากาศ 1.5-2.5 L/h เป็นค่าเฉลี่ยที่ใช้เท่ากันตลอดทั้งปีเพื่อประมาณการเท่านั้นซึ่งในสภาพอากาศจริงอัตราการผลิตน้ำจากอากาศจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศตามช่วงวันเวลาและฤดูกาล และการใช้ระบบผลิตน้ำจากอากาศนั้นมีต้นทุนที่สูงกว่าการผลิตน้ำแบบอื่น ๆ ดังนั้นในการใช้งานจริงอาจต้องใช้ในฤดูแล้งหรือใช้ใน พื้นที่ห่างไกลและขาดแคลนน้ำจึงจะเหมาะสมกับการใช้งาน ทำให้ระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตน้ำจากอากาศสั้นลง



ภาพที่ 6 ผลของอัตราการผลิตน้ำจากอากาศและอัตราราคาค่าน้ำที่มีต่อระยะเวลาคืนทุน

5. ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบผลิตน้ำจากอากาศ

การประเมินประสิทธิภาพการทำความเย็นของระบบผลิตน้ำจากอากาศใช้การหาอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของการทำความเย็น โดยหาจากสถานะของระบบผลิตน้ำจากอากาศที่ให้อัตราการผลิตน้ำต่ำสุดและสูงสุดดังตารางที่ 3

อัตราการผลิตน้ำต่ำสุดทำการปรับค่าอุณหภูมิขาเข้า (T_{in}) ที่ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้า (RH_{in}) ที่ 75% ทำให้ได้ค่าอุณหภูมิขาออก (T_{out}) ที่ 16.6 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออก (RH_{out}) ที่ 88.2 % ที่อัตราการไหลอากาศเข้าระบบ (Q) 6 m³/min อุปกรณ์หลักในระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจะประกอบไปด้วย เครื่องอัดไอ พัดลมระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น และพัดลมดูดอากาศเข้าระบบ ซึ่งมีกำลังไฟฟ้ารวม (P) ทั้งหมด 1,458 W ทำให้ได้ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ของระบบผลิตน้ำจากอากาศอยู่ที่ 6.52 BTU/h/W

อัตราการผลิตน้ำสูงสุดทำการปรับค่าอุณหภูมิอากาศเข้าที่ 35 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้าที่ 90% ทำให้ได้ค่าอุณหภูมิอากาศออกจะอยู่ที่ 29.5 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศออกจะอยู่ที่ 93.8 % ที่อัตราการไหลอากาศเข้าระบบ 8 m³/min เนื่องจากพัดลมดูดอากาศเข้าระบบต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นทำให้กำลังไฟฟ้ารวมทั้งหมดเพิ่มขึ้น 1,523 W ทำให้ได้ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของระบบผลิตน้ำจากอากาศอยู่ที่ 9.49 BTU/h/W แต่โดยรวมค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ก็ยังมีค่าที่สูงกว่าที่สภาวะของระบบผลิตน้ำจากอากาศที่ให้อัตราการผลิตน้ำต่ำสุด ถึงแม้ว่าจะต้องพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นและทำงานในสภาวะที่มีความชื้นสูงซึ่งจากงานวิจัยอื่นพบว่าจะทำให้ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานลดลง [18]

ตารางที่ 3 ตารางแสดงอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของระบบผลิตน้ำจากอากาศ

T_{in} (°C)	RH_{in} (%)	T_{out} (°C)	RH_{out} (%)	Δh (kJ/kg)	Q (m ³ /min)	P (W)	EER (BTU/h/W)
25	75	16.6	88.2	23.17	6	1458	6.52
35	90	29.5	93.8	26.4	8	1523	9.49

สรุปผลการวิจัย

1. ผลของการปรับอุณหภูมิมีผลต่อการผลิตน้ำจากอากาศ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศหรืออากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้ระบบผลิตน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิเหมาะสมที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดเกิดขึ้นที่ 35 °C สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 2.03-2.65 L/h
2. ผลของการปรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีผลต่อการผลิตน้ำจากอากาศ การเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหรืออากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะส่งผลให้ระบบผลิตน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสมที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดเกิดขึ้นที่ 90% สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 2.15-2.65 L/h
3. ผลของการปรับอัตราการไหลของอากาศเข้าระบบผลิตน้ำจากอากาศมีผลต่ออัตราการผลิตน้ำจากอากาศ การเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจะส่งผลให้ระบบผลิตน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น อัตราการไหลของอากาศที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดเกิดขึ้นที่ 8 m³/min สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 1.55-2.65 L/h
4. อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.56– 0.95 kWh/L
5. ระยะเวลาคืนทุนของระบบผลิตน้ำจากอากาศอยู่ในช่วง 2.22-9.25 yr
6. ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของระบบผลิตน้ำจากอากาศมีค่าอยู่ที่ 6.52-9.49 BTU/h/W

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้อนุเคราะห์ให้ทุนสนับสนุนงบประมาณการวิจัย รวมไปถึงเครื่องมือ อุปกรณ์และพื้นที่ในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mishra, R. K. (2023). Fresh water availability and its global challenge. British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies, 4(3), 1-78.

- [2] Shafeian, N., Ranjbar, A. A., & Gorji, T. B. (2022). Progress in atmospheric water generation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112325.
- [3] นิกราน หอมดวง, เจนจิรา อุตเรือน, กิตติกร สาสุจิตต์, ชูรัตน์ ธารารักษ์, นงเยาว์ เตชะใหม่, แสนวสันต์ ยอดคำ และ ประพนอม ยิ่งคำมัน. (2564). ปฏิบัติการควบแน่นของน้ำจากอากาศด้วยการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนรวมกับตู้แช่เย็น. วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร
- [4] Alkinani, S. S., El-Amin, M. F., & Brahimi, T. (2022). Numerical modeling and analysis of harvesting atmospheric water using porous materials. *Separations*, 9(11), 364.
- [5] Raveesh, G., Goyal, R., & Tyagi, S. K. (2021). Advances in atmospheric water generation technologies. *Energy Conversion and Management*, 239, 114226.
- [6] Magrini, A., Cattani, L., Cartesegna, M., & Magnani, L. (2015). Integrated systems for air conditioning and production of drinking water—Preliminary considerations. *Energy Procedia*, 75, 1659-1665.
- [7] Patel, J., Patel, K., Mudgal, A., Panchal, H., & Sadasivuni, K. K. (2020). Experimental investigations of atmospheric water extraction device under different climatic conditions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 38, 100677.
- [8] Zolfagharkhani, S., Zamen, M., & Shahmardan, M. M. (2018). Thermodynamic analysis and evaluation of a gas compression refrigeration cycle for fresh water production from atmospheric air. *Energy Conversion and Management*, 170, 97-107.
- [9] Talib, A. J., Khalifa, A. H. N., & Mohammed, A. Q. (2019). Performance study of water harvesting unit working under iraqi conditions. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 27(01), 1950011.
- [10] Salehi, A. A., Ghannadi-Maragheh, M., Torab-Mostaedi, M., Torkaman, R., & Asadollahzadeh, M. (2020). A review on the water-energy nexus for drinking water production from humid air. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109627.
- [11] Ahmad, F. F., Ghenai, C., Al Bardan, M., Bourgon, M., & Shanableh, A. (2022). Performance analysis of atmospheric water generator under hot and humid climate conditions: drinkable water production and system energy consumption. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100270.
- [12] เพ็ญจันทร์ จริจิจิตร. (2552). การวิเคราะห์ต้นทุน-ปริมาณการผลิต-กำไร. วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต. กรุงเทพฯ.
- [13] กันตถณ มะหาหมัด, ปิ่นพงษ์ ยอดสะคุณ และวนิดา เพ็ชรลมูล. (2021). ระบบการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ แบบแยกส่วนโดยการฉีดสเปรย์น้ำที่แผงคอยล์ร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ, 1(1), 10-18.
- [14] Fu, H., Xu, W., Liu, Z., & Yan, K. (2022). Fog droplet collection by corona discharge in a needle–cylinder electrostatic precipitator with a water cooling system. *Separations*, 9(7), 169.
- [15] Bagheri, F. (2018). Performance investigation of atmospheric water harvesting systems. *Water resources and industry*, 20, 23-28.

- [16] Peeters, R., Vanderschaeghe, H., Rongé, J., & Martens, J. A. (2020). Energy performance and climate dependency of technologies for fresh water production from atmospheric water vapour. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 6(8), 2016-2034.
- [17] Homdoun, N., Sasujit, K., Thararux, C. (2022). Development prototype of water agricultural generated system from air with using ground coolant and solar energy final report.
- [18] Sripadej, S. (2021). ความชื้นในห้องพักที่มีห้องน้ำในตัวส่งผลต่อค่าไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ. *Journal of Architecture and Design*, 4(4), 908-919.

ผลของการปรับสัดส่วนการทำความเย็นของчилเลอร์ในระบบเก็บน้ำเย็นต่อการลดการใช้พลังงาน

ของระบบปรับอากาศ: กรณีศึกษาอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่

The Impact of Adjusting Chiller Cooling Ratios in a Chilled Water Storage System on Air Conditioning Energy Consumption Reduction: A Large Commercial Building Case Study

นาง สานคุณ², ธรรณิษฐ์ ดีทยาพิ¹, อรรถกร อาสนคำ¹ และทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์¹

¹ ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

² วิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

Abstract

This study investigates the potential to reduce energy usage of chillers for air conditioning in a large commercial building with maximum cooling load 1550 RT with relatively constant electricity demand during daytime and lower demand at night. It employs 2 units of existing 800 RT chiller systems integrated with a chilled water storage system and adopts a Partial Load Demand Limiting strategy, setting the chiller operation to 25%, 50%, and 75% of daytime requirements. The size of the chilled water storage tank depends on the chiller performance that varies with the designated cooling ratios and the amount of chill to be stored overnight for use during the day. Electrical energy savings calculations reveal that the 75% cooling ratio achieves the highest savings at 20.23% of existing units. Economic analysis indicates that the 75% cooling ratio offers the shortest payback period of 4.59 years with an internal rate of return of 27.12%. Furthermore, sensitivity analysis shows that electricity tariff rates significantly impact the payback period, with higher rates shortening the payback time.

Keywords: Chilled water storage; Chiller; Partial load demand limiting; Economic analysis

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพในการลดการใช้พลังงานของчилเลอร์ในการทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศภายในอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่ที่มีความต้องการสูงสุด 1550 RT ซึ่งมีความต้องการกำลังไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ในตอนกลางวันและมีความต้องการกำลังไฟฟ้าค่อนข้างต่ำในตอนกลางคืน โดยใช้ระบบเก็บสะสมความเย็นในรูปน้ำเย็นทำงานกับчилเลอร์ที่มีอยู่เดิมที่ขนาด 800RT จำนวน 2 ชุด และใช้แนวคิดของการจัดการพลังงานในรูปการกำหนดความต้องการภาระบางส่วน (Partial Load Demand Limiting) โดยกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของчилเลอร์เดิมที่ 25, 50 และ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวัน ขนาดของถังเก็บสะสมความเย็นจะขึ้นกับสมรรถนะของчилเลอร์ที่แปรตามสัดส่วนการทำความเย็นของчилเลอร์และความเย็นที่ต้องสะสมในช่วงกลางคืน เพื่อนำมาใช้ในช่วงกลางวัน จากการคำนวณพบว่าที่สัดส่วน 75% จะทำให้ระบบทำความเย็นประหยัดพลังงานสูงสุดที่ 20.23% ของการใช้ไฟฟ้าระบบเดิม และเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์

ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าที่สัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์ที่ 75% ให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุดที่ 4.59 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุนภายใน 27.12% นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ความไวพบว่าพารามิเตอร์อัตราค่าไฟฟ้าส่งผลต่อระยะเวลาคืนทุนมากที่สุด ถ้าอัตราค่าไฟฟ้าสูงขึ้นจะทำให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลง

คำสำคัญ: ระบบเก็บสะสมความเย็นในรูปน้ำเย็น; ซิลเลอร์; การกำหนดความต้องการภาระบางส่วน; การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

บทนำ

ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคารโดยเฉพาะอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่ส่วนใหญ่เกิดจากความต้องการทำความเย็นเพื่อปรับอากาศภายในอาคาร จึงมีแนวทางในการจัดการพลังงานด้านความต้องการพลังงาน (Demand-sided management) ซึ่งนิยมใช้ระบบเก็บสะสมพลังงานในรูปน้ำเย็น (Chilled water storage tank, CHWS) มาทำงานร่วมกับระบบซิลเลอร์ โดยมีการสะสมความเย็นในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำ (Off-peak period, OFFP) และนำมาใช้ในการทำความเย็น ในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูง (On-peak period, ONP) [1-2] ซึ่งลักษณะการทำงานอาจจำแนกได้ 3 รูปแบบ ได้แก่รูปแบบที่ 1 แบบซิลเลอร์ทำงานเต็มภาระ (Full Load) โดยซิลเลอร์ทำความเย็นสะสมใน CHWS เต็มกำลังที่กำหนด ในช่วง OFFP และความเย็นที่สะสมมาใช้ในการทำความเย็นให้กับภาระในช่วง ONP รูปแบบที่ 2 จะมีการปรับภาระเพียงบางส่วน (Partial Load Leveling) เพื่อช่วยลดภาระในช่วง peak และกระจายภาระทางด้านไฟฟ้าของอาคารไปให้ใกล้เคียงกันตลอดทั้งวัน และรูปแบบที่ 3 การกำหนดความต้องการภาระบางส่วน (Partial Load Demand Limiting) ซึ่งสามารถปรับระดับภาระการทำความเย็นของซิลเลอร์ได้ เช่น 25%, 50% หรือ 75% ในช่วง ONP และระบบเก็บสะสมน้ำเย็นจะจ่ายความเย็นให้เพียงบางส่วนของการทำความเย็น รูปแบบนี้จะช่วยลดขนาดของระบบสะสมพลังงาน เงินลงทุน และพลังงานที่ประหยัดได้ ซึ่งอยู่ตรงกลางระหว่างรูปแบบที่ 1 และ 2

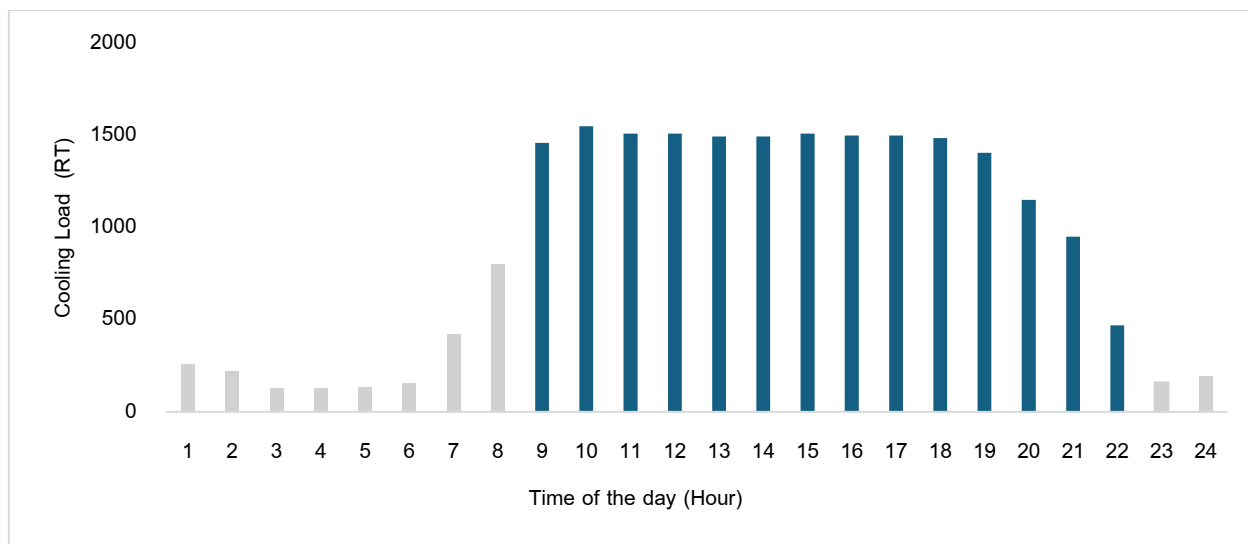
Dincer และคณะ [3] พบว่าวิธี Full storage จะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในกรณีที่มีการใช้ไฟฟ้าในช่วง ONP และอัตราค่าไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าสูงรวมถึงมีภาระสูงสุดในช่วงเวลาสั้นๆ Sebzali และคณะ [4] ศึกษาแบบ CHWS ทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศเทียบกับระบบปรับอากาศแบบทั่วไปในคลินิก สามารถลดภาระสูงสุดได้ 87.5% โดยวิธี Partial Load Leveling จะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ Boonnasa และ Namprakai [5] ศึกษาแบบ CHWS สำหรับอาคารในมหาวิทยาลัยพบว่าการทำงานซิลเลอร์สองยูนิต ยูนิตละ 450 RT คงที่ 24 ชั่วโมงร่วมกับระบบเก็บสะสมน้ำเย็น เป็นวิธีที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด 35.7% เมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศที่ไม่ใช้ CHWS โดยมีระยะเวลาคืนทุน 10 ปี และ IRR 21% Rahman และคณะ [6] ศึกษาแบบ CHWS ทั้ง 3 รูปแบบได้แก่ full, partial load leveling และ demand-limiting ในออสเตรเลีย พบว่าสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ 61.19%, 33.94% และ 50.26% ตามลำดับ เทียบกับระบบปรับอากาศเดิม Comodi และคณะ [7] ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบ CHWS กับอาคารพาณิชย์ในประเทศสิงคโปร์ที่มีการใช้อัตราค่าไฟฟ้าในช่วง ONP และ OFFP ซึ่งพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ อีกทั้งยังมีระยะเวลาคืนทุนต่ำสุดที่ 8.9 ปี, Alhikami และคณะ [8] ศึกษาการใช้ระบบ CHWS ในโรงพยาบาล โดยศึกษาทั้งหมด 6 รูปแบบได้แก่ full, partial load leveling และ demand-limiting ที่ 30%, 50%, 70%, และ 90% พบว่าในกรณีที่ลงทุนสร้างระบบทำความเย็นใหม่ รูปแบบ partial load leveling จะเหมาะสมที่สุด สามารถลดการใช้พลังงานได้ปีละ 10.5% หากเป็นการปรับปรุงจากระบบทำความเย็นเดิม รูปแบบ demand-limiting ที่ 30% จะเหมาะสมที่สุด สามารถลดการใช้พลังงานได้ปีละ 13% เมื่อเทียบกับระบบเดิม

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าระบบเก็บสะสมพลังงานในรูปแบบน้ำเย็นที่ทำงานร่วมกับซิลเลอร์ไม่ว่าจะเป็นวิธี full, partial load leveling และ demand-limiting สามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ ซึ่งต้องพิจารณาในเรื่องของภาระการทำความเย็นของอาคารอัตราค่าไฟฟ้าในช่วง ONP และ OFFP รวมถึงภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่อีกด้วย งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษา ระบบ CHWS โดยเลือกใช้แนวคิดของการจัดการพลังงานในการกำหนดความต้องการภาระบางส่วน (Partial Load Demand Limiting) โดยกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 25, 50 และ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวัน เพื่อให้สามารถใช้กับระบบซิลเลอร์ที่มีอยู่เดิม ลงทุนเพิ่มเฉพาะระบบ CHWS เท่านั้น โดยจะทำการศึกษาการใช้พลังงานเปรียบเทียบกับระบบซิลเลอร์เดิม ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ที่เป็นอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่ รวมถึงการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในรูปแบบระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุด

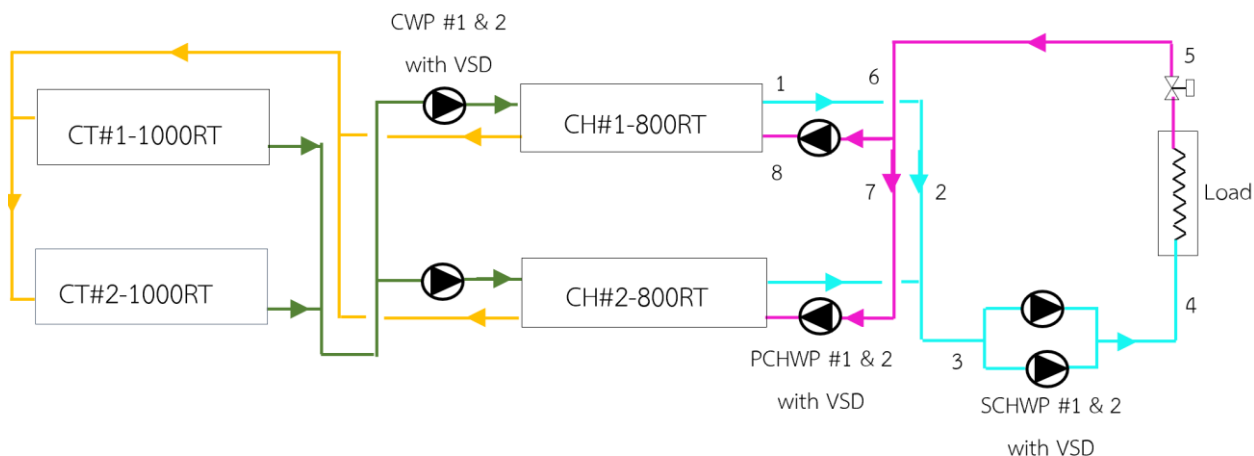
กรณีศึกษา

อาคารพาณิชย์ที่ทำการศึกษามีพื้นที่ที่ต้องมีการปรับอากาศ 28,000 m² อุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ในช่วง 34°C ถึง 40°C ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Tropical area) โดยมีภาระการทำความเย็นจากการเก็บข้อมูลจริงดังภาพที่ 1 ซึ่งพบว่าช่วงที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดจะอยู่ในช่วงกลางวันและจะมีภาระการทำความเย็นเพียงเล็กน้อยสำหรับการแช่เย็นอาหารและร้านขายของชำขนาดเล็กที่ยังเปิดบริการ ระบบการทำความเย็นด้วยซิลเลอร์สำหรับอาคารดังกล่าวจะแสดงในภาพที่ 2 โดยมีการใช้ซิลเลอร์ขนาด 800 RT [9] ทำงานต่อเนื่องเพื่อทำน้ำเย็นตามภาระการทำความเย็นที่ต้องการของอาคาร และในช่วงกลางคืนซิลเลอร์จะมีการทำงานเพียง 20-30% ของความสามารถสูงสุดซิลเลอร์ซึ่งส่งผลต่อสมรรถนะของระบบ จึงเป็นเหตุผลในการศึกษา CHWS ที่เหมาะสมสำหรับอาคารแห่งนี้

ซิลเลอร์ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นแบบ centrifugal ที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยมีหอยโข่งเย็น 2 ชุด ชุดละ 1000 RT [10], ปั๊มน้ำเย็น (CWP) 2 ชุด ชุดละ 45 kW ในการหมุนเวียนน้ำระหว่างซิลเลอร์และหอยโข่งเย็น, ปั๊มน้ำปฐมภูมิ (PCHWP) 2 ชุด ชุดละ 30 kW และปั๊มน้ำทุติยภูมิ (SCHWP) 2 ชุด ชุดละ 40 kW ในการหมุนเวียนน้ำเย็นระหว่างซิลเลอร์และคอยล์เย็น (เส้น 1-4 และ 5-8)



ภาพที่ 1 ภาระทางความร้อนของอาคารพาณิชย์



ภาพที่ 2 แผนผังระบบการทำความเย็นของระบบเดิม

ระบบที่ทำการศึกษา

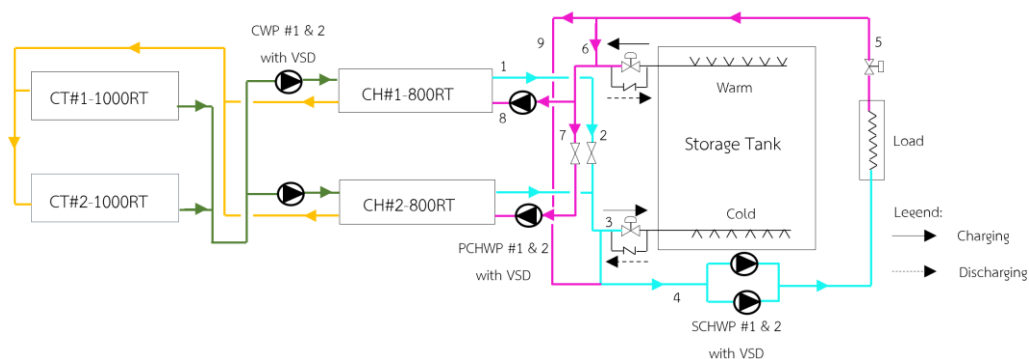
ในการศึกษานี้ต้องการภาระบางส่วน (Partial Load Demand Limiting) โดยกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 25, 50 และ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวัน ขนาดของถังเก็บสะสมความเย็นจะขึ้นกับสมรรถนะของซิลเลอร์ที่แปรตามสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์และความเย็นที่ต้องสะสมในช่วงกลางคืน เพื่อนำมาใช้ในช่วงกลางวันโดยมีแผนผังดังภาพที่ 3

กระบวนการทำน้ำเย็นของระบบกักเก็บน้ำเย็น

น้ำเย็นที่อุณหภูมิเฉลี่ย 5.6°C จากซิลเลอร์ไหลไป 2 ทิศทาง ส่วนที่หนึ่ง (เส้น 2-4) ไปยังคอยล์เย็นของอาคารเมื่อมีต้องการการทำความเย็น อีกส่วนนั้นจะไปถึงน้ำเย็น (เส้น 2-3) เพื่อเก็บสะสมไว้ น้ำหลังจากผ่านคอยล์เย็นที่อุณหภูมิเฉลี่ย 12.6°C (เส้นที่ 5) และน้ำที่อุณหภูมิสูงในส่วนบนของถังน้ำเย็นจะไหลกลับไปที่ซิลเลอร์เพื่อลดอุณหภูมิอีกครั้งหนึ่ง อย่างไรก็ตามหากน้ำที่ผ่านคอยล์เย็นยังมีอุณหภูมิต่ำจะถูกหมุนเวียนกลับมาที่คอยล์อีกครั้งด้วยบายพาส (เส้น 9-2-3-4)

กระบวนการใช้น้ำเย็นของระบบกักเก็บน้ำเย็น

การป้อนน้ำเย็นแก่คอยล์เย็นเพื่อลดภาระการทำความเย็นภายในอาคารสำหรับกรณี Partial Load Demand Limiting จะดึงน้ำเย็นจากถังเก็บและจากซิลเลอร์พร้อมกันโดยในการศึกษานี้จะกำหนดให้มีการดึงน้ำเย็นจากซิลเลอร์ที่ 25, 50 และ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวัน



ภาพที่ 3 แผนผังระบบการทำความเย็นในรูปการกำหนดความต้องการภาระบางส่วน (Partial Load Demand Limiting)

ขนาดถังเก็บน้ำเย็น

ขนาดถังน้ำเย็นสามารถประเมินได้จากปริมาณน้ำเย็นที่ต้องใช้ในช่วงกลางวันขึ้นกับผลต่างระหว่างปริมาณน้ำเย็นที่ผลิตได้จากซิลเลอร์และภาระการทำความเย็นที่อาคารต้องการในแต่ละชั่วโมง สามารถคำนวณได้จาก [11]

$$V(\text{theory}) = \frac{3600 \times \text{Daily Storage Capacity (kWh)}}{\rho \times C_{pw} \times (T_{CHWR} - T_{CHWS}) \times FOM} \quad (1)$$

V คือขนาดถังน้ำเย็น (m^3), ρ คือความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3), C_{pw} คือความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ($\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$), T_{CHWS} และ T_{CHWR} ผลต่างอุณหภูมิน้ำขาเข้าและออกถังน้ำเย็น ($^\circ\text{C}$) ในการศึกษากำหนดให้มีค่าเท่ากับ 7°C , FOM ตัวแปรไร้มิติ ในการศึกษาใช้ค่าเท่ากับ 0.9

ปั๊มน้ำเย็น

1. ปั๊มน้ำเย็นปฐมภูมิ

ปั๊มน้ำเย็นปฐมภูมิใช้ในการหมุนเวียนน้ำระหว่างซิลเลอร์และถังเก็บน้ำเย็น อัตราการไหลของปั๊มสามารถคำนวณได้ดังสมการ [11]

$$\dot{m}_{PCHWP} = \frac{RT_{chiller} \times 3.517}{C_{pw} \times (T_{CHWR} - T_{CHWS})} \quad (2)$$

กำลังไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับปั๊มน้ำดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการ (3) ในการศึกษาที่กำหนดให้ความสูง (operating head), ประสิทธิภาพปั๊มและมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 20 เมตร, 85%, and 95%, ตามลำดับ [11]

$$P_{pump} = \frac{(\dot{m}_{PCHWP})(g)(h)}{10^3 (\eta_p)(\eta_m)} \quad (3)$$

เมื่อ $RT_{chiller}$ คือขนาดของซิลเลอร์, $\dot{m}_{PCHWP}$ อัตราการไหล (kg/s), g ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2), h ความสูง (m), η_p ประสิทธิภาพปั๊ม, η_m ประสิทธิภาพมอเตอร์ ซึ่งกำลังของปั๊มเมื่อมีภาระการทำความเย็นแค่บางส่วน [9] สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P_{pump@part\ load\ (kW)} = P_{pump\ @\ full\ load} \times PPR \quad (4)$$

เมื่อ PPR คือ pump power ratio: $PPR = ax + bx^2 + cx^3$, x คือ part load ratio ของซิลเลอร์ a, b และ c คือค่าคงที่: $a=0.0205$, $b=0.4101$, $c=0.5753$.

2. ปั๊มน้ำเย็นทุติยภูมิ

ปั๊มน้ำเย็นทุติยภูมิใช้ในการหมุนเวียนน้ำระหว่างถังเก็บน้ำเย็นและคอยล์เย็น อัตราการไหลของปั๊มน้ำขึ้นกับภาระการทำความเย็นของอาคารสามารถคำนวณได้ดังสมการ (5) ในการศึกษาที่กำหนดให้ความสูง (operating head),

ประสิทธิภาพปั๊มและมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 28 เมตร, 85%, and 95%, ตามลำดับ และกำลังไฟฟ้าของปั๊มสามารถคำนวณจากสมการ (3,4) [11]

$$\dot{m}_{SCHWP} = \frac{RT_{load} \times 3.517}{C_{pw} (T_{CHWR} - T_{CHWS})} \quad (5)$$

3. ปั๊มน้ำหล่อเย็น

ปั๊มน้ำหล่อเย็นใช้ในการหมุนเวียนน้ำระหว่างหอผึ่งเย็นและคอนเดนเซอร์ของซิลเลอร์ ผลต่างอุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าและขาออกหอผึ่งเย็น ($T_{CWR} - T_{CWS}$) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 5.5 °C กำหนดให้ความสูง (operating head), ประสิทธิภาพปั๊มและมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 25 เมตร, 85%, and 95%, ตามลำดับและกำลังไฟฟ้าของปั๊มสามารถคำนวณจากสมการ (3,4) [11]

$$\dot{m}_{CWP} = \frac{RT_{CT_required} \times 3.517}{C_{pw} (T_{CWR} - T_{CWS})} \quad (6)$$

ผลการศึกษา

1. การระการทำความเย็นของซิลเลอร์ในกรณีต้องการภาระบางส่วน

การระการทำความเย็นในแต่ละชั่วโมงของซิลเลอร์ระบบเดิมและการทำความเย็นของซิลเลอร์ในกรณีต้องการภาระบางส่วนโดยกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 25, 50 และ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวัน แสดงดังภาพที่ 4

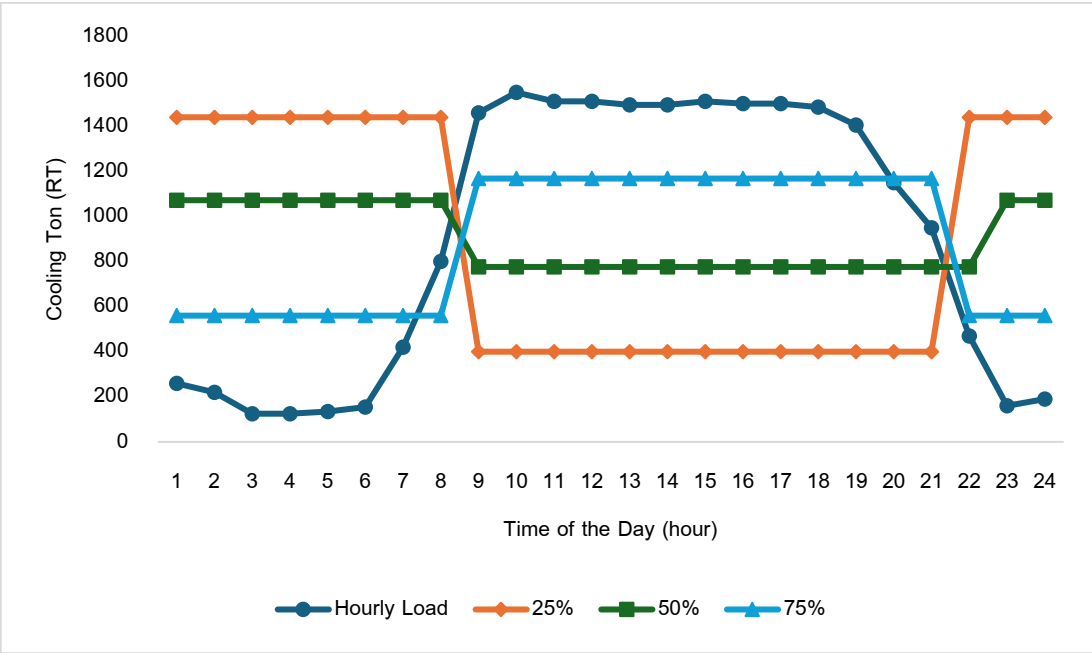
ในกรณีกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 25% ของความต้องการในช่วงกลางวัน, ซิลเลอร์ขนาด 800 RT 2 ยูนิตจะทำงานที่ 80% ของความสามารถสูงสุดในช่วง off-peak (10:00 p.m. ถึง 9:00 a.m. ในวันถัดมา) และซิลเลอร์ 1 ยูนิตจะทำงานที่ 50% ในช่วงเวลา on-peak (9:00 a.m. ถึง 10:00 p.m.) ขนาดถังเก็บน้ำเย็นที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 12,780 RTh ซึ่งเพียงพอสำหรับการทำความเย็นช่วยซิลเลอร์ทั้งสองยูนิตในช่วงเวลา on-peak และ off-peak

กรณีกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 50% ของความต้องการในช่วงกลางวัน, ซิลเลอร์ขนาด 800 RT 2 ยูนิตจะทำงานที่ 67% ของความสามารถสูงสุดในช่วง off-peak (10:00 p.m. ถึง 9:00 a.m. ในวันถัดมา) และซิลเลอร์ 1 ยูนิตจะทำงานที่ 97% ในช่วงเวลา on-peak (9:00 a.m. ถึง 10:00 p.m.) ขนาดถังเก็บน้ำเย็นที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 8,436 RTh ซึ่งเพียงพอสำหรับการทำความเย็นช่วยซิลเลอร์ทั้งสองยูนิตในช่วงเวลา on-peak และ off-peak โดยถังน้ำจะมีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับกรณีกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 25% ของความต้องการในช่วงกลางวัน

กรณีกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวัน, ซิลเลอร์ขนาด 800 RT เพียง 1 ยูนิตจะทำงานที่ 70% ของความสามารถสูงสุดในช่วง off-peak (10:00 p.m. ถึง 9:00 a.m. ในวันถัดมา) และซิลเลอร์ 2 ยูนิตจะทำงานที่ 73% ในช่วงเวลา on-peak (9:00 a.m. ถึง 10:00 p.m.) ขนาดถังเก็บน้ำเย็นที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 3,576 RTh ซึ่งเพียงพอสำหรับการทำความเย็นช่วยซิลเลอร์ทั้งสองยูนิตในช่วงเวลา on-peak และ off-peak

โดยถึงน้ำจะมีขนาดเล็กที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 25 และ 50% ของความต้องการในช่วงกลางวัน

โดยตารางที่ 2 แสดงภาระการทำความเย็นของซิลเลอร์, การทำน้ำเย็นเก็บไว้ในถัง และการดึงน้ำเย็นจากถังมาใช้ในช่วง on-peak และ off-peak ในกรณีต่างๆ เทียบกับระบบเดิม

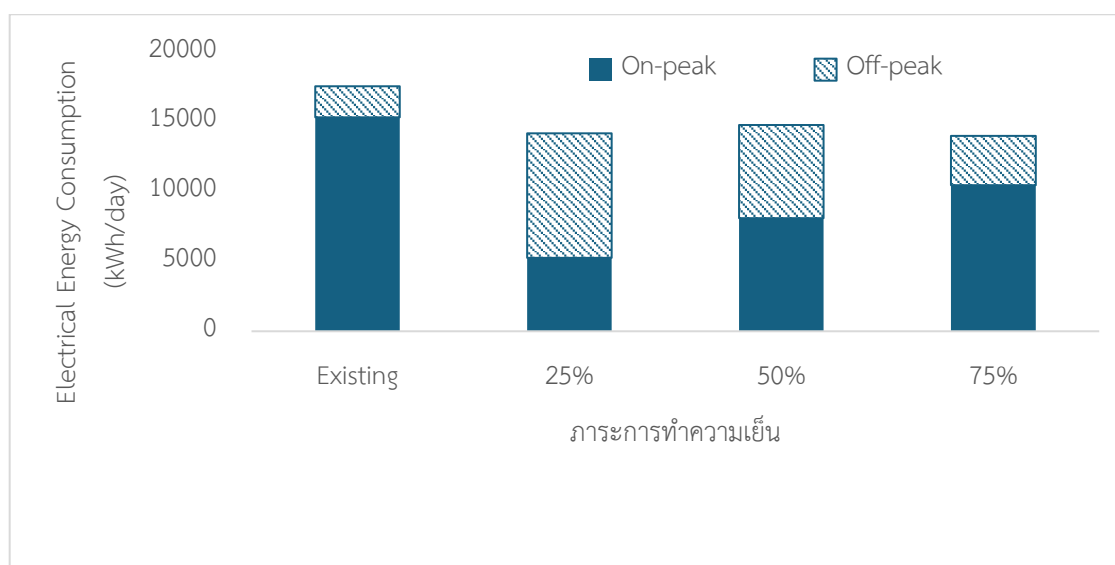


ภาพที่ 4 ภาระการทำความเย็นในแต่ละชั่วโมงของซิลเลอร์ระบบเดิมและภาระการทำความเย็นของซิลเลอร์ในกรณีต้องการภาระบางส่วนที่สัดส่วนต่างๆ

ตารางที่ 1 สมดุลภาระการทำความเย็นในแต่ละชั่วโมงของซิลเลอร์ในกรณีต้องการภาระบางส่วนที่สัดส่วนต่างๆ

Time (Hour)	Load (Ton)	Utility Period (Hour)	Partial Storage Demand Limiting																	
			25%						50%						75%					
			Chillers in		Storage		Storage		Chillers in		Storage		Storage		Chillers in		Storage		Storage	
			Operation	25%	Charging	Discharge	Operation	50%	Charging	Discharge	Operation	75%	Charging	Discharge	Operation	75%	Charging	Discharge		
			(Ton-hour)		(Ton-hour)	(Ton-hour)	(Ton-hour)			(Ton-hour)	(Ton-hour)	(Ton-hour)			(Ton-hour)	(Ton-hour)	(Ton-hour)	(Ton-hour)		
1	260	Off-Peak	2 x 720	1440	1180			2 x 536	1072	812			1 x 560	560		300				
2	220	Off-Peak	2 x 720	1440	1220			2 x 536	1072	852			1 x 560	560		340				
3	125	Off-Peak	2 x 720	1440	1315			2 x 536	1072	947			1 x 560	560		435				
4	125	Off-Peak	2 x 720	1440	1315			2 x 536	1072	947			1 x 560	560		435				
5	135	Off-Peak	2 x 720	1440	1305			2 x 536	1072	937			1 x 560	560		425				
6	155	Off-Peak	2 x 720	1440	1285			2 x 536	1072	917			1 x 560	560		405				
7	420	Off-Peak	2 x 720	1440	1020			2 x 536	1072	652			1 x 560	560		140				
8	800	Off-Peak	2 x 720	1440	640			2 x 536	1072	272			1 x 560	560			240			
9	1460	On-Peak	1 x 400	400		1060	1 x 776	776			684	2 x 584	1168				292			
10	1550	On-Peak	1 x 400	400		1150	1 x 776	776			774	2 x 584	1168				382			
11	1510	On-Peak	1 x 400	400		1110	1 x 776	776			734	2 x 584	1168				342			
12	1510	On-Peak	1 x 400	400		1110	1 x 776	776			734	2 x 584	1168				342			
13	1495	On-Peak	1 x 400	400		1095	1 x 776	776			719	2 x 584	1168				327			
14	1495	On-Peak	1 x 400	400		1095	1 x 776	776			719	2 x 584	1168				327			
15	1510	On-Peak	1 x 400	400		1110	1 x 776	776			734	2 x 584	1168				342			
16	1500	On-Peak	1 x 400	400		1100	1 x 776	776			724	2 x 584	1168				332			
17	1500	On-Peak	1 x 400	400		1100	1 x 776	776			724	2 x 584	1168				332			
18	1485	On-Peak	1 x 400	400		1085	1 x 776	776			709	2 x 584	1168				317			
19	1400	On-Peak	1 x 400	400		1000	1 x 776	776			624	2 x 584	1168				232			
20	1150	On-Peak	1 x 400	400		750	1 x 776	776			374	2 x 584	1168		18					
21	950	On-Peak	1 x 400	400		550	1 x 776	776			174	2 x 584	1168		218					
22	470	On-Peak	2 x 720	1440	970		1 x 776	776	306			1 x 560	560	90						
23	160	Off-Peak	2 x 720	1440	1280		2 x 536	1072	912			1 x 560	560	400						
24	190	Off-Peak	2 x 720	1440	1250		2 x 536	1072	882			1 x 560	560	370						
Total	21575				12780		12765		8436		8427		3576		3567					
			15						9						9					

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในหนึ่งวันของระบบในกรณีต้องการภาระบางส่วนที่สัดส่วนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 5 พบว่าในกรณีกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวันจะมีการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดที่ 14,004 kWh/day สามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 20.23% เมื่อเทียบกับระบบซิลเลอร์เดิมที่ 17,556 kWh/day เนื่องจากกรณีกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวัน, ซิลเลอร์ขนาด 800 RT ทำงานที่ 70-73% ของความสามารถสูงสุดซึ่งเป็นช่วงที่ซิลเลอร์จะมีสมรรถนะสูงสุดมีการใช้ไฟฟ้าต่ำสุด ส่วนระบบซิลเลอร์เดิมจะทำงานในช่วงกลางคืนที่ 15-30% ของความสามารถสูงสุด ส่งผลให้มีการใช้ไฟฟ้าที่สูงกว่า



ภาพที่ 5 การใช้ไฟฟ้าในหนึ่งวันของระบบซิลเลอร์เดิมและซิลเลอร์ในกรณีต้องการภาระบางส่วนที่สัดส่วนต่างๆ

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของการศึกษานี้จะประกอบด้วยค่าใช้จ่ายด้านการลงทุนในถังน้ำเย็น ค่าไฟฟ้าในช่วง on-peak และ off-peak, ค่าบำรุงรักษาและมูลค่าซาก โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

รายละเอียด	ปริมาณ	หน่วย
Electrical Tariff Rate [12]		
Energy: On peak	0.12	US\$/kWh
Energy: Off Peak	0.074	US\$/kWh
Capital cost		
Tank cost	122	US\$/RT-h
Maintenance cost [13]	6.6	US\$/RT/y
(2% increase/y)		
Lifetime	20	years
Discount rate [14]	2	%
Salvage value	15	% of total capital cost

ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์จะทำการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้นและอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนทั้งหมด (US\$)}}{\text{ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (US\$ / year)}} \quad (11)$$

อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{\sum_{n=1}^N \frac{R_n - C_n}{(1 + IRR)^n} - (TIC - SV)}{= 0} \quad (12)$$

เมื่อ R_n คือค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ของระบบในปีที่ n , C_n ค่าใช้จ่ายด้านบำรุงรักษารายปีในปีที่ n , TIC เงินลงทุนทั้งหมดที่ปัจจุบันและ SV คือมูลค่าซาก โดยมีผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายละเอียดผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

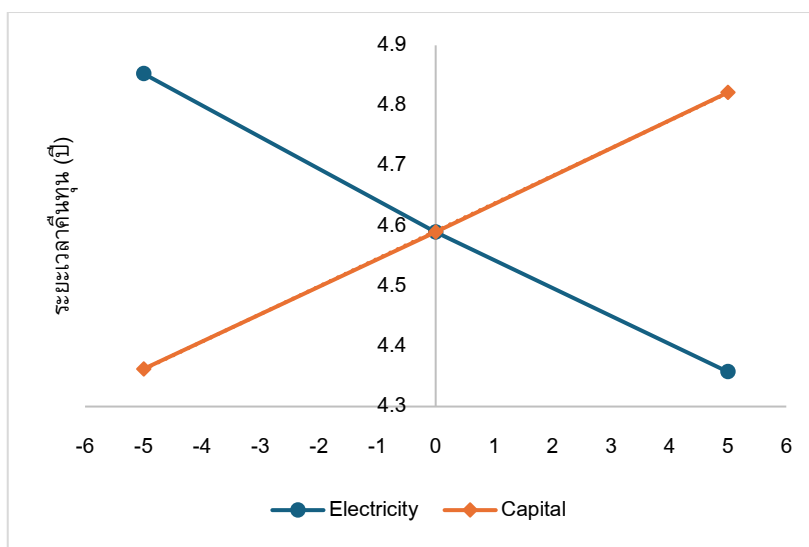
Descriptions	Scenarios		
	25% Demand Limiting	50% Demand Limiting	75% Demand Limiting
Chiller capacity (RT)	2x800 @ 90%	2x800 @ 67%	1x800 @ 70% (off-peak)
	1x800 @ 50%	1x800 @ 97%	2x800 @ 73% (On-peak)
Storage tank (m ³)	6,140	4,052	1,718
Chiller (US\$)	-	-	-
Tank cost (US\$)	1,431,360	1,096,680	643,680
Cooling Tower (US\$)	-	-	-
Total capital cost (US\$)	1,431,360	1,096,680	643,680
Annual maintenance cost (US\$/y)	10,560	10,560	10,560
Annual benefit (US\$/y)	204,954	156,187	150,734
Total profit (US\$/y)	194,394	145,627	140,174
Payback period (y)	7.36	7.53	4.59
IRR (%)	14.39%	13.90%	27.12%

จากตารางที่ 3 ถึงแม้ว่ากรณีกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 25% ของความต้องการในช่วงกลางวันจะมีค่าไฟฟ้าถูกที่สุดเนื่องจากการใช้ไฟฟ้าในช่วง off-peak สูงกว่าทุกสัดส่วน แต่เนื่องจากต้องมีการลงทุนในถังเก็บน้ำเย็นสูงสุดทำให้มีระยะเวลาคืนทุนที่ 7.36 ปี มี IRR เท่ากับ 14.39% และกรณีสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 50% ของความต้องการในช่วงกลางวัน จะมีระยะเวลาคืนทุนและ IRR สูงสุด ที่ 7.53 ปี และ 13.90% ตามลำดับ แต่ในทางกลับกันในการณีสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวัน ถึงแม้จะสามารถลดค่าไฟฟ้าได้น้อยสุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ แต่มีการลงทุนในถังเก็บน้ำเย็นต่ำทำให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุดที่ 4.59 ปี

และ IRR สูงสุดที่ 27.12% โดยเทคนิคข้างต้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่มีภาระการทำความเย็นที่ใช้น้ำเย็นสูงในช่วงเวลากลางวันและมีการใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ ONP และ OFFP

การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความไวคือกระบวนการในการตรวจสอบว่าพารามิเตอร์ใดมีผลต่อระยะเวลาคืนทุนมากที่สุด ซึ่งตัวที่มีผลมากที่สุดจะต้องถูกนำมาพิจารณาเป็นพิเศษ ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกพิจารณาพารามิเตอร์อัตราค่าไฟฟ้า และเงินลงทุนเบื้องต้นที่เปลี่ยนแปลงไป $\pm 5\%$ มาใช้กับกรณีสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวันดังภาพที่ 6 ซึ่งพบว่าอัตราค่าไฟฟ้ามีผลต่อระยะเวลาคืนทุนมากกว่าเงินลงทุนเบื้องต้น หากอัตราค่าไฟฟ้าสูงขึ้นระยะเวลาคืนทุนจะยิ่งสั้นลง



ภาพที่ 6 การวิเคราะห์ความไวของระยะเวลาคืนทุนเมื่ออัตราค่าไฟฟ้า และเงินลงทุนเบื้องต้นที่เปลี่ยนแปลงไป $\pm 5\%$

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพในการลดการใช้พลังงานของซิลเลอร์ในการทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศภายในอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่ซึ่งมีความต้องการกำลังไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ในตอนกลางวันและมีความต้องการกำลังไฟฟ้าค่อนข้างต่ำในตอนกลางคืน โดยใช้ระบบเก็บสะสมความเย็นในรูปน้ำเย็นทำงานกับซิลเลอร์ที่มีอยู่เดิม และใช้แนวคิดของการจัดการพลังงานในรูปการกำหนดความต้องการภาระบางส่วน (Partial Load Demand Limiting) โดยกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 25, 50 และ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวัน โดยมีผลการศึกษาดังนี้

- เมื่อเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของวิธีการกำหนดความต้องการภาระบางส่วนกับซิลเลอร์ระบบเดิมที่มีการใช้ไฟฟ้า 17.56 MWh/วัน พบว่า วิธีการกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 25, 50 และ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวันสามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ โดยที่สัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวันมีการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดที่ 14 MWh/day ลดการใช้ไฟฟ้าได้ 20.23% ของการใช้ไฟฟ้าระบบเดิม

- ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ ถึงแม้ว่าวิธีการกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 25 และ 50% จะมีค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าต่ำ แต่ต้องมีการลงทุนสูง ทำให้มีระยะเวลาคืนทุนที่ยาวและ IRR ต่ำ ในทางตรงกันข้ามที่สัดส่วนการทำความเย็นของซิลเลอร์เดิมที่ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวันจะมีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุดที่ระยะเวลาคืนทุน 4.59 ปี และ IRR=27.12%
 - ในการวิเคราะห์ความไว อัตราค่าไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาคืนทุนของโครงการมากกว่าเงินลงทุนเบื้องต้น เมื่ออัตราค่าไฟฟ้าสูงขึ้นจะทำให้ระยะเวลาคืนทุนของโครงการเร็วขึ้น
- อย่างไรก็ตามการใช้ระบบ CHWS ที่ใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง การกักเก็บพลังงานจะอยู่ในรูปของความร้อนสัมผัสซึ่งทำให้ขนาดของถังเก็บมีขนาดใหญ่และส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่สูง การลดขนาดถังเก็บความเย็น สามารถใช้วัสดุเปลี่ยนสถานะ (Phase Change Materials, PCMs) ซึ่งการกักเก็บพลังงานจะอยู่ในรูปของความร้อนแฝงมาใช้ร่วมกับน้ำสามารถลดขนาดถังเก็บลงได้ ในงานวิจัยในอนาคตสามารถศึกษาในรูปแบบ ลักษณะสัดส่วน รวมไปถึงตำแหน่งการจัดวางของ PCM ที่เหมาะสมกับขนาดถังเก็บและระบบ CHWS ต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทุนอธิการบดีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่สนับสนุนงบประมาณ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Lin, X.H. Li, P.S. Cheng, et al., Thermo-economic evaluation of air conditioning system with chilled water storage, Energy Convers. Manage. 85 (2014) 328–332.
- [2] M.W. Muhieldeen, Y.C. Kuang, Saving energy costs by combining air-conditioning and air-circulation using CFD to achieve thermal comfort in the building, J. Adv. Res. Fluid Mech. Thermal Sci. 58 (2019) 84–99.
- [3] Dincer I. On thermal energy storage systems and applications in buildings. Energy Build. 2002;34:377-388.
- [4] Sebzali MJ, Ameer B, Hussain HJ. Comparison of energy performance and economics of chilled water thermal storage and conventional air-conditioning systems. Energy Build. (2014) ;69:237–50.
- [5] Boonnasa S, Namprakai P. The chilled water storage analysis for a university building cooling system. Appl Therm Eng. 2010 Aug;30(11–12):1396–408.
- [6] Rahman MM, Rasul MG, Khan MMK. Feasibility of thermal energy storage systems in an institutional building in subtropical climates in Australia. Appl Therm Eng. 2011 Oct;31(14–15):2943–50.
- [7] Comodi, G., Carducci, F., Nagarajan, B., & Romagnoli, A. Application of cold thermal energy storage (CTES) for building demand management in hot climates. Applied Thermal Engineering, 2016, 103,

1186–1195.

- [8] Alhikami, A.F., Gusuma, E.D., Fiqi Firmansah, M., Nugroho, R.A.J., Sepriyatno, R. Cold thermal energy storage (CTES) study in a hospital building. *Jurnal Teknologi Terapan*, 2024, 8 (1), 165-173.
- [9] Trane. Product Catalogue. CenTraVac™ Water-cooled Liquid Chillers [Internet]. Trane; [Updated 2020 March; cited 2024 May 15]. Available form: https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/global/products-systems/equipment/chillers/water-cooled/centrifugal-liquid/CTV-PRC007R-EN_03142020.pdf
- [10] Climaveneta. Water-cooled Chillers. Technical Data [Internet]. [cited 2024 May 16]. Available form: <http://www.climaveneta.com.cn/en/class/view?id=251>
- [11] Dorgan CE., Elleson JS. Design guide for cool thermal storage. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; 1993.
- [12] Metropolitan Electricity Authority. TOU Tariff 4.2.3. Thailand.
- [13] Shaibani AR, Keshtkar MM, Talebizadeh Sardari P. Thermo-economic analysis of a cold storage system in full and partial modes with two different scenarios: A case study. *J Energy Storage*. 2019 Aug 1;24.
- [14] Boris Sullivan. Thailand Business News [Internet]. [Updated Jan 8, 2024; cited 2024 May 13]. Available form: <https://www.thailand-business-news.com/banking/120989-thai-inflation-rate-decreased-by-0-83-in-december-surpassing-forecasted-value>

การศึกษาผลของการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร จากการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหลือทิ้ง

Study the Effects of Magnet Pole Arrangement in a Permanent Magnet Generator Applied from Discarded Motors

ฮุสเซน บัวแน อีลียะ สนิโซ ลุตฟี สือนิ และ มุฮัมมัดคอยรี หะยิบากา*

Hussen Buenae, Eleeyah Saniso, Lutfee Sueni and Muhammadkhoiri Hayibaka*

สาขาวิชาพลังงานทดแทน คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ยะลา 95000
Renewable Energy Technology Program, Faculty of Science Technology and Agriculture,
Yala Rajabhat University, Yala 90000

Corresponding author: Tel.: 0862968790. E-mail address: muhammadkhoiri.h@yru.ac.th

Abstract

This research aims to repurpose discarded motors from water pumps as permanent magnet generators and to study the effects of magnetic pole arrangements on power generation performance. A centrifugal pump motor model ORONO KO-101 was used in the experiment. Four different magnet arrangements were designed: NS NS, NN NN, N NS N, and the original unmodified configuration. Each setup used four magnets measuring 50 mm x 25 mm x 10 mm, with each magnet having a magnetic field strength of 0.65 T. The components were assembled with copper windings, and the generator's performance was tested by varying the rotational speed from 100 to 600 RPM while measuring the electromotive force (EMF), electric current, and power output. The results showed that the NS NS magnetic pole arrangement produced the highest electrical power. At a rotational speed of 600 RPM without a load, the EMF was recorded at 34.01 V. Under load conditions, the measured EMF, current, and power output were 12.54 V, 0.92 A, and 11.54 W, respectively. This study highlights the importance of appropriate magnet pole arrangement design, which influences the effective distribution of the magnetic field, thereby improving the power generation performance of repurposed motors. Additionally, it promotes the efficient utilization of available community resources.

Keywords: Generator, Permanent magnet, Discarded Motors

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำมอเตอร์เหลือทิ้งจากปั๊มน้ำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร และเพื่อศึกษาผลของการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กต่อสมรรถนะในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยใช้มอเตอร์จากปั๊มน้ำหอยโข่งรุ่น ORONO KO-101 ในการทดลองทำการออกแบบการวางแม่เหล็ก 4 รูปแบบ ได้แก่ NS NS, NN NN, N NS N และการจัดเรียงแม่เหล็กแบบดั้งเดิมที่ยังไม่ได้ปรับปรุง แต่ละชุดใช้แม่เหล็กขนาด 50 mm x 25 mm x 10 mm จำนวน 4 อัน ซึ่งแต่ละอันมีความเข้มสนามแม่เหล็กเท่ากับ 0.65 T ทำการประกอบชิ้นส่วนเข้ากับขดลวดทองแดงและทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการปรับความเร็วรอบการหมุนตั้งแต่ 100 - 600 RPM พร้อมวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่าการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กแบบ NS NS สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด โดยจากการทดสอบที่ความเร็วรอบ 600 RPM ขณะไม่ต่อโหลดให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 34.01 V และจากการทดสอบขณะต่อโหลดให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เท่ากับ 12.54 V 0.92 A และ 11.54 W ตามลำดับ และงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบและการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กที่เหมาะสม ซึ่งมีผลต่อการกระจายของสนามแม่เหล็กอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เพิ่มสมรรถนะในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์เหลือทิ้งและส่งเสริมการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในชุมชนอย่างเต็มศักยภาพ

คำสำคัญ: เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แม่เหล็กถาวร มอเตอร์เหลือทิ้ง

บทนำ

ปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นปัญหาที่กำลังทวีความรุนแรงขึ้นทั่วโลก เนื่องจากการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เมื่ออุปกรณ์เหล่านี้หมดอายุการใช้งานจะกลายเป็นขยะที่มีส่วนประกอบซับซ้อนและอันตราย เช่น โลหะหนัก สารเคมีที่เป็นพิษ และพลาสติกที่ย่อยสลายยาก [1] ขยะเหล่านี้มักถูกทิ้งอย่างไม่ถูกต้องหรือไม่ผ่านกระบวนการจัดการที่ปลอดภัย ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ การเผาหรือฝังกลบขยะอิเล็กทรอนิกส์จะปล่อยสารพิษสู่ดิน น้ำ และอากาศ การจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การรีไซเคิลอย่างถูกวิธีและการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ยืดอายุการใช้งาน จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสร้างสังคมที่ยั่งยืน [2] ซึ่งหนึ่งในขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ คือ มอเตอร์เหลือทิ้งเป็นมอเตอร์ที่ถูกปลดระวางจากการใช้งานเนื่องจากเสียหาย ชำรุด หรือหมดอายุการใช้งาน มักพบในเครื่องจักรเก่า เครื่องใช้ไฟฟ้า ยานพาหนะ และอุปกรณ์อุตสาหกรรมที่ไม่ได้ถูกใช้ตามวัตถุประสงค์เดิม มอเตอร์เหล่านี้มักถูกมองว่าไร้ค่าและถูกทิ้งเป็นขยะอุตสาหกรรม แต่ในความเป็นจริงมอเตอร์เหลือทิ้งยังมีศักยภาพที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การรีไซเคิลชิ้นส่วนโลหะ การนำขดลวดทองแดงมาใช้ซ้ำ หรือการแยกสกัดวัสดุต่าง ๆ ที่ยังมีมูลค่า ทั้งนี้ยังสามารถดัดแปลงเปลี่ยนมอเตอร์ ซึ่งขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้า เป็นการเพิ่มคุณค่าของมอเตอร์เหลือทิ้ง [3] ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปริมาณขยะแล้ว ยังสามารถลดต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าและลดภาระการใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าหลักได้อีกด้วย

การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากมอเตอร์เหลือทิ้งนี้จึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในชุมชนหรือพื้นที่ที่ยังขาดแคลนพลังงานสำหรับใช้งานในชีวิตประจำวัน โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ การใช้หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีการเคลื่อนที่ระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวด [4] จากการศึกษาหลาย ๆ งานวิจัยที่มีการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากมอเตอร์เหลือทิ้ง เช่น ชัยนุสนธ์ ได้สร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนิสความเร็วรอบต่ำชนิดแม่เหล็กถาวรจากมอเตอร์

เหลือทิ้ง ซึ่งสามารถให้กำลังการผลิตไฟฟ้าได้ 6,000 W ที่ความเร็ว 500 RPM ความถี่ 49.4 Hz ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร้อยละ 72.61 [5] ทั้งนี้หลักการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น จำนวนรอบการพันขดลวด จำนวนรอบการหมุน เป็นต้น และอีกหนึ่งพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องศึกษาวิจัย คือ การจัดเรียงขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่ต้องการศึกษาผลของการสลับขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรจากการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหลือทิ้ง เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหลือทิ้ง และหาแนวทางในการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณที่สูง รวมทั้งยังเป็นการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากวัตถุดิบที่มีอยู่ภายในชุมชนให้ได้เต็มตามศักยภาพ

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

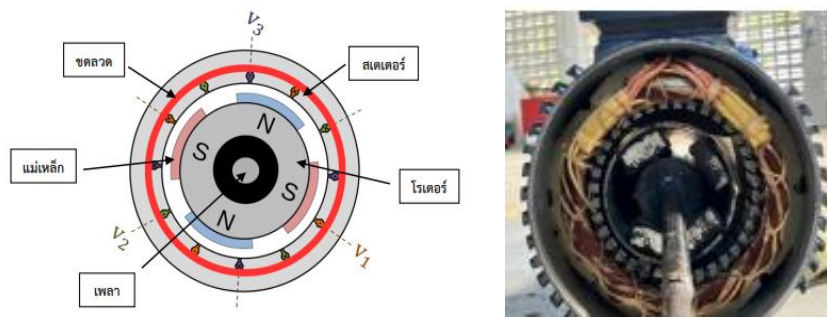
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า [6] โดยอาศัยหลักการที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดขดลวด หรือขดลวดเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วย โรเตอร์ (Rotor) เป็นส่วนที่หมุนและมีแม่เหล็กถาวรติดตั้งอยู่ และสเตเตอร์ (Stator) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ ประกอบด้วยขดลวดทองแดงที่พันรอบแกน เช่นเดียวกับมอเตอร์ปั้มน้ำเหลือทิ้งที่มีโครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังแสดงในภาพที่ 1 โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้าตามหลักการของไมเคิล ฟาราเดย์ โดยการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กขึ้นอยู่กับเวลาดังสมการที่ (1) โดยขนาดของฟลักซ์แม่เหล็กมีพื้นที่หน้าตัดคงที่ตามความยาวแกนเหล็กดังสมการที่ (2) การพันขดลวดเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าเป็นแบบกระจาย ดังนั้นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้องคูณด้วยค่าแฟกเตอร์การพันขดลวด ดังสมการที่ (3) [7]

$$E = \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

$$\Phi = \frac{\mu_r \mu_0 A}{L} \times N_{ph} I \quad (2)$$

$$k_w = k_d k_p \quad (3)$$

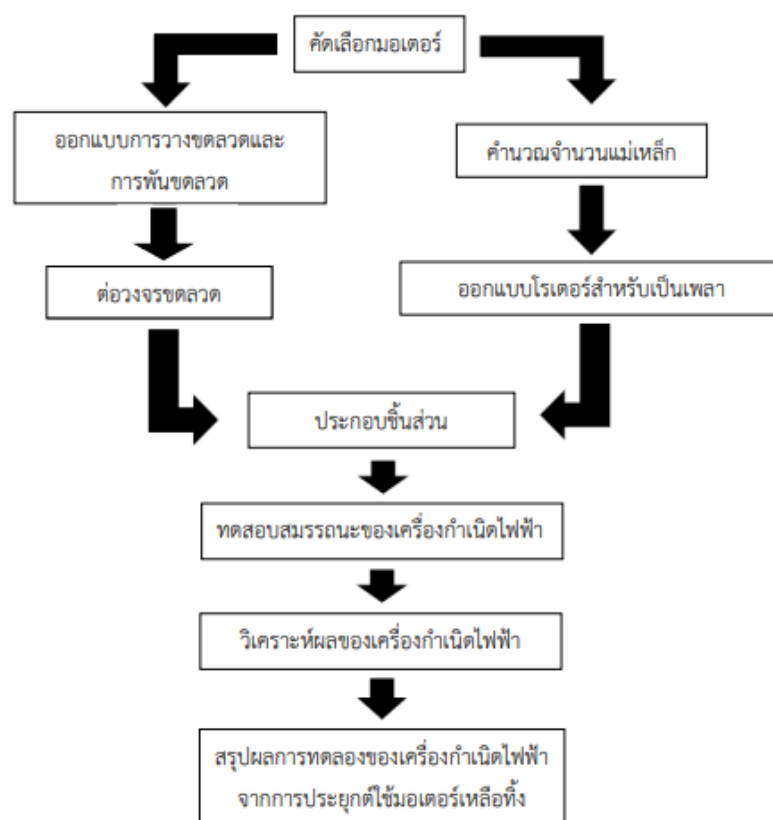
เมื่อ E คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กในขดลวด (V) Φ คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก (Wb) μ_r คือ ความเหนี่ยวนำแม่เหล็กสัมพัทธ์ μ_0 คือ ความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของสุญญากาศ A คือ พื้นที่หน้าตัดของขดลวดที่สนามแม่เหล็กผ่าน (m²) L คือ ความยาวของขดลวดหรือเส้นทางที่สนามแม่เหล็กต้องผ่าน (m). N_{ph} คือ จำนวนรอบของขดลวดที่ทำการเหนี่ยวนำ / คือ กระแสที่ไหลผ่านขดลวด (A) k_w คือ ค่าคงที่ของระบบ. K_d คือ ค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมเชิงสัดส่วนในระบบ k_p คือ ค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมเชิงสัดส่วนในระบบการควบคุม



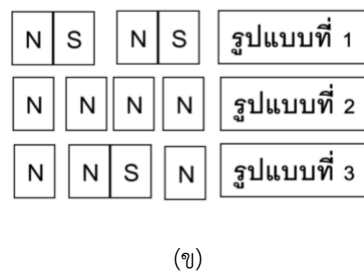
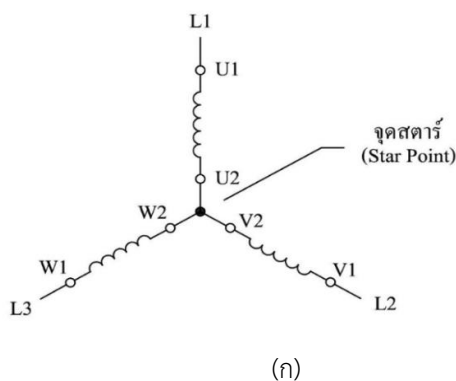
ภาพที่ 1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรจากการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหล็ทึง

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษามผลของการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรจากการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหล็ทึง มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังแสดงในภาพที่ 2 โดยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้อง จากนั้นได้ออกแบบโครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหล็ทึงจากปั้มน้ำหอยโข่ง ORONO รุ่น KO-101 ขนาด 1 นิ้ว และโรเตอร์ที่ใช้สำหรับติดตั้ง โดยออกแบบการวางขดลวดที่มีลักษณะการต่อวงจรแบบสตาร์ และออกแบบการวางรูปแบบการวางแม่เหล็กทั้งหมด 4 รูปแบบ ได้แก่ การวางแม่เหล็กแบบ NS NS การวางแม่เหล็กแบบ N N N N การวางแม่เหล็กแบบ N NS N และโรเตอร์ที่ยังไม่ได้ปรับปรุงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากมอเตอร์เหล็ทึง



ภาพที่ 3 (ก) ลักษณะการต่อวงจรแบบสตาร์ (ข) ลักษณะการวางแม่เหล็กแบบต่างๆ

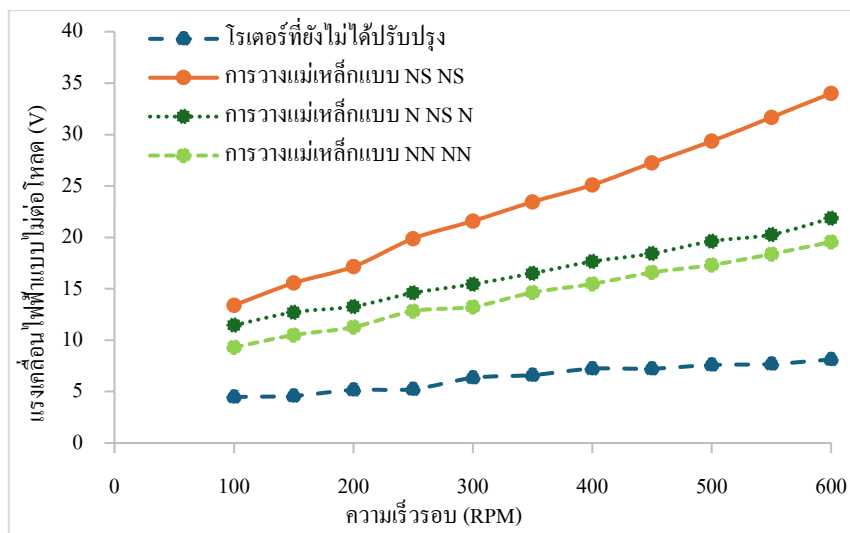
ประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ รวมถึงสเตเตอร์ โรเตอร์ และแม่เหล็กเข้าด้วยกัน โดยในการทดสอบเก็บข้อมูลใช้มอเตอร์ MONICA 320 V 50 Hz เป็นตัวขับเคลื่อน ต่อขดลวดเข้ากับไดโอดบริจด์แปลง AC เป็น DC และทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขณะไม่ต่อโหลดและต่อโหลด โดยเริ่มการทดสอบตั้งแต่ความเร็วรอบ 100 - 600 RPM และปรับความเร็วรอบครั้งละ 50 RPM และวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้า

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาผลของการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรจากการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ สามารถวิเคราะห์แรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะต่อโหลดและไม่ต่อโหลด กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้างต่อไปนี้

1. แรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะไม่ต่อโหลด

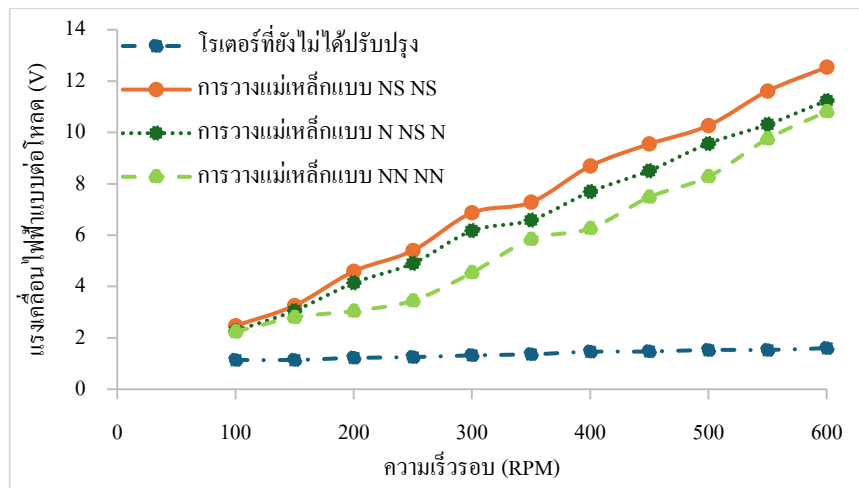
จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากมอเตอร์ปั้มน้ำเหนี่ยวนำในการวางแม่เหล็กแบบต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กล่าวคือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น [8] ซึ่งเป็นไปตามหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ว่า การเพิ่มความเร็วรอบจะทำให้การเหนี่ยวนำแม่เหล็กในขดลวดมากขึ้น ส่งผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย การวางแม่เหล็กในแบบต่าง ๆ มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ โดยการวางแม่เหล็กแบบ NS NS แสดงให้เห็นว่ามีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดที่ 34.01 V ซึ่งสูงกว่าการวางแม่เหล็กแบบอื่น ๆ ผลนี้บ่งบอกว่าการจัดเรียงแม่เหล็กแบบ NS NS อาจทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การวางแม่เหล็กแบบ N NS N และ NN NN ซึ่งมีค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ 19.56 V และ 21.86 V ตามลำดับ พบว่าการวางแม่เหล็กแบบ NS NS ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ซึ่งอาจเป็นผลจากการจัดเรียงแม่เหล็กที่สามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นหรือมีการกระจายแม่เหล็กที่เหมาะสมมากกว่า [9] การวางแม่เหล็กที่ยังไม่ได้ปรับปรุงแสดงให้เห็นว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้ต่ำสุดเท่ากับ 8.13 V ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการจัดเรียงแม่เหล็กให้ถูกต้องเพื่อให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าแบบไม่ต่อโหลดในการวางแม่เหล็กแบบต่าง ๆ ในภาพที่ 4



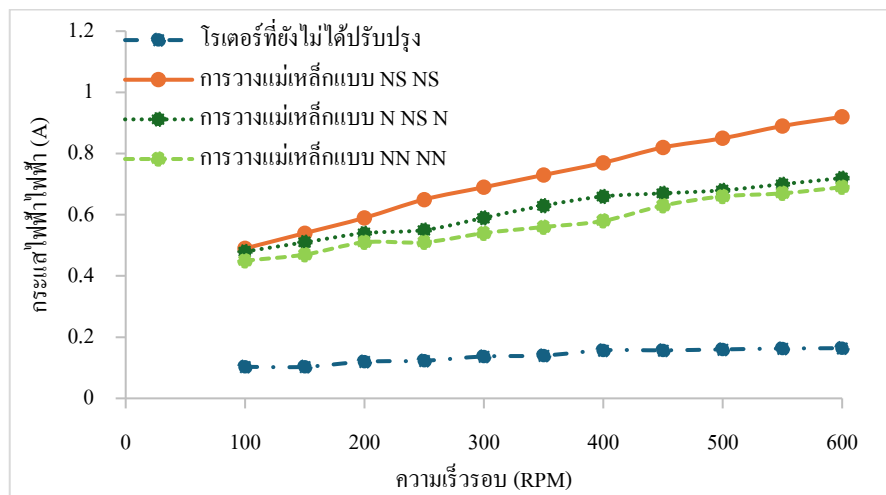
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าแบบไม่ต่อโหลดในการวางแม่เหล็กแบบต่าง ๆ

2. แรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะต่อโหลดและกระแสไฟฟ้า

จากผลและวิเคราะห์ผลการทดลองแรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะต่อโหลดและกระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากมอเตอร์ปั้มน้ำเหลือทิ้งในการวางแม่เหล็กแบบต่าง ๆ ในภาพที่ 5-6 พบว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นไปตามหลักทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นความเร็วในการหมุนของโรเตอร์จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กตัดกับขดลวดทองแดงมากขึ้น ส่งผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย หลักการนี้สามารถอธิบายได้จากกฎของฟาราเดย์ ซึ่งระบุว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดจะเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก และพบว่าการจัดเรียงแม่เหล็กแบบ NS NS ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 12.54 V และ 0.92 A ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600 RPM ซึ่งอาจเกิดจากการจัดเรียงแม่เหล็กในลักษณะนี้สามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มข้นสูงและกระจายอย่างมีประสิทธิภาพกว่าแบบอื่น ๆ ทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อหมุนผ่านขดลวดทองแดง และการจัดเรียงแม่เหล็กแบบ NS NS อาจทำให้การกระจายสนามแม่เหล็กทั่วขดลวดทองแดงเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและมีความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งช่วยให้การเหนี่ยวนำแม่เหล็กมีประสิทธิภาพมากที่สุด [10] ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับหลักการของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าที่การกระจายสนามแม่เหล็กที่ดีจะช่วยให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น



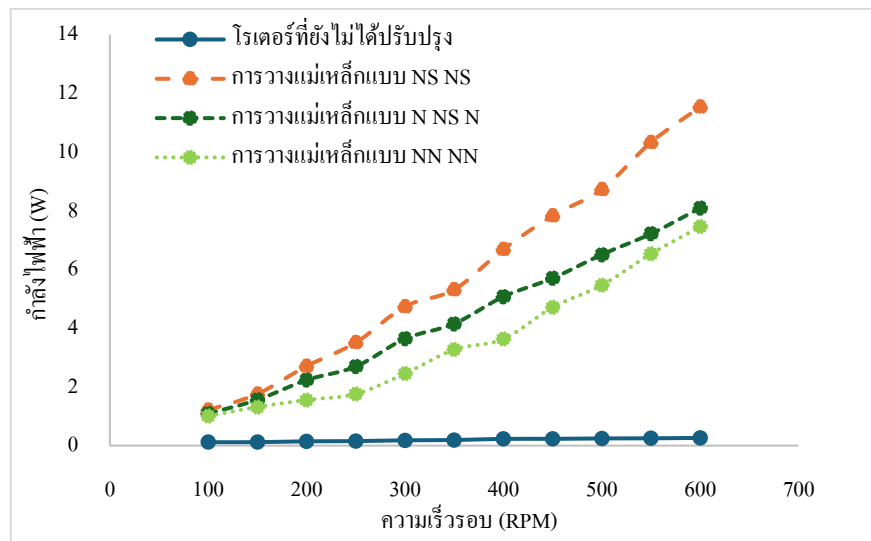
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าแบบต่อโวลต์ในการวางแม่เหล็กแบบต่างๆ



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกระแสไฟฟ้าในการวางแม่เหล็กแบบต่างๆ

3. การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากมอเตอร์ปั้มน้ำเหลือทิ้งในการวางแม่เหล็กแบบต่าง ๆ ในภาพที่ 7 พบว่ากำลังไฟฟ้าแปรผันตรงกับความเร็วรอบ กำลังไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบมีค่าเพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุผลเดียวกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เพราะค่ากำลังไฟฟ้าคือผลคูณระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า และพบว่าการวางแม่เหล็กแบบ NS NS ทำให้สนามแม่เหล็กที่มีความเข้มข้นและการกระจายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ส่งผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงที่สุด ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 11.54 W ที่ความเร็วรอบ 600 RPM และการวางแม่เหล็กแบบ N NS N แบบ NN NN และที่ยังไม่ได้ปรับ มีค่ากำลังไฟฟ้า 8.09 W 7.46 W และ 0.26 W ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 600 RPM



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังไฟฟ้าในการวางแม่เหล็กแบบต่าง

ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ข้างต้นสามารถอภิปรายผลได้ว่า การวางตำแหน่งของแม่เหล็กส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tumay et al. (2017) ที่ศึกษาอิทธิพลของการจัดเรียงแม่เหล็กในเครื่องกำเนิดพลังงานหมุนเวียนและพบว่าการจัดเรียงที่เหมาะสมสามารถเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้อย่างมีนัยสำคัญ [11] นอกจากนี้ งานของ Choi et al. (2022) ยังระบุว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กช่วยเพิ่มการเหนี่ยวนำไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ซึ่งสนับสนุนผลการทดลองในครั้งนี้ โดยเฉพาะในกรณีของการวางแม่เหล็กแบบ NS NS ที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด [12] อย่างไรก็ตาม การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลกระทบของวัสดุแม่เหล็กและรูปทรงของโรเตอร์อาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้ดียิ่งขึ้นตามแนวทางของ Rylko et al. (2011) ที่เสนอการใช้วัสดุแม่เหล็กที่มีความหนาแน่นฟลักซ์สูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเหนี่ยวนำไฟฟ้า [12] ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานเหลือทิ้งให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาลของการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรจากการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหลือทิ้ง สามารถสรุปได้ว่า การจัดเรียงแม่เหล็กมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การจัดเรียงแม่เหล็กแบบ NS NS มีประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เนื่องจากการสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มข้นและการกระจายที่ดีทำให้สามารถสร้างฟลักซ์แม่เหล็กได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับการจัดเรียงแม่เหล็กแบบอื่นๆ และผลการศึกษานี้แสดงถึงความสำคัญของการออกแบบและการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กที่เหมาะสม ซึ่งมีผลต่อการกระจายของสนามแม่เหล็กอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เพิ่มสมรรถนะในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์เหลือทิ้ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] G Kwon, K Yoon, E Kwon, J Park, H Lee & H Song. (2024). Technical advancement in valorization of electronic waste and its contribution to establishing economic value-chain. **Chemical Engineering Journal**. 494, 153154. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.153154>
- [2] He, Y., Kiehbardroudzehad, M., Bandbafha, H.H., Gupta, V.K., Peng, W., Lam, S.S., Tabatabaei, M. & Aghbashlo, M. (2024). Driving sustainable circular economy in electronics: A comprehensive review on environmental life cycle assessment of e-waste recycling. **Environmental Pollution**. 342, 123081. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123081>
- [3] Liu, M., Chen, L., Sheng, X., Yang, Y., Yu, F., Li, Y., Yuan, X., Li, Y., Wang, Q. & Ma, Q. (2023). Dynamic simulation of life cycle environmental benefits of remanufacturing asynchronous motors to permanent magnet synchronous motors. **Journal of Cleaner Production**. 426, 138932. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138932>
- [4] Khazeinyasab, S.R. & Qi, J. (2021). Generator Parameter Calibration by Adaptive Approximate Bayesian Computation With Sequential Monte Carlo Sampler. **IEEE Transactions on Smart Grid**. 12(5), 4327–4338. 10.1109/TSG.2021.3077734
- [5] ชัยนุสนธ์ เกษตรพงศา และมนตรี สุขเลื่อง (2558). การสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัสความเร็วรอบต่ำชนิดแม่เหล็กถาวรจากมอเตอร์เหลือทิ้ง. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. 25(3), 361–370.
- [6] González, W.G., Montoya, O.D., & Garces, A. (2020). Modeling and control of a small hydro-power plant for a DC microgrid. **Electric Power Systems Research**. 180, 106104. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.106104>
- [7] Zhou, H., Song, R., Jin, T., Zhou, Z. & Yan, Y. (2024) On the magnetic field induced by swell in inhomogeneous seawater. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**. 205, 104244. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2024.104244>
- [8] Lee, C. H., Shin, H. S., Noh, H. R., & Kim, K. C. (2022). A Study on The Electromagnetic Multi-Step Transmission Characteristics of Interior Permanent Magnet Synchronous Motors. **Energies**, 15(24), 9615. <https://doi.org/10.3390/en15249615>
- [9] Tomiyasu, K., Oishi-Tomiyasu, R., Matsuda, M., & Matsuhira, K. (2018). A new mathematical approach to finding global solutions of the magnetic structure determination problem. **Scientific reports**, 8(1), 16228.

- [10] Pang, H., Fan, W., Liu, F., Duan, L., Liu, S., Wang, J., & Quan, W. (2022). Design of highly uniform field coils based on the magnetic field coupling model and improved PSO algorithm in atomic sensors. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, 71, 1-11. <https://doi.org/10.1109/TIM.2022.3201500>
- [11] Tumay, M., Demirdelen, T., Bal, S., Kayaalp, R. İ., Doğru, B., & Aksoy, M. (2017). A review of magnetically controlled shunt reactor for power quality improvement with renewable energy applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 77, 215-228. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.008>
- [12] Choi, H. S., Annapureddy, V., Park, N., Jeong, J. W., Hwang, G. T., & Ryu, J. (2022). High-performance magneto-mechano-electric generator through optimization of magnetic flux concentration. **Sustainable Energy & Fuels**, 6(11), 2700-2708. <https://doi.org/10.1039/D2SE00445C>
- [13] Rylko, M. S., Lyons, B. J., Hayes, J. G., & Egan, M. G. (2011). Revised magnetics performance factors and experimental comparison of high-flux materials for high-current DC–DC inductors. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 26(8), 2112-2126. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2010.2103573>

การออกแบบและศึกษาปัจจัยด้านขนาดของรูเจาะที่มีผลต่อการผลิตถ่านชาร์ โดยอาศัยการทดลอง ร่วมกับการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

Design and Investigation of the Effects of Perforation Size on Char Production Using Experiments and Computational Simulation

ลลิตา เพชรใจหาญ¹ ธเนศ ไชยชนะ¹ เสริมสุข บัวเจริญ² ณัฐพงษ์ เกี้ยวพันธุ์² ธนกฤต พิงค์² จิรโชติ ยะมณี²

นาวพล เขตวัง² ณัฐพงศ์ เมธาวงศ์² ศุภาโชค สีใส² และ ภคมน ปินตานา^{2*}

Lalita Petchaihan¹ Tanate Chaichana¹ Sermasuk Buochareon² Natthaphong Kiawphan²

Tanakrit Pingta² Jirachot Yamanee² Nawapol Katwung² Natchapong Methawong²

Supachok Seesai² and Pakamon Pintana^{2*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹ Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

² สาขาวิชาวิศวกรรมการอนุรักษ์พลังงาน (ต่อเนื่อง) วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

² Energy Conservation Engineering (Continuing Program), School of Renewable Energy,

Maejo University, Chiang Mai 50290

Corresponding author: Tel.: 09-86196155. E-mail address: p.pintana@gmail.com

Abstract

This research focuses on the design and development of a biochar kiln to enhance soil improvement efficiency, carbon sequestration, and activated carbon production. The study involves designing the combustion chamber using computer simulation in comparison with experimental testing. A 50-liter capacity kiln was utilized, in which twelve closed-end steel tubes (2.54 cm in diameter and 10 cm in length) were installed in the combustion chamber. These tubes were perforated with perforation size ranging from 1.59 to 4.76 mm in diameter to study the temperature distribution and biochar production from rice straw, corn leaves, and stalks, along with the pyrolysis duration. Simulation results showed that the maximum air temperature ranged between 689.60–906.70°C, while the maximum wall temperature ranged from 403.59–517.02°C. The hole diameter had a direct effect on the direction and velocity of airflow within the kiln, with larger perforation size increasing airflow. In experimental tests using Leucaena wood as fuel, it was found that a hole diameter of 3.18 mm with a 2-hour pyrolysis duration yielded the highest biochar production from corn stalks and leaves, at 29.69%. The simulated temperature deviated by $\pm 0.24\%$, with a standard deviation of 0.71°C. For rice

straw, the highest yield of 31.45% was obtained using 1.59 mm diameter perforation size and a 3-hour pyrolysis duration. The simulated temperature deviation was $\pm 0.46\%$, with a standard deviation of 1.77°C . The results from both the design and experimental testing demonstrate that computer simulation can accurately model temperature distribution. However, further investigation into the properties of the resulting biochar is recommended to determine the optimal hole size for each type of biomass.

Keywords: Charcoal kiln, Charcoal, Corn stalks, Rice straw, Computational Fluid Dynamics

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาเตาเผาถ่านชาร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงดิน การเก็บกักคาร์บอน และการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยศึกษาการออกแบบห้องเผาไหม้ผ่านการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับทดสอบจริง โดยใช้เตาปริมาตร 50 L ในห้องเผาไหม้ได้จัดวางท่อเหล็กปลายปิด 12 แกน (เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 cm ยาว 10 cm) และเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.59–4.76 mm รอบแกน เพื่อศึกษาผลการกระจายอุณหภูมิและการถ่านชาร์ผลิตจากฟางข้าว ใบและต้นข้าวโพด ร่วมกับเวลาในการผลิตถ่านชาร์ ผลการจำลองให้ค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดระหว่าง $689.60\text{--}906.70^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิผนังเตาสูงสุด $403.59\text{--}517.02^{\circ}\text{C}$ โดยขนาดรูเจาะมีผลโดยตรงต่อทิศทางและความเร็วของการไหลของอากาศภายในเตา รูเจาะที่มีขนาดใหญ่ทำให้การไหลของอากาศเพิ่มขึ้น การทดสอบผลิตถ่านชาร์จากทั้งสองวัสดุ โดยใช้ไม้กระถินเป็นเชื้อเพลิง พบว่ารูเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.18 mm ใช้เวลาเผา 2 h ให้ผลผลิตถ่านชาร์จากต้นและใบข้าวโพดสูงสุด คือ 29.69% การจำลองอุณหภูมิมีความคลาดเคลื่อน $\pm 0.24\%$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.71°C สำหรับผลผลิตถ่านชาร์จากฟางข้าว พบว่ารูเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.59 mm ใช้เวลาเผา 3 h ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 31.45% การจำลองอุณหภูมิมีความคลาดเคลื่อน $\pm 0.46\%$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.77°C ผลการออกแบบและทดสอบจริงแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองอุณหภูมิที่ให้ผลแม่นยำสูง แต่ควรมีการศึกษาคุณสมบัติของผลผลิตเพื่อสรุปขนาดรูเจาะที่เหมาะสมกับการผลิตถ่านชาร์จากชีวมวลแต่ละชนิด

คำสำคัญ: เตาเผาถ่านชาร์ ถ่านชาร์ ต้นและใบข้าวโพด ฟางข้าว พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

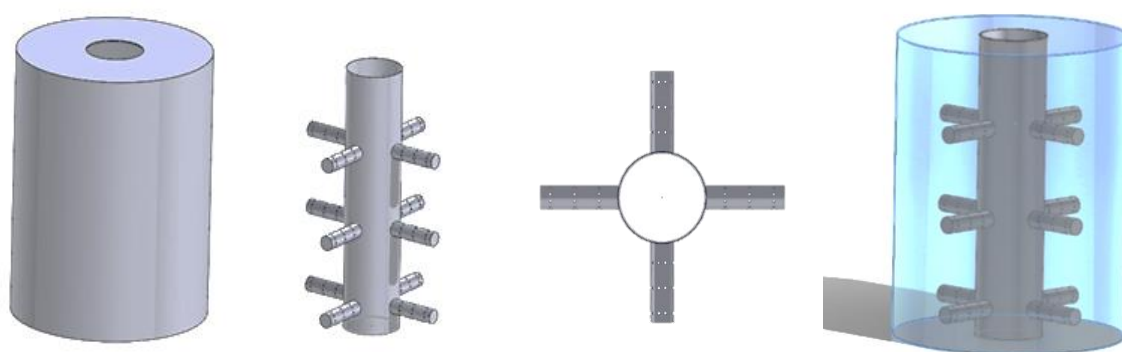
บทนำ

เตาถ่านชาร์ (Charcoal Kiln) เป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะในด้านการเกษตรและการจัดการสิ่งแวดล้อม สำหรับการผลิตถ่านชาร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวล เช่น วัสดุทางการเกษตร [1-2] กระบวนการนี้ทำให้เกิดคาร์บอนที่มีคุณสมบัติพิเศษ ซึ่งสามารถนำไปใช้ที่ดินเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์และปรับปรุงโครงสร้างของดิน นอกจากนี้ ถ่านชาร์ยังช่วยกักเก็บคาร์บอนในดิน ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และมีบทบาทสำคัญในการดูดซับสารพิษในดินจำพวกสารหนูและตะกั่ว [3] เตาถ่านชาร์ที่ใช้ผลิตถ่านชาร์นั้นมีหลายรูปแบบ ตั้งแต่เตาขนาดเล็กที่ใช้งานในครัวเรือนไปจนถึงระบบขนาดใหญ่ที่ใช้ในภาคเกษตรหรืออุตสาหกรรม [4] ความสามารถของเตาในการผลิตถ่านชาร์นั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบและเทคโนโลยีที่ใช้ ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของถ่านชาร์ที่ได้ การนำถ่านชาร์มาใช้ในภาคเกษตร ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มผลผลิตและความต้านทานของโรคพืช [5] แต่ยังเป็นการบริหารจัดการของเสียจากการเกษตรหรือนำชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและยังเป็นส่วนหนึ่ง

ของวิธีการพัฒนาอย่างยั่งยืนที่สังคมควรให้ความสำคัญ ซึ่งพลังงานชีวมวลมีส่วนช่วยลดปริมาณขยะจากการเกษตรและอุตสาหกรรม อีกทั้งยังสามารถสร้างรายได้เสริมให้กับเกษตรกรจากการขายชีวมวล นอกจากนี้การใช้พลังงานชีวมวลยังช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นทรัพยากรที่จำกัด การผลิตถ่านชาร์ต้องอาศัยกระบวนการคาร์บอนเซชัน (Carbonization) หรือการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นกระบวนการทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของชีวมวลหรือสารอินทรีย์อื่น ๆ ผ่านความร้อนในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนหรือออกซิเจนน้อยมาก กระบวนการนี้ไม่เพียงแต่เป็นพื้นฐานสำคัญในการผลิตถ่านชาร์ แต่ยังสามารถนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ เช่น ถ่านชาร์ (Charcoal) น้ำมันชีวภาพ (Bio-oil) และก๊าซสังเคราะห์ (Syngas) [6] ในกระบวนการอุณหภูมิมีความสำคัญอย่างยิ่งในการผลิต รวมถึงตัวแปรการออกแบบมิติส่วนประกอบของเตาแอนนิลา (Anila stove) ขนาดปริมาตร 50 L [7] อย่างไรก็ตามการพัฒนาประสิทธิภาพของเตาถ่านชาร์ยังคงเป็นประเด็นที่นักวิจัยให้ความสนใจ มีการทดสอบและการออกแบบเตาถ่านชาร์ในรูปแบบต่าง ๆ และรวมไปถึงขนาดหรือวัสดุที่ใช้ทำเตาที่แตกต่างกัน [8] เพื่อศึกษาหาตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตถ่านชาร์ที่มีคุณภาพสูง การนำเทคโนโลยีการจำลองเชิงพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD) และการจำลองเชิงตัวเลขมาใช้ในการปรับปรุงการออกแบบเตา อาทิ การจำลองการไหลของอากาศและความร้อนในเตาเพื่อตรวจสอบความเร็วลมที่เข้ามามีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และการปล่อยมลพิษอย่างไร ซึ่งความเร็วลมที่เหมาะสมจะช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กับคาร์บอนไดออกไซด์ และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ [9] การศึกษาการวิเคราะห์ความร้อนในเตาปฏิกรณ์ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ต่างกันจะมีผลต่อผลผลิตถ่านชาร์ [10] นอกจากนี้ การจำลองซีเอฟดียังถูกใช้ในการพัฒนาเตาถ่านชาร์ประหยัดพลังงาน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน [11] และการศึกษาในอดีตยังแสดงให้เห็นว่าความเร็วลมและอุณหภูมิส่งผลต่ออัตราการเผาไหม้ของถ่านชาร์ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้นั้นสามารถใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาได้ [12] ด้วยเหตุนี้ คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการวิจัยและออกแบบเตาถ่านชาร์ โดยมุ่งเน้นการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้งานให้สูงสุด ผ่านการวิเคราะห์จุดบกพร่องข้อดีและข้อเสียของเตาเผาถ่านชาร์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน การออกแบบห้องเผาไหม้จะมีการกระจายอุณหภูมิอย่างเหมาะสมเพื่อให้สามารถผลิตถ่านชาร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ พัฒนา และทดสอบการทำงานของเตาผลิตถ่านชาร์โดยศึกษาผลกระทบของขนาดและการกระจายตัวของรูเจาะในห้องเผาไหม้ ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และคุณภาพของถ่านชาร์ที่ได้ การศึกษานี้ใช้การจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์การไหลของอากาศและอุณหภูมิภายในเตา พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองจริงกับแบบจำลอง เพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเตาให้เหมาะสมต่อการใช้งานจริง นอกจากนี้ การศึกษายังมุ่งเน้นการวิเคราะห์กระบวนการผลิตถ่านชาร์จากชีวมวล ได้แก่ ต้นและใบข้าวโพด รวมถึงฟางข้าว ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความพูนตามธรรมชาติ ส่งผลให้การไหลของอากาศมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้การจำลองสภาวะการผลิตจริงได้อย่างแม่นยำ ในการศึกษาจะใช้การจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของชีวมวล โดยศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในเตา การไหลของอากาศ และผลกระทบของขนาดชีวมวลต่อกระบวนการเผาไหม้ นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลองจริง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเตาและพิจารณาคุณภาพของถ่านชาร์ที่ผลิตได้ อีกทั้งยังทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชาร์ เช่น ความหนาแน่น ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณความชื้น เพื่อประเมินศักยภาพในการนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงดิน วัสดุดูดซับ หรือวัตถุดิบสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์

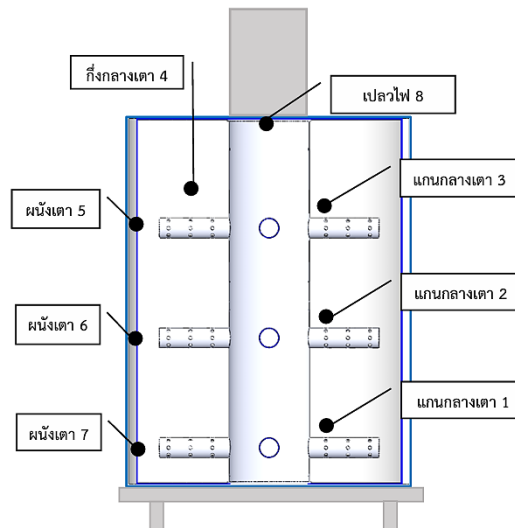
วิธีการวิจัย

การศึกษาปัจจัยของเตาผลิตถ่านชาร์ปริมาณ 50 L และการทดสอบตัวแปรที่ส่งผลต่อการกระจายอุณหภูมิ การศึกษาขนาดรูเจาะแกนกลาง 3 ขนาด (ขนาดรู 1.59 3.18 และ 4.76 mm) [7-8] ออกแบบและศึกษาการกระจายของรูเจาะท่อเหล็กห้องเผาไหม้ (ท่อเหล็กปลายปิดจากแกน ขนาด $\varnothing 2.54$ cm ยาว 10 cm) จำนวน 12 แกน ดังแสดงในภาพที่ 1 และการศึกษาการจำลองเตาถ่านชาร์ประกอบด้วยทางการไหลของอากาศ อุณหภูมิ ตามลำดับ การทดสอบโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS [13] วิธีการประกอบด้วยการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโมเดล จากนั้นวิเคราะห์การจำลองการไหลของอากาศที่ไหลผ่านโมเดล 3 มิติ โดยใช้วิธีการปริมาตรจำกัดการไหลในระบบแบบปิด ที่สภาวะความดัน ณ จังหวัดเชียงใหม่ อุณหภูมิอากาศ 26.20°C ความดันเฉลี่ย $97,656\text{ Pa}$ ความเร็วลมเฉลี่ย 1.67 m/s [14] และอุณหภูมิห้องเผาไหม้จากการวัด



ภาพที่ 1 ลักษณะของเตาและห้องเผาไหม้แกนกลางของเตาถ่านชาร์

การผลิตถ่านชาร์ด้วยเตาขนาด 50 L เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านชาร์ เตรียมขี้เถ้าหนักชีวมวล 2 ชนิด โดยน้ำหนักวัสดุขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัตถุดิบและขนาดประมาณไม่เกิน 10-20 cm แล้วบรรจุลงในเตาจนเต็ม จากนั้นปิดฝาและล็อกเตาปิดให้สนิท แล้วยกเตาวางบนฐานเตา การเติมเชื้อเพลิงประมาณ 2.50-3.50 kg ระยะเวลา 2 h ของต้นและใบข้าวโพด และ 3 h (ฟางข้าว) ซึ่งจะมีการควบคุมอุณหภูมิเปลวไฟไม่น้อยกว่า 300°C เตาที่ใช้มีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเซรามิกส์ไฟเบอร์ และติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบ K กับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบเรียลไทม์ WISCO data logger มาตรฐาน RS232 ดังแสดงในภาพที่ 2 จากนั้นให้ความร้อนแก่เชื้อเพลิงจากด้านบนตัวเตาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ทำการจับเวลา ตั้งแต่เริ่มจุดเชื้อเพลิงติดไฟ ปล่อยทิ้งไว้จนเตาเย็นตัวลงหรือหลังการทดสอบลดอุณหภูมิโดยการทำให้เย็นลง [4] จากนั้นคัดส่วนประกอบจากกระบวนการผลิตประกอบด้วยถ่านชาร์ขี้เถ้าหนัก โดยทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ จากนั้นนำใส่ถุงซิปล็อคเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลคุณสมบัติของถ่านชาร์ [2]



ภาพที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

ปริมาณถ่านชาร์ สามารถกำหนดได้จากความสมดุลของน้ำหนักโดยรวมและคำนวณดังสมการที่ 1 การวิเคราะห์ความชื้นทำการวิเคราะห์ด้วยมาตรฐาน ASTM D1762-84 และนำไปลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 2 h การวิเคราะห์ความหนาแน่น ความสัมพันธ์ระหว่างมวลของตัวอย่าง (Mass) หรือปริมาณเนื้อของแข็งของตัวอย่างที่ถูกบรรจุอยู่ในวัตถุต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Volume) [1] และการตรวจวัดกรด-เบส (pH) โดยใช้การวิเคราะห์ตามมาตรฐาน IBI Charcoal [15]

$$Y_{bc} = \frac{W_{bc}}{W_{bm}} \times 100 \quad (1)$$

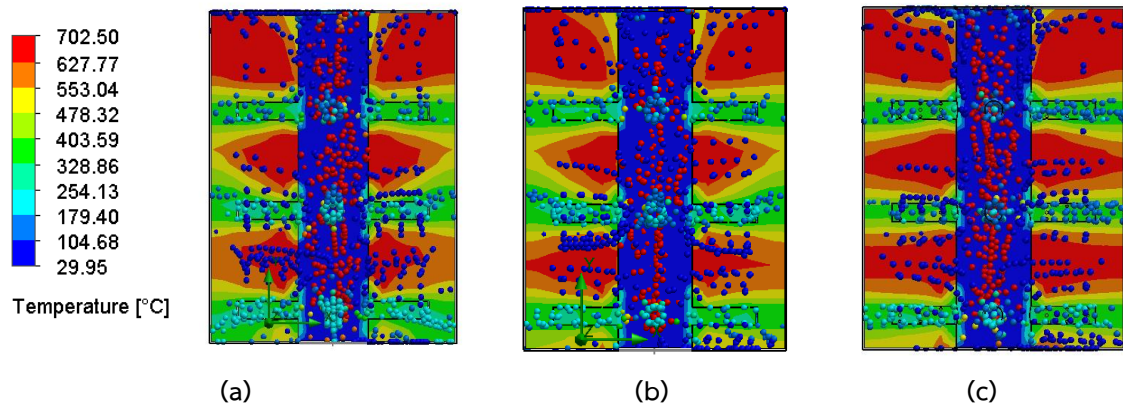
เมื่อ Y_{bc} = ถ่านชาร์ (%)
 W_{bc} = มวลถ่านชาร์ (kg)
 W_{bm} = มวลชีวมวลเริ่มต้น (kg)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

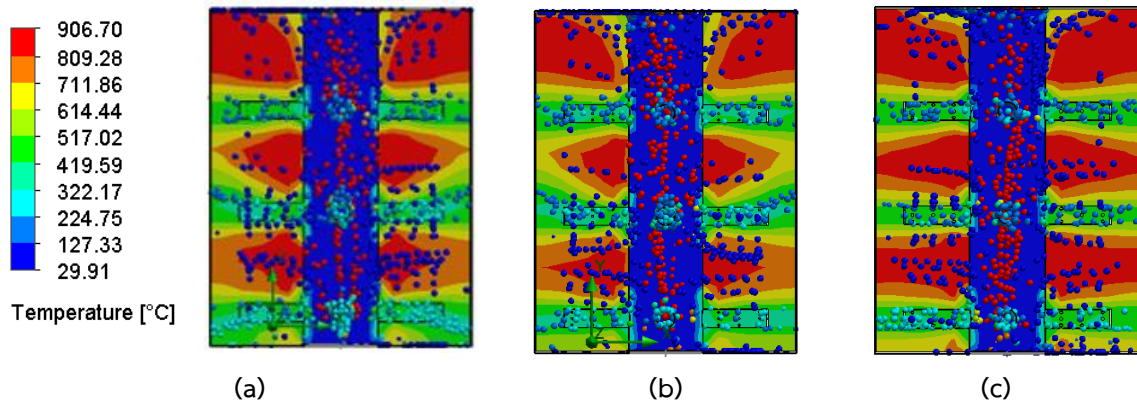
1. ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์การไหลของอากาศในเตาผลิตถ่านชาร์ที่มีขนาดรูเจาะแตกต่างกัน

ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์การไหลของอากาศ เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิและการไหลของอากาศที่สถานะความดัน ณ จังหวัดเชียงใหม่ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 26.20 °C ความดันเฉลี่ย 97,656 Pa ความเร็วลมเฉลี่ย 1.67 m/s และอุณหภูมิห้องเผาไหม้ 689.60-702.50 °C และ 747.10-906.70 °C จะได้ผลจากการจำลองคอมพิวเตอร์ ได้แก่ ความหนาแน่น ความดัน ความเร็ว และอุณหภูมิของเตาถ่านชาร์ขนาด 50 L พบว่าจากผลที่ได้อุณหภูมิอากาศห้องเผาไหม้สูงสุด 702.50 °C และ 906.70 °C อุณหภูมิผนังเตาสูงสุด 403.59 °C และ 517.02 °C ส่งผลให้มีความหนาแน่นของของไหลอยู่ในช่วง 0.30-1.14 kg/m³ หากพื้นที่มีอุณหภูมิต่ำจะทำให้ความหนาแน่นของอากาศเพิ่มขึ้น ความเร็วของอากาศอยู่

สูงสุดอยู่ในช่วง 0.00-57.95 m/s ดังแสดงในตารางที่ 1 และการกระจายอุณหภูมิอากาศและเตาสูงสุดและต่ำสุดอยู่ระหว่าง 29.91-906.70 °C ดังแสดงในภาพที่ 3-4 ตามลำดับ



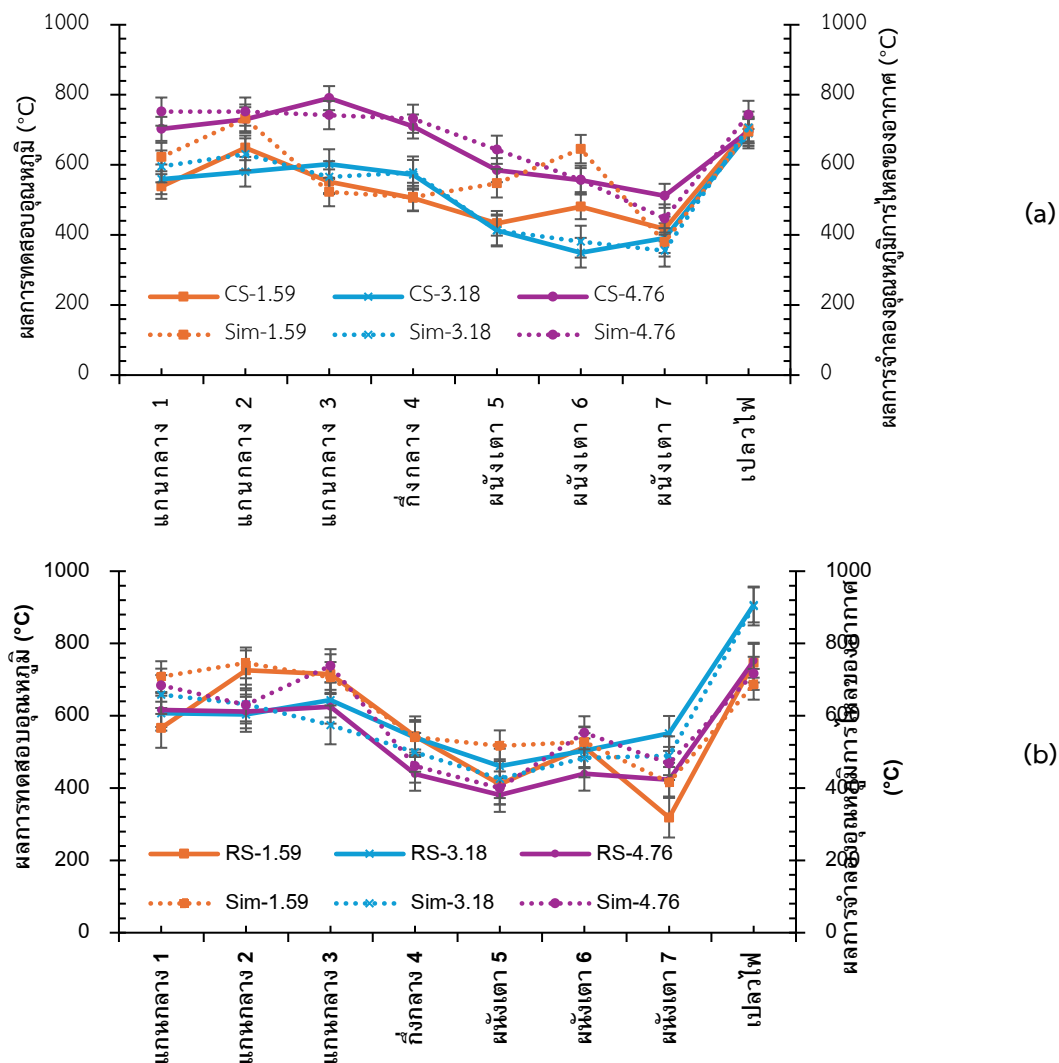
ภาพที่ 3 การจำลองอุณหภูมิของเตาถ่านชาร์ตันและใบข้าวโพดขนาดรูเจาะ 1.59 (a) 3.18 (b) และ 4.76 (c) mm



ภาพที่ 4 การจำลองอุณหภูมิของเตาถ่านชาร์ฟางข้าวขนาดรูเจาะ 1.59 (a) 3.18 (b) และ 4.76 (c) mm

ตารางที่ 1 การจำลองทางคอมพิวเตอร์การไหลอากาศของเตาถ่านชาร์ตันและใบข้าวโพด และฟางข้าว

การจำลองทาง คอมพิวเตอร์	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ความดัน (Pa)	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°C)
ตันและใบข้าวโพด				
1.59 mm	0.37-1.11	97,605.49-104,096.32	0.00-42.22	29.95-702.50
3.18 mm	0.37-1.14	97,603.98-104,333.55	0.00-57.95	29.98-689.60
4.76 mm	0.38-1.12	100,336.13-107,724.19	0.00-48.52	34.95-696.50
ฟางข้าว				
1.59 mm	0.35-1.11	97,608.44-103,892.69	0.00-42.40	29.99-747.10
3.18 mm	0.30-1.14	97,616.45-102,750.31	0.00-46.37	29.91-906.70
4.76 mm	0.36-1.12	100,338.83-107,417.38	0.00-48.25	34.87-752.10



ภาพที่ 5 ผลการเปรียบเทียบการจำลองอุณหภูมิการไหลของอากาศเตาเผาถ่านชาร์ตันและใบข้าวโพด (a) ฟางข้าว (b) ที่ขนาดรูเจาะ 1.59-4.76 mm

จากผลของการป้อนอากาศตามสภาพแวดล้อมต่อการผลิตถ่านชาร์ พบว่าผลการจำลองแสดงสภาวะที่เหมาะสมเป็นไปตามความเร็วบรรยากาศที่พื้นที่ผิวการแลกเปลี่ยนความร้อนของวัสดุที่ห้องเผาไหม้ แสดงผลการจำลองการไหลของของไหลทำให้เกิดการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนไปยังพื้นที่รูเจาะตามการออกแบบขนาด 1.59-4.76 mm [7-8] การนำเทคโนโลยีซีเอฟดีมาวิเคราะห์การไหลของอากาศและการกระจายความร้อนในเตา โดยการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเร็วลมและอุณหภูมิที่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และลดการปล่อยก๊าซที่เป็นอันตรายทำให้แก๊สไพโรไลซิสบริเวณห้องเผาไหม้สมบูรณ์ [9] และผลที่ได้นั้นส่งผลให้การกระจายอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทั่วทั้งเตา ผลลัพธ์ในกระบวนการประกอบด้วยปริมาณถ่าน ถ่านเล็กน้อย ปริมาณแก๊สไพโรไลซิสหรือความร้อนจากชีวมวล ผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกับมาตรฐาน IBI Charcoal [15] ซึ่งช่วยพัฒนาและแก้ไขการผลิตถ่านชาร์แบบดั้งเดิมที่ใช้ระยะเวลาผลิตที่นาน [12] การกระจายอุณหภูมิต่ำ ปริมาณถ่านเยอะ และมีส่วนที่ไม่เป็นถ่าน ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชีวมวลที่นำมาผลิต ระยะเวลาในการผลิต และอัตราความร้อนของเตา

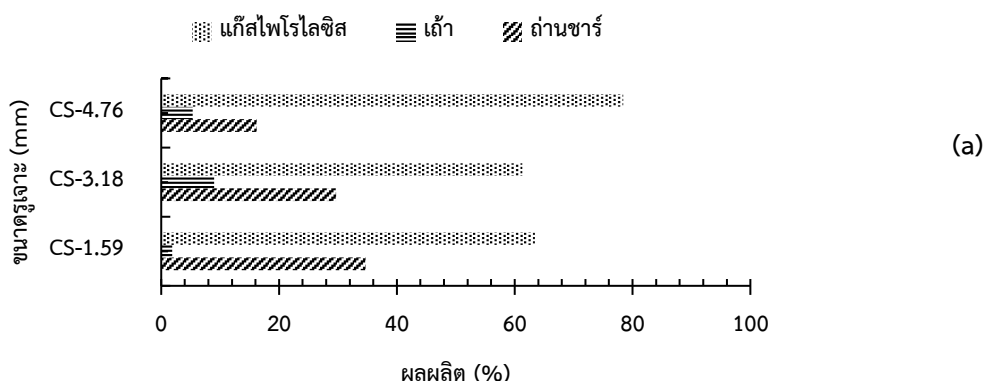
ปัจจัยดังที่กล่าวมาล้วนมีความสัมพันธ์และเป็นตัวแปรสำคัญในการพัฒนาเตาถ่านชาร์ และการศึกษาการจำลองสภาวะตัวแปรอย่างความเร็วลมและอุณหภูมิสามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้อย่างชัดเจน ซึ่งรูเจาะมีผลอย่างมากต่อห้องเผาไหม้เตาถ่านชาร์ นอกจากนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเผาไหม้กับผลผลิตถ่านชาร์ยังช่วยให้มีการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในแง่ของการลดต้นทุนการผลิตและการเพิ่มปริมาณผลผลิต [10]

การจำลองอุณหภูมิที่ต่างกันที่แตกต่างกันของเตาถ่านชาร์ ได้แก่ แกนกลางเตา กึ่งกลางเตา ผนังเตา และเปลวไฟของเตา พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการเปรียบเทียบผลการจำลองอุณหภูมิและการไหลของอากาศ และผลการทดสอบเกิดจากสมมติฐานของแบบจำลองที่กำหนดขึ้น จากทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนที่ใช้อุณหภูมิแหล่งกำเนิดความร้อนแกนกลางจะสูงสุด แล้วค่อยลดลงตามระยะห่างจากแหล่งกำเนิดความร้อน [8] ซึ่งไม่ซับซ้อนเหมือนปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการทดสอบต้นและใบข้าวโพด รวมถึงฟางข้าวจริง และที่สำคัญการพัฒนาเตาถ่านชาร์ช่วยประหยัดเรื่องของพลังงาน [11] ไม่เพียงแต่ช่วยในการลดต้นทุนการผลิตเท่านั้น แต่ยังช่วยในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการลดมลพิษทางอากาศการปล่อยฝุ่นละออง PM 2.5 ที่เกิดจากการเผาทำลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และการลดการใช้สารเคมีที่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม [4] จากผลการเปรียบเทียบผลการจำลองอุณหภูมิและการไหลของอากาศ และผลการทดสอบอุณหภูมิเตาผลิตถ่านชาร์จากต้นและใบข้าวโพด รูเจาะขนาด 1.59-4.76 mm ทำให้ทราบค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง -9.16 ถึง 34.34% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.71-116.60 °C และสำหรับฟางข้าวอยู่ในช่วง -8.03 ถึง 30.60% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.77-100.34 °C ดังแสดงภาพที่ 5 ตามลำดับ จากการจำลองพบว่าขนาดรูเจาะมีผลโดยตรงต่อทิศทางและความเร็วของการไหลของอากาศภายในเตา รูเจาะที่มีขนาดใหญ่ทำให้การไหลของอากาศเพิ่มขึ้น [7-8] ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาสูงขึ้นและกระจายตัวได้ดีขึ้น ในทางกลับกัน รูเจาะที่มีขนาดเล็กจำกัดการไหลของอากาศ ทำให้อุณหภูมิในบางจุดต่ำกว่าจุดอื่น การกระจายของอากาศและความร้อน ตำแหน่งที่ 5 6 และ 7 ตั้งอยู่บริเวณที่ได้รับอากาศร้อนจากการเผาไหม้น้อยกว่าตำแหน่งอื่น การไหลของอากาศภายในเตาอาจเกิดการไหลเวียนแบบหมุนวน ทำให้ความร้อนสะสมไม่เท่ากัน ส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณผนังเตาต่ำกว่าจุดอื่น ขนาดและตำแหน่งของรูเจาะในเตามีผลต่อการกระจายของเปลวไฟและการถ่ายเทความร้อน การเผาไหม้บริเวณผนังเตาอาจไม่สมบูรณ์เท่าบริเวณกลางเตา ซึ่งเป็นจุดที่ใกล้ห้องเผาไหม้ที่ให้ความร้อนสู่ระบบในการผลิตถ่านชาร์ [4]

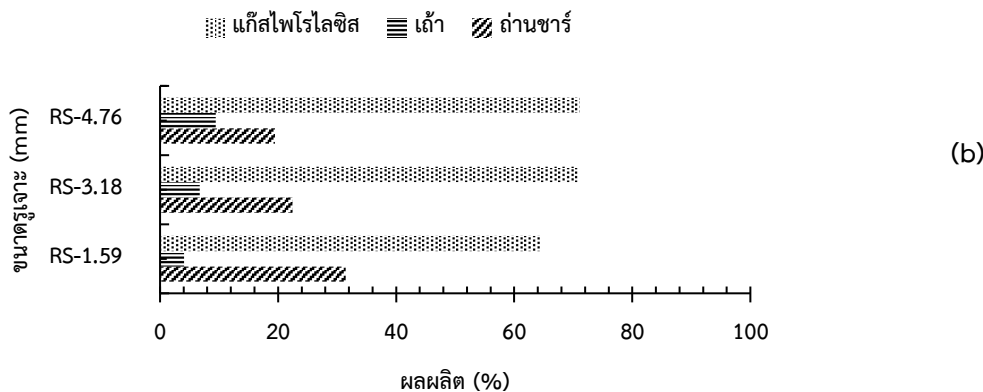
2. ผลกระทบของขนาดรูเจาะห้องเผาไหม้ต่ออุณหภูมิและผลผลิตของเตาถ่านชาร์

ผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตของเตาถ่านชาร์ขนาด 50 L ประกอบด้วย ผลผลิตของแข็ง (ถ่านชาร์และเถ้า) และก๊าซสังเคราะห์ (แก๊สไพโรไลซิส) ผลจากการออกแบบขนาดรูเจาะห้องเผาไหม้ขนาด 1.59-4.76 mm มีผลต่อการผลิตถ่านชาร์และอุณหภูมิในกระบวนการผลิตที่ชีวมวลและระยะเวลาแตกต่างกัน [7] โดยบรรจุน้ำหนักตามความหนาแน่นของชีวมวล ซึ่งต้นและใบข้าวโพด และฟางข้าวก่อนเผาสามารถบรรจุได้ 1.50 kg และใช้เชื้อเพลิงจากไม้กระถิน 2 h ใช้ 2.50 kg และ 3 h ใช้ 3.50 kg โดยมีค่าความร้อนสูงถึง 7,250 cal/kg [6] เนื่องจากมีการทดสอบการผลิตถ่านชาร์จากต้นและใบข้าวโพดที่ 3 h ก่อนการทดสอบจึงพบปริมาณเถ้าสูง ได้ปริมาณถ่านชาร์น้อย ซึ่งหากปริมาณเถ้าสูงเกินมาตรฐานจะส่งผลเสียต่อคุณภาพการนำไปใช้งานของถ่านชาร์ที่ได้ [15] จึงไม่เหมาะสมต่อการผลิตถ่านชาร์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมจึงลดระยะเวลาการผลิตลงมาที่ 2 h พบว่าได้ปริมาณถ่านที่มากขึ้นและปริมาณเถ้าลดลงสำหรับการผลิตถ่านชาร์จากต้นและใบข้าวโพดได้ปริมาณถ่านชาร์ 16.23-34.69 %wt และปริมาณแก๊ส 61.31-78.41 %wt และปริมาณเถ้า 1.89-9.00 %wt สำหรับการกระจายอุณหภูมิระหว่าง 398.60-741.30 °C ตามลำดับ และถ่านชาร์จากฟางข้าว 19.46-31.45 wt.% ปริมาณแก๊ส 64.50-71.09 %wt และปริมาณเถ้า 4.05-9.45 %wt สำหรับการกระจายอุณหภูมิระหว่าง 414.00-669.20 °C ดังแสดงในภาพที่ 6-7 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าระยะเวลาและอุณหภูมิ มีผลต่อการผลิตถ่านชาร์จากชีวมวลที่แตกต่างกัน

และทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเริ่มต้นของวัสดุ คุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีมีผลต่อการเปลี่ยนสภาพหรือการแปลงชีวมวลเป็นถ่านชาร์ น้ำมันดิน และก๊าซสังเคราะห์ [1] ขนาดของชีวมวลส่งผลต่อการไหลของอากาศและอุณหภูมิภายในเตาผลิตถ่านชาร์ เนื่องจากชีวมวลที่มีขนาดใหญ่กว่ามีช่องว่างระหว่างอนุภาคมากขึ้น ทำให้อากาศสามารถไหลผ่านได้สะดวกและช่วยกระจายความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ ในทางตรงกันข้าม ชีวมวลที่มีขนาดเล็กจะมีความหนาแน่นมากขึ้น ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปอย่างจำกัด และอุณหภูมิภายในเตาอาจไม่สม่ำเสมอ จากการทดลองพบว่า ต้นและใบข้าวโพด ซึ่งมีโครงสร้างที่มีช่องว่างมากกว่า ส่งผลให้การกระจายอุณหภูมิภายในเตาดีขึ้น และช่วยให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ขณะที่ฟางข้าวมีความหนาแน่นสูงกว่า ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในบางจุดภายในเตาได้ [7]



ภาพที่ 6 ผลผลิตของเตาถ่านชาร์จากต้นและใบข้าวโพด 2 h (a)



ภาพที่ 7 ผลผลิตของเตาถ่านชาร์จากฟางข้าว 3 h (b)

ผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตของเตาถ่านชาร์ขนาด 50 L การกระจายของรูเจาะท่อเหล็กปลายปิดจากแกนขนาด $\varnothing 2.54$ cm ยาว 10 cm ทั้งหมดจำนวน 12 แกน และขนาดรูเจาะของท่อที่แตกต่างกัน 3 ขนาด มีการกระจายอุณหภูมิความร้อนที่สูงขึ้นซึ่งส่งผลต่อการผลิตที่ได้ทั้งปริมาณถ่านชาร์และแก๊สไฟโรไลซิสในการนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายทั้งด้านการปรับปรุงดิน ด้านการดูดซับและต่อยอดในการผลิตถ่านกัมมันต์ในการทำถ่านชาร์บริสุทธิ์ขึ้น รวมไปถึงผลจากงานวิจัยอื่น ๆ และมาตรฐาน IBI Charcoal จัดว่าเตาประเภทนี้ลารูปทรงโดนัทที่สามารถนำความร้อนจากแกนกลางห้องเผาไหม้ไปทดแทนแก๊สสูงต้มในการประกอบอาหาร [15] นับว่าการนำพลังงานจากชีวมวลมาผลิตเป็น

ถ่านชาร์ด้วยเตาขนาด 50 L ได้คุณประโยชน์ที่หลากหลายทั้งได้ถ่านและได้พลังงานความร้อน และมีขนาดที่พอเหมาะสามารถใช้ได้ทุกครัวเรือน [4]

3. ผลการออกแบบขนาดรูเจาะต่อคุณสมบัติของถ่านชาร์

การออกแบบและกำหนดขนาดของรูเจาะในเตาผลิตถ่านชาร์ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และคุณสมบัติของถ่านชาร์ที่ได้ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการออกแบบขนาดรูเจาะต่อคุณสมบัติของถ่านชาร์ต้นและใบข้าวโพดและฟางข้าว

ตัวอย่าง	การกระจายอุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	กรด-ด่าง (pH)
ต้นและใบข้าวโพด	-	7.15	102.27	7.40
B-1.59	443.50-579.60	4.25	69.41	10.42
B-3.18	398.60-580.50	3.98	95.95	9.99
B-4.76	551.30-741.30	3.95	92.97	10.35
ฟางข้าว	-	4.48	39.61	6.39
B-1.59	414.00-669.20	2.03	139.50	10.39
B-3.18	505.20-618.30	2.50	106.44	9.95
B-4.76	414.60-617.70	4.13	135.21	9.57

หมายเหตุ B คือ ถ่านชาร์และขนาดรูเจาะ

การกระจายอุณหภูมิภายในเตาถ่านชาร์และผลิตภัณฑ์กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ผลจากการทดสอบพบว่าระยะเวลา 2 h และ 3 h ส่งผลให้การกระจายอุณหภูมิและผลผลิตปริมาณถ่านชาร์ดีที่สุด เมื่อนำชีวมวลที่แตกต่างกันจากต้นและใบข้าวโพด และฟางข้าวไปทดสอบในเตาผลิตถ่านชาร์ขนาด 50 L พบว่าจากที่มีการออกแบบรูเจาะขนาดต่างกัน 1.59-4.76 mm ส่งผลต่อช่วงอุณหภูมิเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 2 และคุณสมบัติของถ่านชาร์ คือ ค่าความชื้น 3.95-4.25 %wt และ 2.03-4.13 %wt ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 9.99-10.42 และ 9.57-10.39 ความหนาแน่น 69.41-95.95 kg/m³ และ 106.44-139.50 kg/m³ ตามลำดับ โดยการออกแบบและการสร้างเตาเพื่อผลิตถ่านชาร์คุณภาพสูงและมีโครงสร้างทางกายภาพที่มีความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ความหนาแน่นตามมาตรฐาน และอุณหภูมิการผลิตถ่านชาร์ที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 600 °C [14] และระยะเวลาการผลิตอยู่ในช่วง 2-3 h ที่จะส่งผลให้ทั้งปริมาณผลผลิตมากและมีความพรุนสูง การเพิ่มเวลาการผลิตจะช่วยเอื้อต่อการพัฒนารูพรุนของถ่านชาร์ แต่ถ้าเวลามากเกินไปอาจทำให้โครงสร้างของรูพรุนเสียหายได้ และถ่านชาร์ที่มีโครงสร้างรูพรุนมากจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์นั้นนำไปใช้สำหรับปรับปรุงดิน จุลินทรีย์ พืช [5] และการดูดซับสารพิษได้อีกด้วย [3]

สรุปผลการวิจัย

การทดลองผลิตถ่านชาร์จากต้นและใบข้าวโพดในเตาขนาด 50 L ใช้เวลา 2 h ได้ผลผลิต 29.69% โดยใช้รูเจาะขนาด 3.18 mm และการจำลองอุณหภูมิแม่นยำ ($\pm 0.24\%$) ส่วนฟางข้าวผลิตได้ 31.45% ใน 3 h โดยใช้รูเจาะขนาด 1.59 mm ($\pm 0.46\%$) การเลือกชีวมวลขึ้นอยู่กับเวลาและผลผลิตที่ต้องการ งานวิจัยนี้ช่วยลดต้นทุนการผลิต ถ่านชาร์มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ช่วยส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและสร้างรายได้ให้ชุมชน ผลการจำลองและการทดลองสามารถนำไปปรับใช้ในการผลิตจริงได้โดยเฉพาะในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิและความเร็ว เพื่อเพิ่มผลผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ และในกรณีของขนาดรูที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มคุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น การศึกษาในครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการปรับปรุงกระบวนการผลิตถ่านชาร์ให้เหมาะสมกับชีวมวลชนิดต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตเชิงพาณิชย์ได้จริง ทั้งยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมความยั่งยืนในชุมชน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ ทีมวิจัยสาขาวิศวกรรมการอนุรักษ์พลังงาน (ต่อเนื่อง) และสาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน และขอขอบคุณ พุณสนันสนุนงานวิจัยภายใต้โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาปริญญาตรีและระดับบัณฑิต วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนสิ่งอำนวยความสะดวกและงบประมาณการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Somparn, W., Panyoyai, N., Khamdaeng, T., Tippayawong, N., Tantikul, S., & Wongsiriamnuay, T. (2020, March). Effect of process conditions on properties of charcoal from agricultural residues. In **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** (Vol. 463, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
- [2] Petchaihan, L., Panyoyai, N., Khamdaeng, T., & Wongsiriamnuay, T. (2020, March). Test of a modified small-scale charcoal kiln. In **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** (Vol. 463, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
- [3] Rinkam, T., Tantikul, S., Wongsiriamnuay, T., Panyoyai, N., Tippayawong, N., & Khamdaeng, T. (2022, November). Heavy metal adsorption by charcoal made from longan seeds and peels. In **AIP Conference Proceedings** (Vol. 2681, No. 1). AIP Publishing.
- [4] Petchaihan, L., & Wongsiriamnuey, T. (2022). **FACTORS EFFECTING ON CHARCOAL PRODUCTION FROM AGRICULTURAL RESIDUE. Doctoral dissertation.** Maejo University.
- [5] ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์, & อรสา สุกสว่าง. (2558). การประยุกต์ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร. **วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ (Journal of Social Sciences and Humanities)**, 4(2), 212.

- [6] นคร ทิพย์าวงศ์. (2558). **เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล (พิมพ์ครั้งที่ 2)**. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [7] Srisophon, M., Khamdaeng, T., Panyoyai, N., & Wongsiriamnuay, T. (2020, March). Characterization of thermal distribution in 50-Liter charcoal kiln at different heating times. In **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science** (Vol. 463, No. 1, p. 012079). IOP Publishing.
- [8] Maneekhat, C., & Khamdaeng, T. (2022). **THERMAL CHARACTERISTICS OF ANILA-TYPE CHARCOAL KILN. Doctoral dissertation**. Maejo University.
- [9] Tiew, S. C., Abakar, Y. A., Mohammed, I. Y., Abubakar, L. G., Bawa, M. A., Obiajunwa, O., ... & Abubakar, N. A. (2024). MODELLING AND FLUID DYNAMIC ANALYSIS OF COMBUSTION PROCESS AND ENERGY EFFICIENCY OF A DIGITAL STOVE FOR DOMESTIC APPLICATION. **Nigerian Journal of Tropical Engineering**, 18(2), 244-252.
- [10] Sushmitha, D., & Srinath, S. (2019). Thermal Modeling of a High-Pressure Autoclave Reactor for Hydrothermal Carbonization. In Numerical Heat Transfer and Fluid Flow: **Select Proceedings of NHTFF 2018** (pp. 547-553). Springer Singapore.
- [11] Getachew, Hailu. (2018). Product Development Using CFD Simulation of Energy Efficient Institutional Bio-char Rocket Stove. **Journal of Energy Technologies and Policy**, 8(3):22-28.
- [12] P., Khummongkol., P., Wibulswas., S.C., Bhattacharya. (1988). Modeling of a charcoal cook stove. **Energy**, 13(11):813-821. doi: 10.1016/0360-5442(88)90086-2
- [13] Pintana, P., Thanompongchart, P., Phimphilai, K., & Tippayawong, N. (2017). Improvement of airflow distribution in a glutinous rice cracker drying cabinet. **Energy Procedia**, 138, 325-330.
- [14] ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, กรมอุตุนิยมวิทยา. (2567). **สภาพอากาศปัจจุบัน**. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มกราคม 2567 จาก <https://tmd.go.th/weather/province/chiang-mai>
- [15] **Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Charcoal That Is Used in Soil-Version 2.1**. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2567 จาก <https://charcoal-international.org/charcoal-standards/>

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยแผ่นดูดซับความร้อนแบบร่องตัววี

Heat transfer augmentation in solar air heater with V-grooved absorber plate

พงษ์เจต พรหมวงศ์¹, ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์², อรรถพล ชัยมนัสกุล³, สืบสกุล คุรุรัตน์³ และ สมพล สกุลหลง^{3*}

Pongjet Promvonge¹, Panuwat Hoonpong², Attaphon Chaimanatsakun³, Suabsakul Gururatana³ and
Sompol Skullong^{3*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

² สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

³ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี 20230

¹ Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok 10520

² Department of Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat
University, Lopburi 15000

³ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha
Campus, Chonburi 20230

Corresponding author: Tel.: 0841955912. E-mail address: sompol@eng.src.ku.ac.th

Abstract

This research paper presents a study on the effect of groove depth on heat transfer and flow characteristics in a solar air heater channel fitted with multiple V-grooves on the absorber plate. The channel has rectangular cross-section with uniform heat flux conditions. The experiments are carried out by varying airflow rate in term of Reynolds number ranging from 5300 to 22,600. The V-groove with a single transverse pitch to channel height ($P/H=PR$) of 0.8 and attack angle of (α) of 45° pointing upstream are mounted on the upper plate only (absorber plate). The effect of three groove depth to channel height ratio (d/H) of 0.32, 0.24 and 0.16 on heat transfer in terms of Nusselt number (Nu) and friction loss in terms of friction factor (f) are experimentally investigated. The experimental result shows that the V-grooves with $d/H = 0.32$ provides higher Nusselt number and friction factor than other V-grooves and the smooth channel and also provides highest thermal enhancement factor (TEF) than other V-grooves as well.

Keywords: Heat transfer, Solar air heater, V-groove, Absorber plate, Thermal performance

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของควมลึกของร่องต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการไหลในท่อเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยแผ่นดูดซับความร้อนเซาะร่องรูปตัววีแบบต่อเนื่อง การทดลองดำเนินการโดยใช้อัตราไหลของอากาศในช่วงเลขเรย์โนลด์ส 5300 ถึง 22,600 ร่องรูปตัววีที่มีระยะพิชต์ต่อความสูงท่อ ($P/H=PR$) เท่ากับ 0.8 และมุมปะทะการไหล (α) เท่ากับ 45 องศา โดยปลายตัววีชี้ทวนกระแสการไหลของอากาศและถูกติดตั้งด้านบนของช่องขนานเป็นแผ่นดูดซับความร้อน ในการทดลองทำศึกษาอิทธิพลอัตราส่วนความลึกของร่องต่อความสูงท่อ 3 ค่า คือ $d/H = 0.32, 0.24$ และ 0.16 ที่มีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนโดยแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, Nu) และการสูญเสียความดันโดยแสดงในเทอมของตัวประกอบความเสียดทาน (Friction Factor, f) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเซาะร่องรูปตัววีที่อัตราส่วนความลึกของร่องต่อความสูงท่อ (d/H) เท่ากับ 0.32 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงสุด โดยมีค่าสูงกว่าร่องรูปตัววีที่ความลึกอื่นๆ รวมทั้งแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ และยังให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal enhancement factor, TEF) สูงสุด

คำสำคัญ: การถ่ายเทความร้อน, เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์, ร่องตัววี, แผ่นดูดซับความร้อน, สมรรถนะเชิงความร้อน

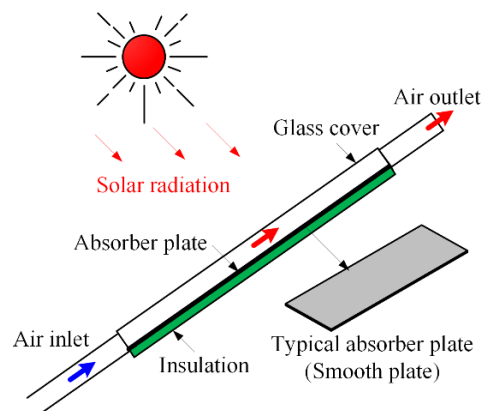
บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สำคัญและมีอยู่อย่างไม่จำกัดบนโลก ทั้งยังเป็นพลังงานที่สะอาดและไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ ปัจจุบันมนุษย์มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่อง การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 Photovoltaic (PV) เป็นกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงอาทิตย์บนวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งมีการใช้งานอย่างกว้างขวางและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง รูปแบบที่ 2 Solar Air Heater (SAH) หรือเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ [1-3] เป็นการใช้แผ่นดูดซับความร้อนรับแสงอาทิตย์ที่อยู่ในช่องทางการไหลและใช้ลมเป่าเพื่อนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ให้แก่ชุมชน เช่น การอบแห้งอาหารและผลผลิตทางการเกษตร เป็นต้น โดยมีหลักการทำงานดังแสดงในภาพที่ 1 อย่างไรก็ตามเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ (SAH) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเป็นแผ่นดูดซับความร้อนเป็นผิวเรียบ (smooth absorber plate) ซึ่งให้ค่าการถ่ายเทความร้อนค่อนข้างต่ำ นักวิจัยในหลายๆ ประเทศจึงมีการคิดค้นและปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อนแบบต่างๆ เพื่อเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้แก่เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการวิจัยในรูปแบบที่ 2 คือ เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ (SAH) เนื่องจากมีการวิจัยและพัฒนาอย่างไม่กว้างขวางมากนักเมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 1 (PV)

ในอดีตที่ผ่านมา Rashidi et al. [4] ทำการรวบรวมและสรุปเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนของแผ่นดูดซับความร้อนที่มีพื้นผิวขรุขระและพื้นผิวเป็นร่องบุ่ม (dimpled surface) แบบต่างๆ โดยพบว่า เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แบบติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อนที่มีพื้นผิวเป็นร่องบุ่มให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ Jin et al. [5] ทำการทดลองโดยการเซาะร่องรูปทรงสามเหลี่ยมตามแนวขวางทิศทางการไหลของอากาศ ผลการทดลองพบว่า การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 350% เมื่อเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนเป็นผิวเรียบ Eiamsa-ard and Promvonge [6] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลของอากาศที่ไหลผ่านช่องขนานแบบร่องสี่เหลี่ยมวางแนวขวางด้วยวิธีการจำลองเชิงตัวเลข พบว่าช่องขนานแบบร่องสี่เหลี่ยมให้ค่าการถ่ายเท

ความร้อนเพิ่มขึ้น 158% โดยกรณีอัตราส่วนความกว้างของร่องต่อความสูงท่อมี่ค่ามากจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบความเสียหายเพิ่มขึ้นด้วย Luo et al. [7] ทำการศึกษาด้วยวิธีการจำลองเชิงตัวเลขโดยทำร่องบุมบนแผ่นดูดซับความร้อนร่วมกับการติดตั้งปีก ผลการจำลองพบว่าของไหลจะไหลลงผ่านร่องบุมและกวาดเอาความร้อนอุณหภูมิสูงบริเวณภายในร่องบุมออกสู่ทางออกท่อซึ่งเป็นการระบายความร้อนที่ดี อย่างไรก็ตามเมื่อร่องบุมมีความลึกมากเกินไปก็จะระบายความร้อนได้ไม่ดีเนื่องจากของไหลจะพาความร้อนในบริเวณที่มีส่วนลึกมากได้ไม่ทั่วถึง Chokphoemphun et al. [8] ทำการทดลองโดยเจาะร่องรูปทรงสามเหลี่ยมหน้าจั่วบนแผ่นดูดซับความร้อนวางแนวขวางทิศทางการไหลของอากาศ พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียหายเพิ่มขึ้นถึง 2 และ 3.9 เท่า เมื่อเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ ขณะที่สมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์มีค่าสูงถึง 1.45 ต่อมา Zhang et al. [9] ทำจำลองเชิงตัวเลขโดยทำร่องโค้งผสมกับร่องบุมบนแผ่นดูดซับความร้อนเพื่อเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนให้แก่เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ การจำลองพบว่าร่องแบบผสมดังกล่าวให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน 1.29

งานวิจัยในอดีตส่วนใหญ่เน้นศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนด้วยการเจาะร่องที่วางในแนวขวาง (ทำมุม 90 องศา) กับทิศทางการไหลของอากาศโดยมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 1.49 ดังนั้นเพื่อเพิ่มระดับความปั่นป่วนให้แก่กระแสการไหลของอากาศภายในท่ออันจะส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมถึงสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์สูงขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการเจาะร่องรูปแบบที่ต่างออกไป โดยทำการเจาะร่องเป็นรูปทรงตัววี (V-groove) ทำมุม 45° กับทิศทางการไหลของอากาศ และศึกษาอิทธิพลความลึกของการเจาะร่อง (groove depth, d) 3 ค่า คือ 4 mm, 6 mm, และ 8 mm หรือในรูปของอัตราส่วนความลึกต่อความสูงท่อ ($d/H = 0.16, 0.24$ และ 0.32) โดยใช้แผ่นฮีตเตอร์จำลองเป็นพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ความร้อนแก่แผ่นดูดซับความร้อนในสภาวะฟลักซ์ความร้อนคงที่



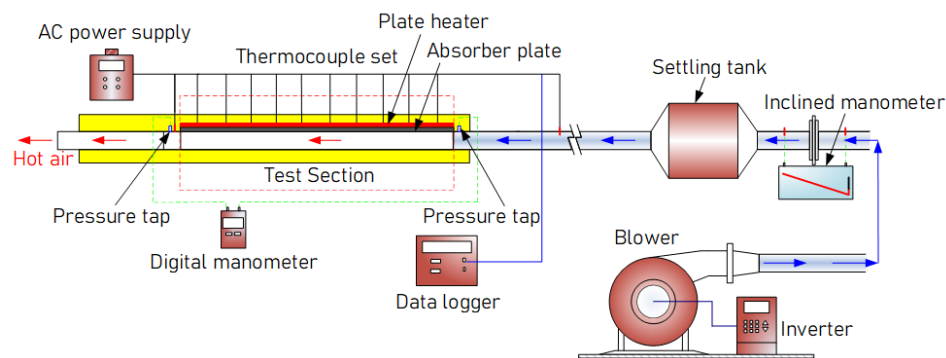
ภาพที่ 1 หลักการทำงานของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม (แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ)

วิธีการวิจัย

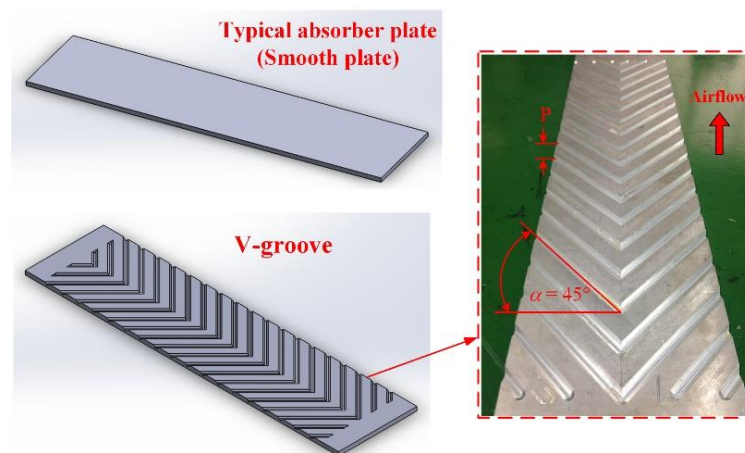
ชุดทดลองเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 2 ประกอบด้วยพัดลม (Blower) ขนาด 3 kW เป็นตัวขับเคลื่อนการไหลของอากาศผ่าน Orifice meter ที่ทำหน้าที่วัดอัตราการไหลของอากาศก่อนเข้าสู่ชุดทดสอบ โดยมี Inclined manometer เป็นตัววัดความแตกต่างของความดันและใช้คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ จากนั้นอากาศจะไหลเข้าสู่ Settling tank ซึ่งมีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มีการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุดและไหลเข้าสู่ชุดทดสอบแผ่นดูดซับความร้อนถูกทำให้ร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1,000 วัตต์ ติดตั้งที่ด้านบนแผ่นดูดซับความร้อนเพื่อจำลองเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนทดสอบมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนอย่างดีเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอก เทอร์โมคัปเปิลชนิด T จำนวน 34 ตัว ใช้วัดอุณหภูมิทางเข้า ทางออก และอุณหภูมิผิวของแผ่นดูดซับความร้อน

โดยเชื่อมต่อและอ่านค่าจาก Data Logger (FLUKE 2680A) ความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและทางออกของ ส่วนทดสอบใช้ Digital manometer รุ่น TESTO 350-M/XL เป็นตัววัดค่า ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของเครื่องมือวัด ใช้ค่าอ้างอิงจากเอกสารอ้างอิง [2,12]

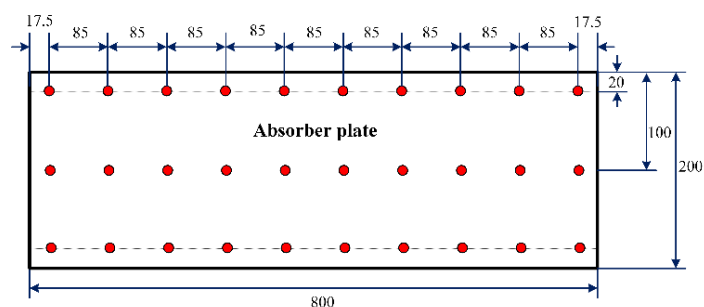
แผ่นดูดซับความร้อนทำจากอะลูมิเนียมรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความกว้าง (W) = 200 mm ยาว (L) 800 mm ติดตั้งที่ด้านบนของท่ออุณหอากาศพลศาสตร์แสงอาทิตย์ โดยท่อมีความสูง (H) = 25 mm แผ่นดูดซับความร้อนมีการเจาะรู ความลึก 4, 6 และ 8 mm โดยคิดเป็นอัตราส่วนความลึกต่อความสูงท่อ (d/H) = 0.16, 0.24 และ 0.32 ทำมุม $\alpha = 45^\circ$ กับ ทิศทางการไหลของอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 3 การทดลองจะทำการเปรียบเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบเพื่อให้ เห็นถึงความแตกต่างและข้อได้เปรียบของแผ่นดูดซับความร้อนแบบเจาะรูเป็นรูปตัววี การวัดอุณหภูมิบนแผ่นดูดซับความ ร้อนใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด T จำนวน 30 ตัว โดยมีจุดวัดและระยะห่างเป็นหน่วย มิลลิเมตร (mm) ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 2 ชุดทดลองท่ออุณหอากาศพลศาสตร์แสงอาทิตย์และหลักการทำงาน



ภาพที่ 3 แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบและแผ่นดูดซับความร้อนแบบเจาะรูเป็นรูปตัววี



ภาพที่ 4 จุดวัดอุณหภูมิบนแผ่นดูดซับความร้อน

ทฤษฎีการคำนวณของงานวิจัย

สมการพื้นฐานของการไหล การถ่ายเทความร้อน และตัวประกอบความเสียดทานของอากาศที่ไหลภายในท่อ จากเอกสารอ้างอิง [10,11] สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์และแสดงได้ดังนี้ สมดุลความร้อนระหว่างความร้อนที่อากาศได้รับ (Q_{air}) และการพาความร้อนภายในท่อ (Q_{conv})

$$Q_{air} = Q_{conv} \quad (1)$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h) หาค่าได้จาก

$$h = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{A(T_w - T_b)} \quad (2)$$

เลขนัสเซิลต์เฉลี่ย (Nu) หาได้จาก

$$Nu = hD_h / k \quad (3)$$

การไหลของอากาศแสดงในเทอมของเลขเรย์โนลด์ที่ไหลภายในท่อเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกสามารถเขียนได้เป็น

$$Re = \rho V D_h / \mu \quad (4)$$

ตัวประกอบความเสียดทาน (f) หาค่าได้จาก

$$f = \frac{2}{(L/D_h)} \frac{\Delta P}{\rho U^2} \quad (5)$$

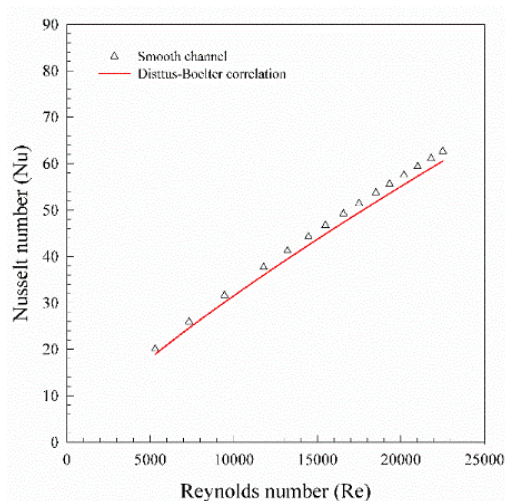
สมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) คำนวณจากเอกสารอ้างอิง [12] ดังแสดงในสมการ

$$TEF = (Nu/Nu_o) / (f/f_o)^{0.755/2.738} \quad (6)$$

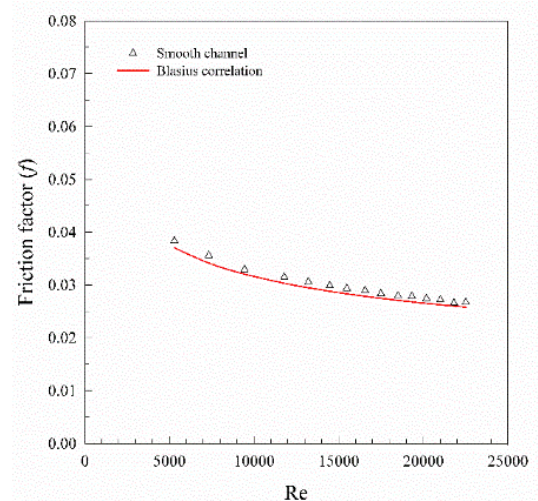
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เพื่อความถูกต้องของชุดทดลองและผลการทดลอง การทดสอบแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบจะเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter ($Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$) สำหรับการถ่ายเทความร้อนในเทอมของ Nu และสหสัมพันธ์ของ Blasius ($f = 0.316 Re^{-0.25}$) สำหรับตัวประกอบความเสียดทานในเทอมของ f จากเอกสารอ้างอิง [10,11]

ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบ Nu และ f ของผลการทดลองกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ Blasius ตามลำดับ พบว่าค่า Nu มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 7.5% ขณะที่ f มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 8.6%



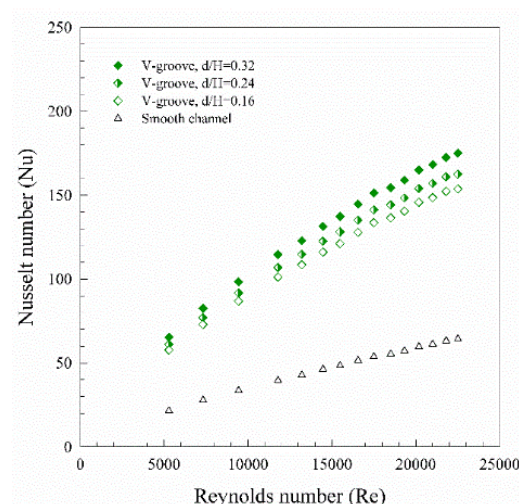
(ก)



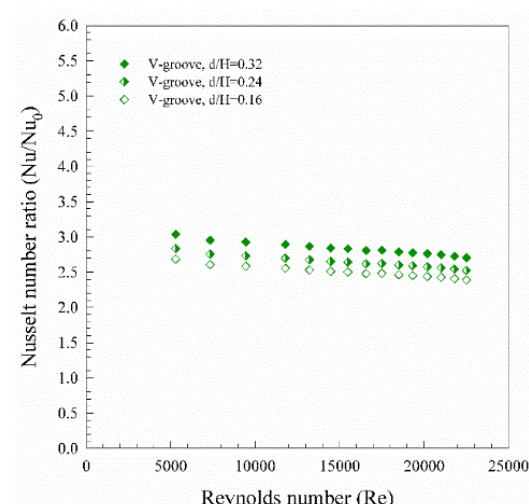
(ข)

ภาพที่ 5 การทดสอบ (ก) Nu และ (ข) f กับ Re กรณีติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ

ความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนในท่อนของเลขนัสเซลท์ (Nu) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงดังภาพที่ 6(ก) จากการทดลองพบว่า ค่า Nu มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า Re ที่เพิ่มขึ้น การเจาะรูรูปตัววี (V-groove) ที่อัตราส่วนความลึกต่อความสูงท่อ $d/H = 0.32$ มีค่า Nu สูงสุด เนื่องจากการเจาะรูที่มีความลึกมากช่วยเพิ่มระดับความปั่นป่วนภายในท่ออุ่น อากาศพลศาสตร์ได้ดีเป็นอย่างดี ส่งผลให้การพาความร้อนเกิดขึ้นได้ดีกว่าการเจาะรูที่มีความลึกน้อยๆ โดย V-groove มีค่า Nu สูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบถึง 204% ภาพที่ 6(ข) แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Nu/Nu_0 เทียบกับ Re พบว่า กรณีติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อน V-groove มีการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ โดยที่ $d/H = 0.32, 0.24$ และ 0.16 มีค่า Nu/Nu_0 อยู่ในช่วง 2.71-3.04, 2.5-2.8 และ 2.4-2.68 ตามลำดับ แสดงถึงอัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่ามากกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 2.68-3.04 เท่า



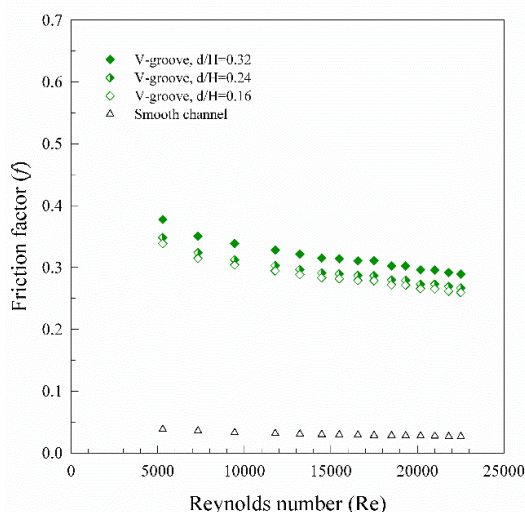
(ก)



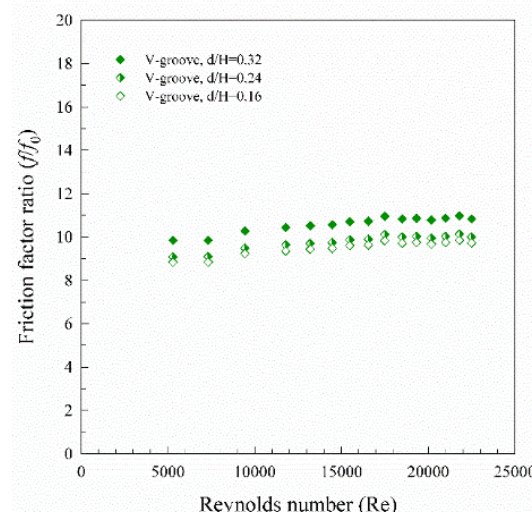
(ข)

ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) Nu และ (ข) Nu/Nu_0 กับ Re กรณีติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อน V-groove

ความสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) กับเลขเรย์โนลด์ (Re) แสดงในภาพที่ 7(ก) ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อน V-groove ช่วยเพิ่มระดับความปั่นป่วนภายในท่อส่งผลให้เกิดความต้านทานการไหลที่สูงขึ้นกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ โดยเฉพาะกรณีการเจาะร่องที่มีความลึกมากๆ ซึ่งมีค่าสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบถึง 983% ภาพที่ 7(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re ผลการทดลองพบว่า f/f_0 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ Re แผ่นดูดซับความร้อน V-groove ที่อัตราส่วน $d/H = 0.32, 0.24$ และ 0.16 มีค่า f/f_0 อยู่ในช่วง 9.85-10.84 9.1-10 และ 8.84-9.7 ตามลำดับ แสดงถึงความเสียดทานเพิ่มขึ้นมากกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 9.7-10.84 เท่า



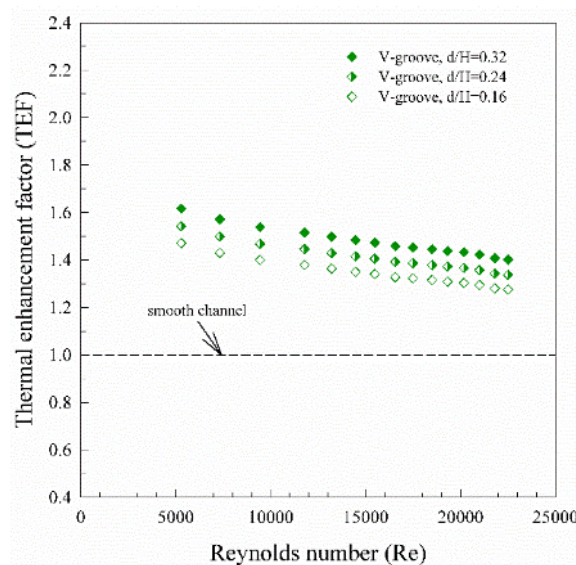
(ก)



(ข)

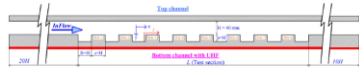
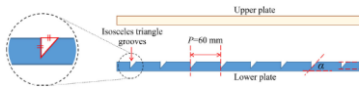
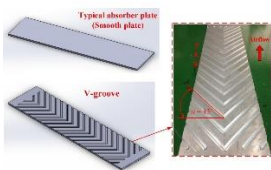
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) f และ (ข) f/f_0 กับ Re กรณีติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อน V-groove

การประเมินผลสมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แสดงในทอมสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) จากสมการที่ (6) โดยคิดที่อัตราการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) และตัวประกอบความเสียดทาน (f/f_0) แสดงดังภาพที่ 8 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re จากภาพที่แสดงพบว่าค่า TEF ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของค่า Re การติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อน V-groove มีค่า TEF สูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบทุกกรณี โดยที่ $d/H = 0.32$ มีค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 1.62 ซึ่งมีค่าสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 62% และมีค่าสูงกว่าแผ่นเจาะร่องที่วางในแนวขวาง (ทำมุม 90 องศา) กับทิศทางการไหลของอากาศจากเอกสารอ้างอิง [6,8,9] ประมาณ 8-20% ดังแสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากการเจาะร่องรูปตัววีสามารถสร้างการไหลปั่นป่วนภายในท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ได้ดีกว่าการเจาะร่องที่วางในแนวขวางเป็นอย่างมากและมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re กรณีติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อน V-groove

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงความร้อนของงานวิจัยในอดีตกับงานวิจัยปัจจุบัน

ผู้แต่ง	ลักษณะของชุดทดลอง	สมรรถนะเชิงความร้อน (TEF)
Eiamsa-ard and Promvong [6]	ร่องสี่เหลี่ยมวงแนวขวาง 	1.33
Chokphoemphun et al. [8]	ร่องสามเหลี่ยมวงแนวขวาง 	1.49
Zhang et al. [9]	ร่องโค้งวงแนวขวางผสมกับร่องปุ่ม 	1.29
งานวิจัยปัจจุบัน (พรหมวงศ์ และคณะ)	ร่องรูปตัววีมุมทำ 45° 	1.62

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ตัวประกอบความเสียดทาน และสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อน V-groove ที่มีอัตราส่วนความลึกต่างๆ ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ($Re = 5300-22,600$) แสดงให้เห็นถึงการติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อน V-groove ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบถึง 204% และมีอัตราความเสียดทานเพิ่มขึ้น 983% อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการวิเคราะห์ในแง่ของสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ พบว่า การติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อน V-groove ที่อัตราส่วนความลึก $d/H = 0.32$ เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในกรณีการศึกษานี้ เนื่องจากให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.62 โดยมีค่าสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 62% และมีค่าสูงกว่างานวิจัยในอดีตจากเอกสารอ้างอิง [6-9]

อยู่ในช่วง 5-25% ซึ่งจะเป็นแนวทางให้ทีมผู้วิจัยรวมถึงนักวิจัยที่สนใจได้นำไปใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาแผ่นดูดซับความร้อนต่อไปในอนาคตให้มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงขึ้น เช่น การปรับเปลี่ยนระยะพิทช์ของร่องและมุมปะทะของร่อง เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ทำการถนอมอาหาร การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรภายในชุมชน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dong, Z., Liu, P., Xiao, H., Liu, Z. and Liu, W. (2021). A study on heat transfer enhancement for solar air heaters with ripple surface. **Renewable Energy**. 172, 477-487.
- [2] Promvong, P., Promthaisong, P. and Skullong, S. (2022). Heat transfer augmentation in solar heat exchanger duct with louver-punched V-baffles. **Solar Energy**. 248, 103-120.
- [3] พร้อมไธสง, ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์, เพชรพิสิฐ เอี่ยมสอาด, นรินทร์ กุลนภาดล, พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ สมพล สุกุลหลง. (2565). การศึกษาเชิงทดลองสมรรถนะเชิงความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งครีบบนแผ่นดูดซับความร้อน. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**. 5 (1), 80-89.
- [4] Rashidi, S., Hormozi, F., Sundén, B. and Mahian, O. (2019). Energy saving in thermal energy systems using dimpled surface technology –A review on mechanisms and applications. **Applied Energy**. 250, 1491-1547.
- [5] Jin, D.X., Lee, Y.P. and Lee, D.Y. (2007). Effects of the pulsating flow agitation on the heat transfer in a triangular grooved channel. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 50, 3062-3071.
- [6] Eiamsa-ard, S. and Promvong, P. (2008). Numerical study on heat transfer of turbulent channel flow over periodic grooves. **International Communications in Heat and Mass Transfer**. 35, 844-852.
- [7] Luo, L., Wen, F., Wang, L., Sundén, B. and Wang, S. (2017). On the solar receiver thermal enhancement by using the dimple combined with delta winglet vortex generator. **Applied Thermal Engineering**. 111, 586-598.
- [8] Chokphoemphun, S., Hongkong, S., Thongdaeng, S. and Chokphoemphun, S. (2020). Experimental study and neural networks prediction on thermal performance assessment of grooved channel air heater. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 163, 120397.
- [9] Zhang, F., Liao, G. and Sundén, B. (2020). Numerical investigations on the effect of convexdimple streamwise arrangements on the flow and heat transfer characteristics of rectangular convex-dimple-grooved channels. **Numerical Heat Transfer, Part A: Applications**. 78, 443-460.
- [10] Incropera, F. and Dewitt P.D. (2006). **Introduction to Heat Transfer**. 5th edition. John Wiley & Sons Inc.

- [11] สมพล สกุลหลง. (2561). อุณหพลศาสตร์และกลศาสตร์ของไหลเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [12] Promvong, P., Promthaisong, P. and Skullong, S. (2022). Experimental and numerical thermal performance in solar receiver heat exchanger with trapezoidal louvered winglet and wavy groove. **Solar Energy**. 236, 153-174.

แอปพลิเคชันสำหรับการประเมินเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับศักยภาพพลังงานจากเศษ
วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ในตำบลปึงโค้ง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่
The Application for Assessing Appropriate Renewable Energy Technologies for
Agricultural Residue Energy Potential

สุรชาติ สิริช่วงโชติ¹ ธงชัย มณีชูเกตุ^{1*} สราวุธ พลวงษ์ศรี¹ และชวโรจน์ ใจสิน¹

Surachart Sirichouangchote¹, Thongchai Maneechukate^{1*}, Sarawut Polvongsri¹
and Chawaroj Jaisin¹

¹ สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹ School of Renewable Energy, Maejo University 50290

Abstract

This article presents the application for assessing the energy potential of agricultural waste, utilizing data from the 2022 agricultural registration and update database of Ping Khong Municipality, Chiang Dao District, Chiang Mai, Thailand. The application development is divided into two main components: a mobile application and a web application. The first component involves the development of the mobile application using React Native, a JavaScript framework designed for cross-platform application development, enabling a single codebase to function on both iOS and Android operating systems. The second component involves the development of the web application using Laravel framework, a PHP framework that adheres to the Model-View-Controller (MVC) architecture. Additionally, it is integrated with a MySQL database, which offers efficient SQL command processing and ease of use in managing local farmers data. The connection between the mobile application and the web application is facilitated through an Application programming interface (API) utilizing Axios technology, which supports asynchronous operations, allowing for the execution of program commands sequentially without waiting for the completion of the previous command. Furthermore, security measures are implemented to prevent Cross-site request forgery (CSRF) attacks.

This article also analyzes the biomass energy potential from agricultural waste produced by local farmers in Ping Khong Municipality, focusing on four primary biomass crops: rice, corn, mango, and longan. This data was employed to evaluate the suitability of various renewable energy technologies, including gasification, charcoal, biochar briquettes, and biomass power plants. The assessment results

indicate the following biomass energy potential: 265.44 toe from rice, 705.52 toe from corn, 255.35 toe from mango, and 400.50 toe from longan.

Keywords: Web application, Mobile application, Database, energy potential, agricultural residues, MySQL, Axios, Cross-platform

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแอปพลิเคชันสำหรับการประเมินศักยภาพพลังงานจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลการขึ้นทะเบียนและปรับปรุงทะเบียนเกษตรกร ปี 2565 ของเทศบาลตำบลปึงไค้ง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ การพัฒนาแอปพลิเคชันแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักได้แก่ โมบายแอปพลิเคชันและเว็บแอปพลิเคชัน ส่วนแรกเป็นการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันโดยใช้รีแอคทีฟเนทีฟ (React Native) ซึ่งเป็นจาวาสคริปต์เฟรมเวิร์ก (Javascript framework) สำหรับพัฒนาแอปพลิเคชันแบบครอสแพลตฟอร์ม (Cross-platform) ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมเพียงชุดเดียวแต่สามารถใช้งานได้ทั้งในระบบปฏิบัติการ ไอโอเอส (iOS) และแอนดรอยด์ (Android) ส่วนที่สองเป็นการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้ลาราวเวลเฟรมเวิร์ก (Laravel framework) ซึ่งเป็น พีเอสพีเฟรมเวิร์ก (PHP framework) ที่ดำเนินการตามสถาปัตยกรรมแบบ Model-View-Controller (MVC) อีกทั้งยังมีการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลมายเอสคิวเอล (MySQL) ที่มีประสิทธิภาพในการประมวลผลคำสั่งเอสคิวเอล (SQL) สูง และใช้งานง่ายในการจัดเก็บข้อมูลของเกษตรกรในพื้นที่ การเชื่อมต่อระหว่างโมบายแอปพลิเคชันและเว็บแอปพลิเคชันทำได้ผ่านส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application program interface, API) ที่ใช้เทคโนโลยี Axios ซึ่งรองรับการทำงานแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ซึ่งจะดำเนินการทำงานโปรแกรมทีละชุดคำสั่งและจะรันชุดคำสั่งถัดไปทันทีโดยไม่ต้องรอชุดคำสั่งก่อนหน้าทำงานเสร็จ อีกทั้งยังมีมาตรการป้องกันความปลอดภัยจากการโจมตีแบบครอสไซต์รีควีสฟอจเอร์รี่ (Cross-site request forgery, CSRF)

บทความนี้ได้วิเคราะห์ศักยภาพพลังงานชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ของกลุ่มเกษตรกรในตำบลปึงไค้ง โดยเน้นการประเมินศักยภาพของพืชหลักที่มีศักยภาพทางชีวมวล 4 ประเภท ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด มะม่วง และลำไย ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำไปใช้ในการประเมินหาความเหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีพลังงานทดแทนได้แก่ เตาเผาชีวมวล เตาเผาถ่านชีวมวล ถ่านอัดแท่ง และโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล ผลการประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลในพื้นที่พบว่า ศักยภาพจากข้าวเท่ากับ 265.44 toe ข้าวโพด 705.52 toe มะม่วง 255.35 toe และลำไย 400.50 toe

คำสำคัญ เว็บแอปพลิเคชัน โมบายแอปพลิเคชัน ฐานข้อมูล การประเมินศักยภาพพลังงาน เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มายเอสคิวเอล แอ็กซีเอส ครอสแพลตฟอร์ม

บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา จังหวัดเชียงใหม่ได้เผชิญกับปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กหรือ PM2.5 อย่างรุนแรงและต่อเนื่อง โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ตำบลปิงโค้ง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ในช่วงฤดูแล้ง และฤดูเก็บเกี่ยวพืชผล ปัญหานี้ได้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและคุณภาพชีวิตอย่างมาก ฝุ่น PM2.5 เป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ซึ่งสามารถแทรกซึมเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและกระแสเลือดได้ง่าย ส่งผลให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจ และโรคหลอดเลือดสมอง นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อเด็กและผู้สูงอายุเป็นพิเศษ สาเหตุหลักของปัญหาฝุ่น PM2.5 ในเชียงใหม่มาจากหลายแหล่ง เช่น การเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การเผาป่าเพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูก [1] เนื่องจากการเผาเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการกำจัดวัสดุเหลือใช้ของทางเกษตรกรรม ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละอองในอากาศอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งที่มีความชื้นในอากาศต่ำ และไม่มีฝนตกที่ช่วยทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลง

ในยุคปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากความจำเป็นในการลดการพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิล และการสร้างผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่มาจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรถือเป็นแนวทางหนึ่งที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นพลังงานทางเลือกที่ยั่งยืน จากการสำรวจพื้นที่เกษตรกรรมในตำบลปิงโค้ง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2560 พบว่ามีการปลูกข้าวโพดบนพื้นที่ประมาณ 19,878 ไร่ ซึ่งให้มีปริมาณผลผลิตประมาณ 15,902,400 กิโลกรัมต่อปี ทำให้มีเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้แก่ ชังและเปลือกข้าวโพด ซึ่งมีปริมาณประมาณ 3,339,540 กิโลกรัมต่อปี เศษวัสดุเหลือใช้เหล่านี้ยังไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มศักยภาพ ซึ่งนำไปสู่ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และการสูญเสียทรัพยากร การเปลี่ยนเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เป็นพลังงานทดแทนจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2]

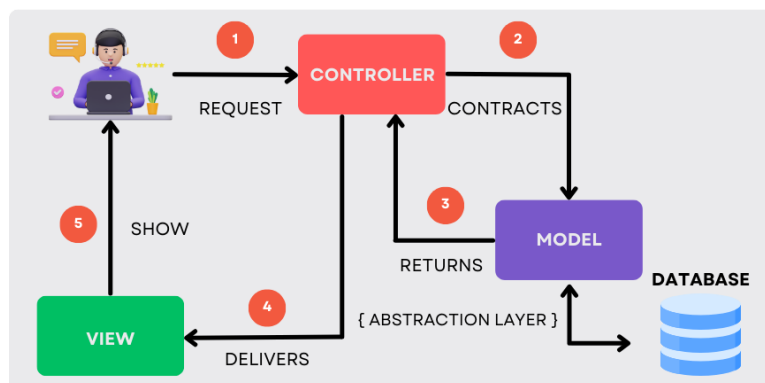
จากปัญหาที่กล่าวมาบทความนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการประเมินเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับศักยภาพพลังงานจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ในตำบลปิงโค้ง อำเภอเชียงดาวจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งการประเมินเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับศักยภาพพลังงานจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน และต้องการวิเคราะห์ข้อมูลจากหลายมิติ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพ การนำแอปพลิเคชันมาใช้ในการประเมินนี้สามารถช่วยเพิ่มความสะดวกในการเก็บรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงการแสดงผลลัพธ์ที่เข้าใจง่ายและทันสมัย แอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายผ่านอินเทอร์เน็ต ทำให้ผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูล วิเคราะห์ผล และเข้าถึงข้อมูลที่เป็นได้ทันทีทุกเวลา การนำแอปพลิเคชันมาใช้ในการประเมินเทคโนโลยีพลังงานทดแทนจะช่วยให้การประเมินมีความเป็นระบบ และเป็นมาตรฐานมากขึ้น โดยสามารถรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ เช่น ข้อมูลพื้นที่การเกษตร ข้อมูลผลผลิตทางการเกษตร และข้อมูลสภาพอากาศจากจุดตรวจวัดมาวิเคราะห์ และประเมินผลได้อย่างครอบคลุม นอกจากนี้ แอปพลิเคชันยังสามารถนำเสนอผลการประเมินในรูปแบบที่เข้าใจง่าย เช่น กราฟ แผนภูมิ และแผนที่ ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นภาพรวม และแนวโน้มของข้อมูลได้ชัดเจนขึ้น รวมถึงสามารถเปรียบเทียบเทคโนโลยีพลังงานทดแทนต่างๆ เพื่อเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วิธีการวิจัย

เว็บแอปพลิเคชัน

ลาราวเอลเฟรมเวิร์ก (Laravel framework) เป็นเฟรมเวิร์กโอเพนซอร์สสำหรับพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในหมู่นักพัฒนาทั่วโลก โดยมีจุดเด่นในด้านความง่ายต่อการใช้งานและมีเอกสารประกอบที่ครอบคลุม สถาปัตยกรรมแบบ Model-View-Controller (MVC) ที่ลาราวเอลนำมาใช้ช่วยให้การพัฒนา การบำรุงรักษา และการปรับขนาดแอปพลิเคชันเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยโมเดล (Model) จะทำหน้าที่จัดการข้อมูลของแอปพลิเคชัน ประมวลผล และส่งคำร้องขอกลับเมื่อส่วนคอนโทรลเลอร์ร้องขอข้อมูล วิว (View) จะแสดงผลข้อมูลและคอนโทรลเลอร์ (Controller) จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานระหว่างโมเดลและวิว

- โมเดล: เป็นส่วนประกอบที่ใช้แทนตารางในฐานข้อมูลและมีหน้าที่หลักในการจัดการข้อมูล เช่น การอ่าน การเขียน และการอัปเดตข้อมูล
- วิว: เป็นส่วนประกอบที่รับผิดชอบในการแสดงผลข้อมูลที่ได้จากโมเดลให้ผู้ใช้งานเห็นผ่านการแสดงออกทางหน้าเว็บ
- คอนโทรลเลอร์: ทำหน้าที่รับคำขอจากผู้ใช้งาน ประมวลผลคำขอ และส่งคำตอบกลับไปยังวิว เมื่อ คอนโทรลเลอร์ต้องการข้อมูลก็จะไปร้องขอมาจาก โมเดล และเมื่อต้องการแสดงผล ก็จะส่งไปยังวิว เพื่อจัดการแสดงผล [3]



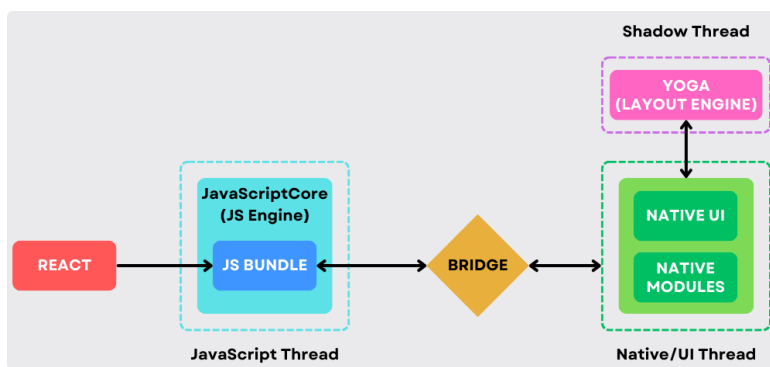
ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของรูปแบบการออกแบบ MVC [4]

โมบายแอปพลิเคชัน

สถาปัตยกรรมของรีแอคทีฟเนทีฟ (React native) เป็นรูปแบบการออกแบบที่เอื้อต่อการพัฒนาแอปพลิเคชันข้ามแพลตฟอร์ม โดยอาศัยภาษาจาวาสคริปต์เป็นหลักในการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User interface, UI) ที่สามารถทำงานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการไอโอเอส (iOS) และแอนดรอยด์ (Android) กลไกหลักของรีแอคทีฟเนทีฟ คือการใช้บริดจ์ (Bridge) เพื่อเชื่อมต่อระหว่างโค้ดจาวาสคริปต์ (Javascript) กับโค้ดเนทีฟ (Native) ของแต่ละแพลตฟอร์ม ทำให้สามารถเข้าถึงฟังก์ชันการทำงานในระดับต่ำของอุปกรณ์ได้อย่างเต็มที่

จาวาสคริปต์เวอร์ชวลแมชีน (JavaScript virtual machine) หรือที่เรียกว่า จาวาสคริปต์บันเดิล (JavaScript bundle) ทำหน้าที่รันโค้ดจาวาสคริปต์ทั้งหมดภายในแอปพลิเคชัน โดยอาศัยเครื่องมือจาวาสคริปต์เอนจิน (JavaScript core) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบปฏิบัติการไอโอเอส และถูกบรรจุเข้าไปในแอปพลิเคชันสำหรับแอนดรอยด์ (Android bridge) จะทำหน้าที่แปลงโค้ดจาวาสคริปต์ให้เป็นโค้ดเนทีฟที่สอดคล้องกับแพลตฟอร์มนั้น ๆ เพื่อให้สามารถเรนเดอร์ส่วนประกอบ UI ได้อย่างถูกต้อง

การทำงานแบบหลายเธรดเป็นอีกหนึ่งจุดเด่นของรีแอคทีฟเนทีฟโดยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 เธรดหลัก ได้แก่ จาวาสคริปต์เธรด (JavaScript thread) ชาโดว์เธรด (Shadow thread) เนทีฟ/ยูไอเธรด (Native/UI thread) ซึ่งจาวาสคริปต์เธรด รับผิดชอบในการประมวลผลตรรกะทางธุรกิจ (Business logic layer) และการเรียกใช้ API ขณะที่ชาโดว์เธรดจะทำการคำนวณเลย์เอาต์ของ UI และส่งผลลัพธ์ไปยังเนทีฟ/ยูไอเธรดซึ่งเป็นเธรดที่รับผิดชอบในการอัปเดตส่วนติดต่อผู้ใช้บนหน้าจอการแบ่งการทำงานแบบนี้ช่วยให้แอปพลิเคชันทำงานได้อย่างราบรื่นและตอบสนองต่อผู้ใช้ได้ดีขึ้น การสื่อสารระหว่างเธรดเกิดขึ้นผ่านกลไกการส่งข้อความเจสัน (JSON) แบบอะซิงโครนัส ซึ่งบริดจ์จะทำหน้าที่ถ่ายทอดข้อมูลระหว่างเธรดต่าง ๆ โดยแปลงข้อมูลเป็นรูปแบบ JSON เพื่อให้สามารถส่งผ่านข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5]



ภาพที่ 2 สถาปัตยกรรมของ Native thread [6]

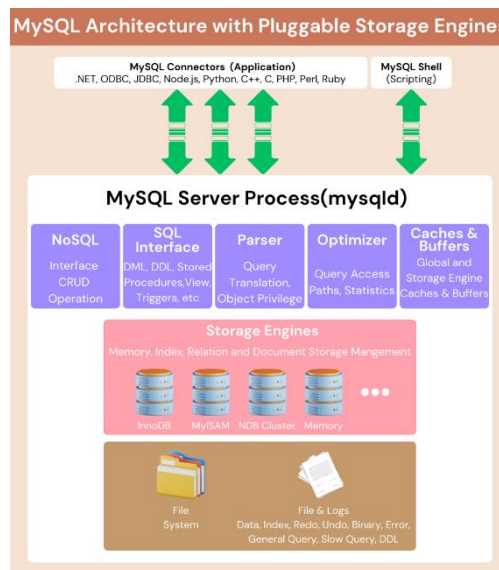
ฐานข้อมูล

มายเอสคิวเอล (MySQL) เป็นระบบที่ใช้ในการจัดการกับฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational database management system, RDBMS) ที่เปิดให้ใช้งานโดยทั่วไป (Open source) และได้รับความนิยมอย่างสูงทั่วโลก เนื่องจากมีความน่าเชื่อถือ พร้อมกับประสิทธิภาพในการประมวลผลคำสั่ง SQL สูง และใช้งานง่าย ทำให้ถูกนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลหลักสำหรับเว็บไซต์ และแอปพลิเคชันจำนวนมาก ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เช่น Yahoo!, Google, และ Facebook

จุดเด่นของ MySQL:

- ประสิทธิภาพสูง: MySQL มีความโดดเด่นในด้านความเร็วในการประมวลผลคำสั่ง SQL โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการสอบถามข้อมูล ทำให้สามารถจัดการกับปริมาณข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ความยืดหยุ่น: สามารถรองรับการทำงานได้บนระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย และรองรับการเชื่อมต่อกับภาษาโปรแกรมต่างๆ

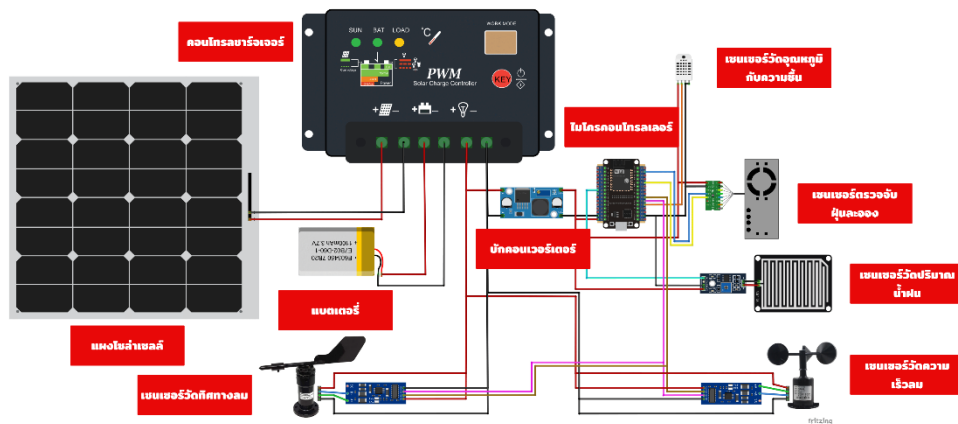
- ความน่าเชื่อถือ: ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความเสถียรและสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องเปิดให้ใช้งานโดยทั่วไป: สามารถดาวน์โหลดและใช้งาน MySQL ได้ฟรี [7]



ภาพที่ 3 MySQL Architecture with Pluggable storage engines [8]

เซ็นเซอร์จุดตรวจวัดสภาพอากาศ

ระบบตรวจวัดสภาพอากาศมีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งรองรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi ที่ช่วยในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์และไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยระบบสามารถวัดค่าต่างๆ ได้อย่างครอบคลุม เช่น อุณหภูมิ, ความชื้น, ความเร็วลม, ทิศทางลม, ปริมาณน้ำฝน และปริมาณค่าฝุ่น PM นอกจากนี้ระบบยังถูกออกแบบให้สามารถส่งข้อมูลสภาพอากาศไปยังระบบคลาวด์และถูกจัดเก็บในฐานข้อมูล MySQL โดยมีลาราวเวลเป็นตัวกลางระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับฐานข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ พร้อมกับนำเสนอผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็ว และสะดวกสบาย ซึ่งจะคล้ายกับงานวิจัย [9] ที่มีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 มาเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ DHT11 โดยผ่านพินอินพุต/เอาต์พุตเอนกประสงค์ (GPIO) ของ ESP32 ซึ่งใช้ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นและส่งข้อมูลสถานะของอุปกรณ์และข้อมูลสภาพอากาศที่ถูกรวบรวมเอาไว้แล้ว ส่งไปจัดเก็บยังฐานข้อมูล MySQL สามารถเข้าถึงระบบที่พัฒนาขึ้นนี้และควบคุมได้ผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อผู้ใช้ที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับสมาร์ทโฟนหรือคอมพิวเตอร์จากที่ใดก็ได้ทั่วโลก และตรวจสอบข้อมูลสภาพอากาศผ่านอินเทอร์เน็ตได้อย่างสะดวก



ภาพที่ 4 แบบไดอะแกรมแผนผังจุดเชื่อมต่อวงจรภายในของระบบ



ภาพที่ 5 กล่องระบบตรวจวัดสภาพอากาศ

การประเมินศักยภาพของชีวมวล

การประเมินศักยภาพชีวมวลตัวแปรที่มีส่วนเกี่ยวข้องสำหรับการประเมินศักยภาพชีวมวลคือ ค่าสัดส่วนการเกิดวัสดุเหลือใช้ (Residue to product ratio, RPR) และค่าสัดส่วนปริมาณชีวมวลที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์ (Surplus availability factor, SAF) [10]

ซึ่งวิธีการหาค่าสัดส่วนการเกิดวัสดุเหลือใช้ ประเมินได้จากสมการที่ 1

$$CR = A \times Y \times RPR \quad (1)$$

เมื่อ CR คือ ปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้ง, kg
 A คือ พื้นที่การเพาะปลูก, ไร่

Y คือ ปริมาณผลผลิต, ton/rai
RPR คือ ค่าสัดส่วนการเกิดวัสดุเหลือใช้, %

ค่า RPR ขึ้นอยู่กับประเภทของชีวมวลในแต่ละพื้นที่

ตารางที่ 1 แสดงค่าสัดส่วนของปริมาณเศษวัสดุต่อผลผลิตของชีวมวล

รายการ	พืชผล	ผลผลิต (กก./ไร่)	ชีวมวล	RPR (ร้อยละ)
				Lower value
1	ข้าว	599	แกลบ	0.11
			ฟางข้าว	0.31
2	ข้าวโพด	866	ต้นข้าวโพด	0.82
			ซังข้าวโพด	0.18
3	มะม่วง	1,000	กิ่งไม้มะม่วง	0.10
4	ลำไย	919	กิ่งไม้ลำไย	0.10

การประเมินค่าสัดส่วนปริมาณชีวมวลที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์ สามารถประเมินได้จากสมการที่ 2

$$AR=CR\times SAF \quad (2)$$

เมื่อ AR คือ ปริมาณชีวมวลเหลือจากการใช้ประโยชน์, kg
SAF คือ ร้อยละของปริมาณชีวมวลที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ต่างๆ

ค่า SAF ขึ้นอยู่กับประเภทของพื้นที่ ตารางที่ 2 แสดงค่าร้อยละของปริมาณชีวมวลที่เหลือจากการใช้ประโยชน์

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าความร้อนและค่าร้อยละของปริมาณชีวมวลที่เหลือจากการใช้ประโยชน์

รายการ	พืชผล	เศษวัสดุ	ค่าความร้อน	SAF
			(MJ/kg)	
1	ข้าว	แกลบ	13.52	0.493
		ฟางข้าว	12.33	0.684
2	ข้าวโพด	ต้นข้าวโพด	9.83	1
		ซังข้าวโพด	9.62	0.670
3	มะม่วง	กิ่งไม้มะม่วง	18.98	1
4	ลำไย	กิ่งไม้ลำไย	17.35	1

การประเมินศักยภาพทางด้านพลังงาน สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 3

$$HI=AR \times HV \quad (3)$$

เมื่อ HI คือ ค่าความร้อน, MJ
 HV คือ ค่าความร้อนของชีวมวล, MJ/kg

การประเมินศักยภาพด้านพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ตัวแปรที่มีส่วนเกี่ยวข้องสำหรับการประเมินศักยภาพคือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ (Electricity output, EO) ค่าพลังงานความร้อนที่นำเข้าสู่ระบบ (Heat input, HI) และตัวแปรในการแปลงหน่วย (Conversion factor) ซึ่งสามารถคำนวณได้สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 4 [11]

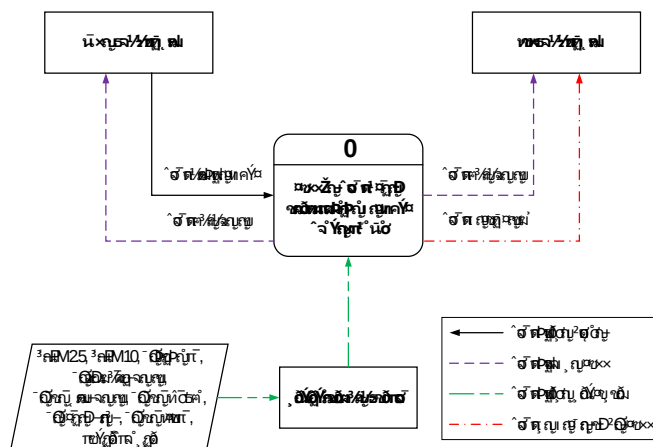
$$EO=HI \times CF \times \eta_e \quad (4)$$

เมื่อ EO คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ, MWh/year
 HI คือ ค่าพลังงานความร้อนที่นำเข้าสู่ระบบ, MJ/year
 CF คือ ตัวแปรในการแปลงหน่วย เท่ากับ $\frac{1\text{MWh}}{3600\text{MJ}}$
 η_e คือ ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า, (%)

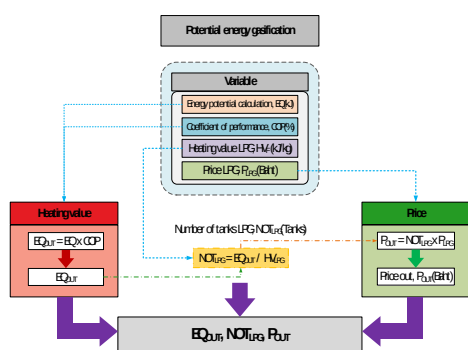
ตารางที่ 3 แสดงค่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า [12]

รายการ	พืชผล	ชีวมวล	Electrical Efficiency (%)
1	ข้าว	แกลบ	14.54
		ฟางข้าว	0
2	ข้าวโพด	ต้นข้าวโพด	0
		ซังข้าวโพด	16.89
3	มะม่วง	กิ่งไม้มะม่วง	11.93
4	ลำไย	กิ่งไม้ลำไย	11.93

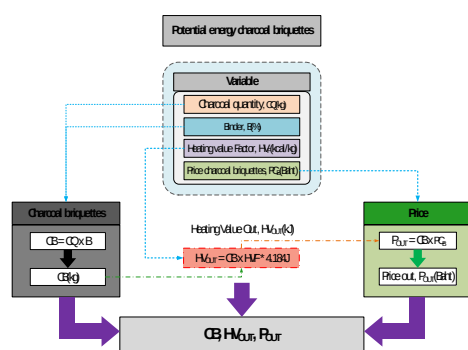
การประเมินศักยภาพทางด้านพลังงานมีผลลัพธ์ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความหลากหลายของประเภทชีวมวลที่ปรากฏในแต่ละพื้นที่ ค่าความร้อนที่ได้จึงมีการแปรผันตามลักษณะและปริมาณของชีวมวลนั้นๆ



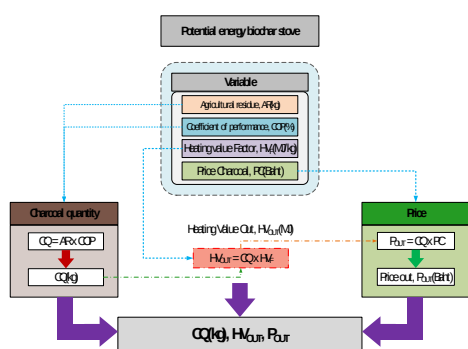
ภาพที่ 6 ภาพรวมการทำงานของแอปพลิเคชันการประเมิน



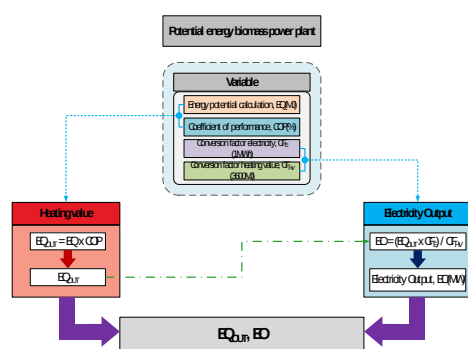
ภาพที่ 7 แผนผังการประเมินศักยภาพพลังงานของเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน



ภาพที่ 9 แผนผังการประเมินศักยภาพพลังงานของเทคโนโลยีถ่านอัดแท่ง



ภาพที่ 8 แผนผังการประเมินศักยภาพพลังงานของเทคโนโลยีเตาเผาถ่านชีวมวล



ภาพที่ 10 แผนผังการประเมินศักยภาพพลังงานของเทคโนโลยีโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล

ตารางที่ 4 รายละเอียดค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้สำหรับการคำนวณ

เทคโนโลยี	ชนิดเทคโนโลยี	ขนาด	ค่าแฟคเตอร์					
			ฟางข้าว	แกลบ	ต้นข้าวโพด	ซังข้าวโพด	เศษกิ่งไม้มะม่วง	เศษกิ่งไม้ลำไย
เตาแก๊สซีพีเคชั่น	แบบDowndraft	30 kg				6%		
เตาเผาถ่านซีมวล	-	200 L			31%		36%	
โรงไฟฟ้าชีวมวล	แบบ Open Top Downdraft	1.2 MW	0	14.54	0	16.89		11.93
ถ่านอัดแท่ง	แบบอัดเย็น	-				ตัวประสาน 1%		

ตารางที่ 5 ค่าความร้อนของชีวมวลแต่ละชนิดที่ใช้สำหรับการคำนวณ

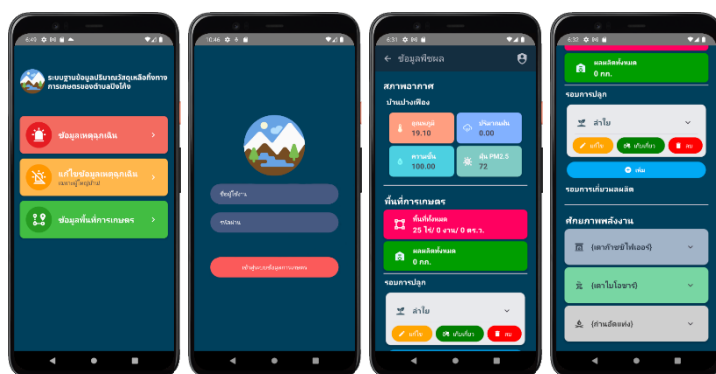
เทคโนโลยี	ค่าความร้อนของชีวมวล (kJ/kg)					
	ฟางข้าว	แกลบ	ต้นข้าวโพด	ซังข้าวโพด	เศษกิ่งไม้มะม่วง	เศษกิ่งไม้ลำไย
เตาเผาถ่านชีวมวล	17,991.20	16,108.40	0	18,995.36	19,012.09	27,324.74
ถ่านอัดแท่ง	15,760	17,200	0	19,591.16	31,170.80	23,053.21

ตารางที่ 6 ค่าความร้อนก๊าซหุงต้ม ราคาก๊าซหุงต้ม และราคาถ่านที่ใช้สำหรับการคำนวณ

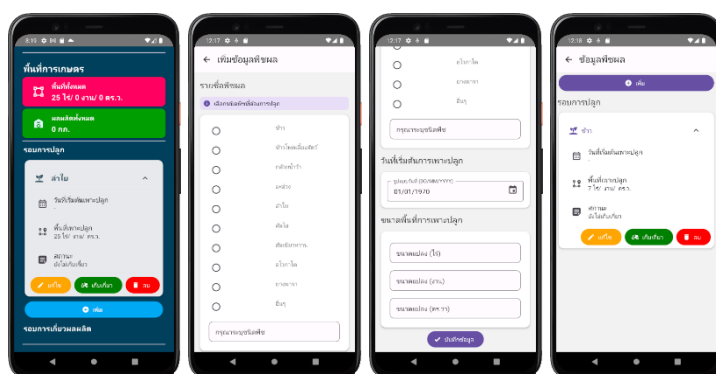
ก๊าซหุงต้ม (LPG)		ราคาถ่าน (บาท/kg)	
ค่าความร้อน (kJ/kg)	ราคา (บาท/kg)	ถ่านชีวมวล	ถ่านอัดแท่ง
50,220	30.50	15	20

การออกแบบโมบายแอปพลิเคชัน

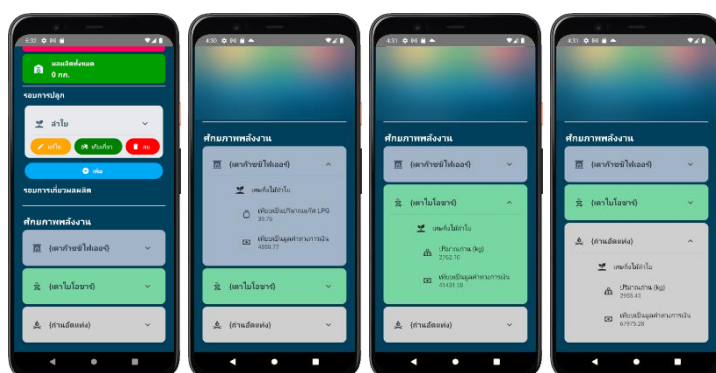
บทความนี้ได้นำเสนอโมบายแอปพลิเคชันที่เหมาะสมกับเกษตรกรในพื้นที่ เพื่อลดความซับซ้อนในการกรอกข้อมูลจากเดิมที่ต้องใช้เอกสารในการกรอกข้อมูล โดยโมบายแอปพลิเคชันถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานได้ง่าย และมีรูปแบบ (UI) ที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งทำงานร่วมกับอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งพร้อมด้วยระบบหลังบ้านที่คอยจะทำหน้าที่ประมวลผลอยู่บนระบบคลาวด์ และส่งผลข้อมูลการวิเคราะห์กลับมายังโมบายแอปพลิเคชัน นอกจากนี้ โมบายแอปพลิเคชันยังสามารถนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นประสิทธิภาพและแนวโน้มของเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับศักยภาพพลังงานจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนข้อมูลสภาพอากาศ, ส่วนข้อมูลพื้นที่การเกษตร และส่วนข้อมูลศักยภาพพลังงาน



ภาพที่ 11 ภาพรวมของเมนูโมบายแอปพลิเคชัน และหน้าจอของส่วนข้อมูลสภาพอากาศ



ภาพที่ 12 หน้าจอของส่วนข้อมูลพื้นที่การเกษตร



ภาพที่ 13 หน้าจอของส่วนข้อมูลศักยภาพพลังงาน

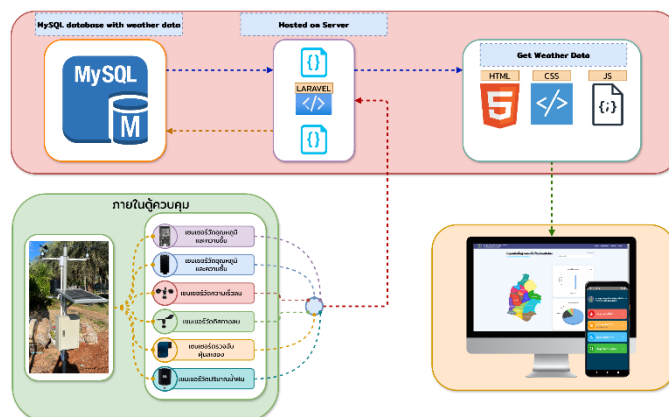
- ส่วนข้อมูลสภาพอากาศ

จากรูปที่ 11 เป็นเมนูข้อมูลสภาพอากาศสำหรับให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสภาพอากาศ ณ พื้นที่ปัจจุบันของผู้ใช้งานได้สำหรับให้เกษตรกรสามารถคำนวณ และวางแผนเรื่องการเพาะปลูกได้ง่ายขึ้น ซึ่งข้อมูลสภาพอากาศได้รับข้อมูลมาจากเครื่องวัดสภาพอากาศด้วยระบบเซนเซอร์ รายงานสถานการณ์สภาพอากาศแบบเรียลไทม์ (Real time) ที่ติดตั้งภายในพื้นที่ 11 จุด



ภาพที่ 14 แสดงจุดติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 11 จุด

จากรูปที่ 14 แสดงจุดติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพอากาศทั้ง 11 จุดเพื่อตรวจวัดและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณค่าฝุ่น PM 2.5 ค่าอุณหภูมิ/ความชื้นอากาศ ความเร็วลม ค่าทิศทางลม ปริมาณน้ำฝน ค่าความเข้มแสง ในพื้นที่เกษตรกรสามารถใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดสภาพอากาศช่วยตัดสินใจบริหารจัดการการเพาะปลูกในพื้นที่ตนเองได้



ภาพที่ 15 หลักการเบื้องต้นของเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพอากาศ

จากรูปที่ 15 แสดงการทำงานในภาพรวม ระบบจะทำการอ่านค่าจากเซนเซอร์ต่างๆ ที่เชื่อมต่อกันกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์หลังจากรับข้อมูลจากเซนเซอร์แล้วก็จะนำมาเก็บในตัวแปรที่สร้างขึ้นมา โดยการที่จะส่งข้อมูลต่าง ๆ ไปยังระบบหลังบ้านที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากลาราวเอลเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่เข้ามาในระบบ ต่อจากนั้นระบบหลังบ้านจะดำเนินการประมวลผลข้อมูลที่รับเข้ามาเพื่อส่งต่อไปยังส่วนที่ติดต่อกับฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บชุดข้อมูลที่เข้ามายัง

ระบบสำหรับบันทึกข้อมูลไปยังคลาวด์เซิร์ฟเวอร์และแสดงข้อมูลออกมาทางหน้าจอเพื่อใช้ผู้ใช้งานได้ทราบถึงค่า ฝุ่น PM 2.5 อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ ความเข้มแสง ปริมาณน้ำฝน ทิศทางลม ความเร็วลม ที่แสดงออกมาเป็นตัวเลขให้ง่ายต่อการติดตามข้อมูล

- ส่วนข้อมูลพื้นที่การเกษตร

จากรูปที่ 12 เป็นเมนูข้อมูลการเกษตรสำหรับให้ผู้ใช้งานกรอกข้อมูล ชนิดพืช, วันที่เริ่มต้นการเพาะปลูก, วันที่เก็บเกี่ยว, ปริมาณผลผลิต ซึ่งชุดข้อมูลเหล่านี้เป็นแหล่งข้อมูลต้นทางในการประเมินหาศักยภาพพลังงานทดแทนจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

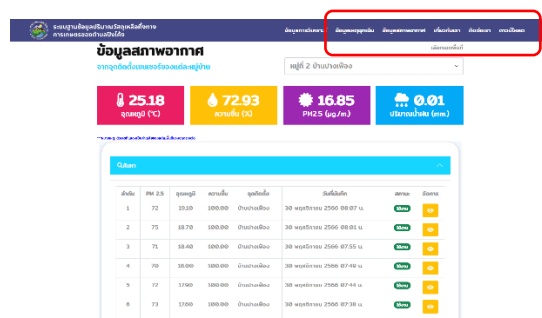
- ส่วนข้อมูลศักยภาพพลังงาน

จากรูปที่ 13 เป็นเมนูข้อมูลศักยภาพพลังงานสำหรับให้ผู้ใช้งานได้ทราบถึงศักยภาพจากเศษวัสดุเหลือจากข้อมูลที่ได้รับมาจากส่วนของข้อมูลการเกษตร ที่ผู้ใช้งานระบุ ชนิดพืช วันที่เริ่มต้นการเพาะปลูก พื้นที่การเกษตร ปริมาณผลผลิตซึ่งข้อมูลชุดนี้จะถูกส่งไปยังระบบหลังบ้านสำหรับการนำชุดข้อมูลที่ได้มาคำนวณกับตัวแปรที่มีส่วนเกี่ยวข้องสำหรับการประเมินศักยภาพชีวมวลตามสมการที่ระบุในหัวข้อที่ 2.1.5 การประเมินศักยภาพของชีวมวล เพื่อหาศักยภาพพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับในพื้นที่ของผู้ใช้งาน

การออกแบบเว็บแอปพลิเคชัน

บทความนี้ได้นำเสนอเว็บแอปพลิเคชันที่เหมาะสมกับเกษตรกรในพื้นที่ ที่รวบรวมข้อมูลมาจากฐานข้อมูล ช่วยให้สามารถตรวจสอบ ข้อมูลสภาพอากาศ ข้อมูลการวิเคราะห์ ซึ่งเว็บแอปพลิเคชันช่วยให้เกษตรกรเข้าถึงข้อมูลเชิงลึกแบบเรียลไทม์เกี่ยวกับข้อมูลสภาพอากาศ ข้อมูลการประเมินศักยภาพพลังงาน ช่วยให้ผู้ใช้งานตัดสินใจหรือวางแผนในอนาคตได้ ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ

- 1) เมนูข้อมูลสภาพอากาศ
 - 2) เมนูข้อมูลการวิเคราะห์
- เมนูข้อมูลสภาพอากาศ

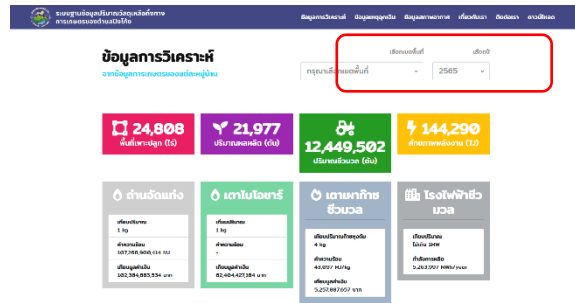


ภาพที่ 16 หน้าจอของเว็บแอปพลิเคชันส่วนข้อมูลสภาพอากาศ

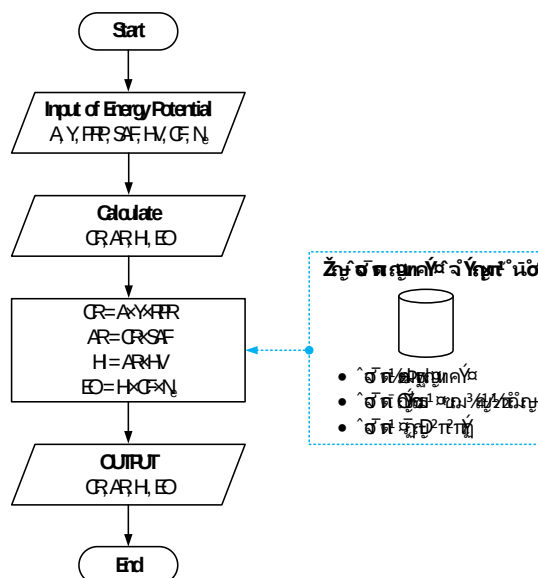
จากรูปที่ 16 เป็นเมนูข้อมูลสภาพอากาศสำหรับให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสภาพอากาศภาพรวมทั้ง 11 จุด หรือเลือกเฉพาะพื้นที่ที่ต้องการจะตรวจสอบสภาพอากาศได้จากปุ่มตัวเลือกตรงหัวข้อ เลือกเขตพื้นที่ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเลือกข้อมูล ซึ่งข้อมูลเขตพื้นที่จะสอดคล้องกับสถานที่ตามที่ได้ดำเนินการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพอากาศซึ่งข้อมูลจะประกอบไปด้วย ปริมาณค่าฝุ่น PM 2.5 ค่าอุณหภูมิ/ความชื้นอากาศ ความเร็วลม ค่าทิศทางลม

ปริมาณน้ำฝน ค่าความเข้มแสง อีกทั้งยังสามารถเข้าไปดูแผนที่จุดติดตั้งเซนเซอร์ที่ได้จัดเก็บเอาไว้เพื่อให้ง่ายต่อการติดตามข้อมูลในกรณีที่เกิดปัญหา

- เมนูข้อมูลการวิเคราะห์



ภาพที่ 17 หน้าจอของเมนูข้อมูลการวิเคราะห์



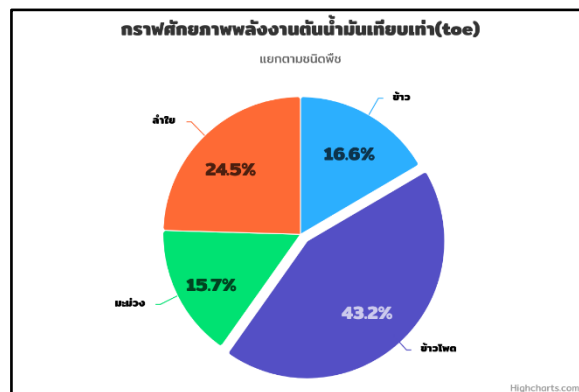
ภาพที่ 18 ผังงานการทำของโมเดลการประเมินศักยภาพพลังงาน

จากรูปที่ 17 เป็นเมนูข้อมูลการวิเคราะห์ ที่จะวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานทดแทนที่ได้รับข้อมูลมาจากข้อมูลที่ผู้ใช้งานกรอกเข้ามายังระบบโดยผ่านโมบายแอปพลิเคชัน ซึ่งชุดข้อมูลถูกส่งไปยังระบบหลังบ้าน หลังจากทีระบบหลังบ้านได้ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแล้ว จะส่งไปเก็บยังฐานข้อมูล เมื่อผู้ใช้งานเข้ามายังเมนูการวิเคราะห์ระบบ จะดำเนินการดึงข้อมูลส่งมายังระบบหลังบ้านต่อจากนั้นระบบหลังบ้านจะดำเนินการนำชุดค่าสิ่งที่ได้นำเงื่อนไขและค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้สำหรับการประเมินหาค่าศักยภาพพลังงานทดแทนมาคำนวณ โดยผลลัพธ์จะแสดงออกมาเป็นลักษณะข้อมูลภาพรวม และกราฟ ซึ่งจะประกอบไปด้วยข้อมูล พื้นที่เพาะปลูก (ไร่) ปริมาณผลผลิต (ตัน) ปริมาณชีวมวล (ตัน) ศักยภาพพลังงาน (TJ) อีกทั้งจะมีข้อมูลสรุปเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ประกอบไปด้วยเทคโนโลยี ถ่านอัดแท่ง (Biochar briquettes) เตาเผาถ่านชีวมวล (Charcoal) เตาเผาก๊าซชีวมวล (Gasification stove) และโรงไฟฟ้า

ชีวมวล (Biomass power plant) ผู้ใช้งานสามารถเลือกเขตพื้นที่ ปีของข้อมูล ได้ตรงปุ่มตัวเลือกตรงหัวข้อ เลือกเขตพื้นที่ เลือกปี เพื่ออำนวยความสะดวกในการเลือกข้อมูล ซึ่งข้อมูลเขตพื้นที่จะสอดคล้องกับตามข้อมูลที่ถูกรับทึกในฐานข้อมูล ทำให้ผู้ใช้งานหรือผู้ที่สนใจได้ทราบถึงศักยภาพพลังงานทดแทนในพื้นที่ได้

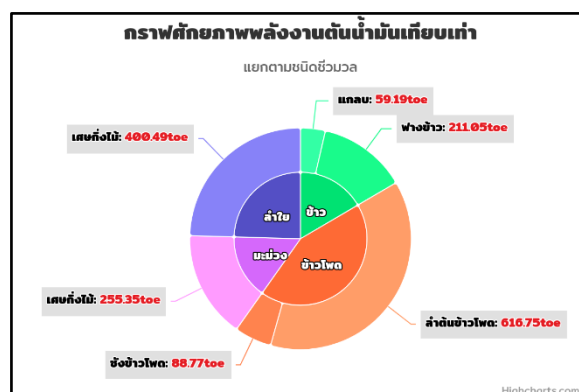
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ศักยภาพพลังงานจากชีวมวล



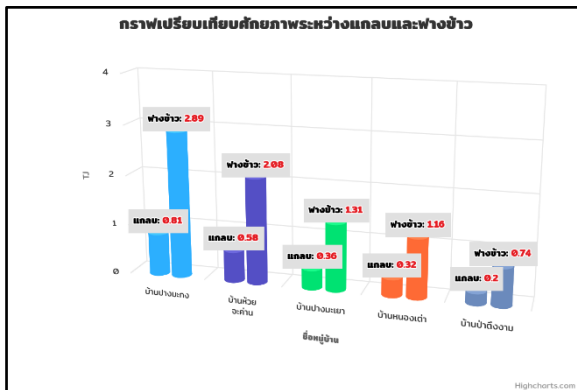
ภาพที่ 19 เปรียบเทียบศักยภาพพลังงาน แยกตามชนิดพืช

ข้อมูลการประเมินศักยภาพพลังงานจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของ ตำบลปึงโค้ง จากรูปที่ 19 พบว่า ศักยภาพพลังงานจากข้าวโพด มีศักยภาพมากที่สุดคิดเป็น 29.54 TJ รองลงมาลำไย คิดเป็น 16.77 TJ ถัดลงมาข้าว คิดเป็น 11.31 TJ และสุดท้ายมะม่วง คิดเป็น 10.63 TJ มีศักยภาพพลังงานโดยรวมอยู่ที่ 68.25 TJ หรือเทียบเท่าน้ำมันดิบได้ 1,630.16 toe

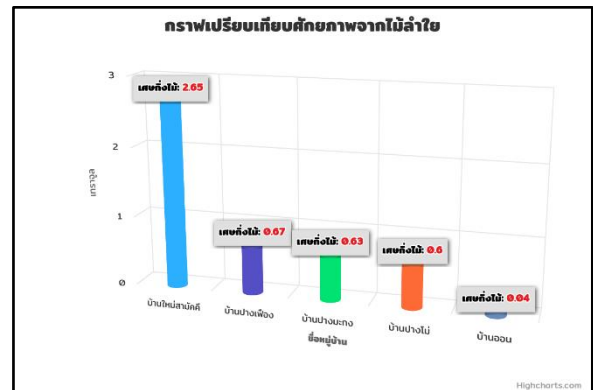


ภาพที่ 20 เปรียบเทียบศักยภาพพลังงาน แยกตามชนิดชีวมวล

จากรูปที่ 20 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลแยกตามชนิดของชีวมวล พบว่า ศักยภาพพลังงานจากลำต้นข้าวโพด มีศักยภาพมากที่สุดคิดเป็น 25.82 TJ รองลงมาคือเศษกิ่งไม้ลำไย คิดเป็น 16.77 TJ ถัดลงมาคือเศษกิ่งไม้มะม่วง คิดเป็น 10.63 TJ ถัดลงมาคือฟางข้าว คิดเป็น 8.84 TJ ถัดลงมาคือซังข้าวโพด คิดเป็น 3.72 TJ และสุดท้ายคือแกลบ คิดเป็น 2.48 TJ มีศักยภาพพลังงานโดยรวมอยู่ที่ 68.25 TJ หรือเทียบเท่าน้ำมันดิบได้ 1,630.16 toe



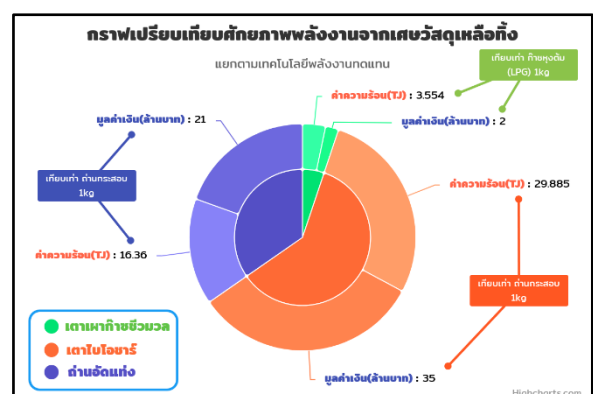
ภาพที่ 21 กราฟเปรียบเทียบศักยภาพระหว่างแกลบและฟางข้าว



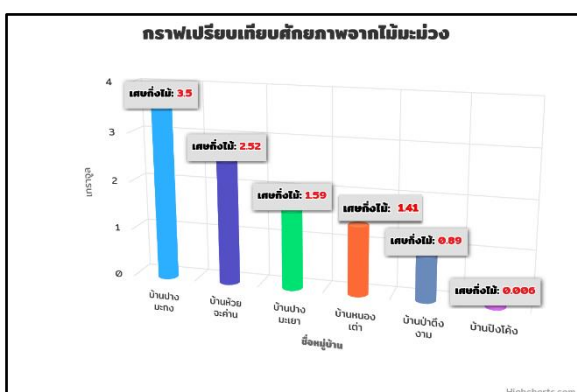
ภาพที่ 24 กราฟเปรียบเทียบศักยภาพจากเศษกิ่งไม้ลำไย



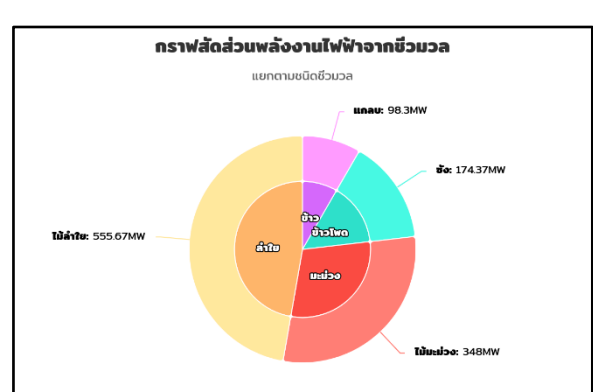
ภาพที่ 22 กราฟเปรียบเทียบศักยภาพระหว่างลำต้นข้าวโพดและซังข้าวโพด



ภาพที่ 25 กราฟเปรียบเทียบพลังงานจากเศษวัสดุเหลือทิ้ง แยกตามเทคโนโลยีพลังงานทดแทน



ภาพที่ 23 กราฟเปรียบเทียบศักยภาพจากเศษกิ่งไม้มะม่วง



ภาพที่ 26 กราฟสัดส่วนพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล แยกตามชนิดชีวมวล

- ศักยภาพพลังงานจากพืชชีวมวลชนิดข้าว

จากภาพที่ 21 แสดงข้อมูลการประเมินศักยภาพพลังงานเศษวัสดุเหลือทิ้งจากข้าว พบว่าบ้านปางมะกง มีศักยภาพมากที่สุดโดยชนิดชีวมวลคือฟางข้าวคิดเป็น 2.89 TJ, แกลบคิดเป็น 0.81 TJ ส่วนศักยภาพน้อยที่สุดคือ บ้านป่าดงงาม อยู่ที่ 0.74 TJ ของฟางข้าว และ 0.20 TJ ของแกลบ

- ศักยภาพพลังงานจากพืชชีวมวลชนิดข้าวโพด

จากรูปที่ 22 บ้านปิงโค้งมีเนื้อที่การเพาะปลูกจำนวนเยอะที่สุดจึงส่งผลให้มีศักยภาพพลังงานเศษวัสดุเหลือทิ้งจากลำต้นข้าวโพด ปริมาณที่สูงอยู่ที่ 11.24 TJ, ส่วนเศษวัสดุเหลือทิ้งของซังข้าวโพดอยู่ที่ 1.61 TJ รองลงมามีบ้านแม่มะกุ่มี ศักยภาพพลังงานของลำต้นข้าวโพดอยู่ที่ 6.99 TJ, 1.00 ของซังข้าวโพด จะเห็นว่า ศักยภาพพลังงานเศษวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพด มีศักยภาพพลังงานสูงที่สุดจึงเหมาะนำมาแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานเพื่อนำมาใช้ในพื้นที่

- ศักยภาพพลังงานจากพืชชีวมวลชนิดเศษกิ่งไม้มะม่วง

จากภาพที่ 23 แสดงข้อมูลการประเมินศักยภาพพลังงานเศษวัสดุเหลือทิ้งจากเศษกิ่งไม้มะม่วง พบว่าบ้านปางมะเยากับบ้านหนองเต่า มีศักยภาพในระดับปานกลางอยู่ที่ 1.59 TJ, 1.41 TJ ตามลำดับ

- ศักยภาพพลังงานจากพืชชีวมวลชนิดเศษกิ่งไม้ลำไย

จากรูปที่ 24 ผลลัพธ์จากการประเมินศักยภาพพลังงานเศษวัสดุเหลือทิ้งจากกิ่งไม้ลำไยพบว่า มี 3 หมู่บ้านที่มีศักยภาพใกล้เคียงกันได้แก่ บ้านปางเพื่อง 0.67 TJ รองลงมาคือบ้านปางมะกง 0.63 TJ และสุดท้ายคือ 0.60 TJ ซึ่งหมู่บ้านใหม่สามัคคีมีศักยภาพมากที่สุด 2.65 TJ และศักยภาพต่ำสุดคือบ้านออน 0.04 TJ

ศักยภาพพลังงานจากชีวมวล แยกตามเทคโนโลยีพลังงานทดแทน

- เทคโนโลยีพลังงานทดแทน เตาเผาก๊าซชีวมวล เตาเผาถ่านชีวมวล ถ่านอัดแท่ง

จากภาพที่ 25 แสดงการประเมินเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับศักยภาพพลังงานจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในพื้นที่พบว่าเทคโนโลยีพลังงานทดแทนจากเตาเผาถ่านชีวมวล มีค่าความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 29.885 TJ (เทียบเท่า ถ่านกระสอบ 1 kg) หรือคิดเป็นมูลค่า 35,269,751.83 บาท (เทียบเท่า ถ่านกระสอบ 1 kg) รองลงมาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนจากถ่านอัดแท่งมีค่าความร้อนคือ 16.36 TJ (เทียบเท่า ถ่านกระสอบ 1 kg) หรือคิดเป็นมูลค่า 21,269,751.83 บาท (เทียบเท่า ถ่านกระสอบ 1 kg) และสุดท้ายเทคโนโลยีจากเตาเผาก๊าซชีวมวลมีค่าความร้อนคือ 3.554 TJ (เทียบเท่า ก๊าซหุงต้ม(LPG) 1 kg) หรือคิดเป็นมูลค่า 2,158,741.52 บาท (เทียบเท่า ก๊าซหุงต้ม(LPG) 1 kg)

- โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล

ตารางที่ 7 แสดงผลศักยภาพพลังงานจากเศษวัสดุทางการเกษตรเหลือใช้ตำบลปิงโค้ง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่

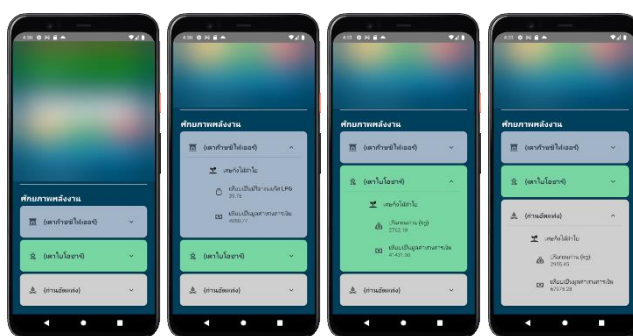
ลำดับ	ชนิดชีวมวล	ปริมาณวัสดุเหลือทิ้ง (kg)	พลังงานชีวมวล (MJ/year)	ศักยภาพผลิตไฟฟ้า (GWh/year)
1	แกลบ	180,025.60	2,433,946.05	0.098
2	ฟางข้าว	703,902.40	8,679,116.63	0
3	ลำต้น	2,626,840.40	25,821,841.11	0

4	ซังข้าวโพด	386,337.75	3,716,569.12	0.174
5	เศษกิ่งไม้มะม่วง	553,278.00	10,501,216.44	0.348
6	เศษกิ่งไม้ลำไย	966,452.85	16,767,956.95	0.555

ผลการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากเศษวัสดุทางการเกษตรเหลือใช้ ภายในพื้นที่ตำบลปึงโค้ง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ดังตารางที่ 7 และรูปที่ 20 พบว่าเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดเศษกิ่งไม้ลำไยมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดอยู่ที่ 0.555 GWh/year รองลงมาคือเศษกิ่งไม้มะม่วงอยู่ที่ 0.348 GWh/year จากซังข้าวโพด 0.174 GWh/year และสุดท้ายศักยภาพผลิตไฟฟ้าจากกลบอยู่ที่ 0.098 GWh/year

การใช้งานหน้าจอผลการประเมินศักยภาพพลังงานจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

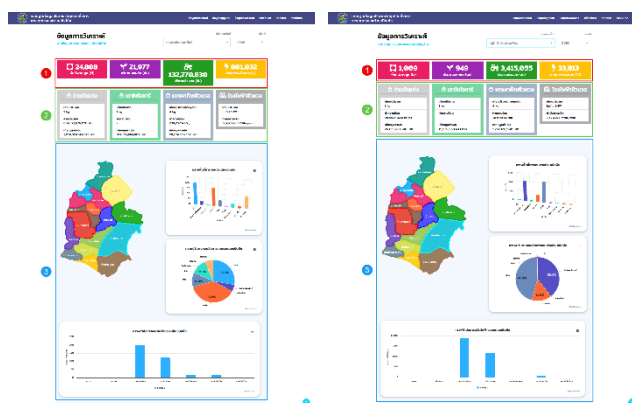
- หน้าจอแสดงผลศักยภาพพลังงานจากชีวมวลบนโมบายแอปพลิเคชัน



ภาพที่ 27 หน้าจอผลการประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวล

จากรูปที่ 27 แสดงผลการประเมินศักยภาพพลังงานจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยจะแสดงผลข้อมูลตามผู้ใช้ที่เข้าสู่ระบบมาซึ่งเป็นข้อมูลในแต่ละพื้นที่ที่ผู้ใช้งานได้ระบุผ่านโมบายแอปพลิเคชันภายใต้เมนูพื้นที่การเกษตร ข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งไปจัดเก็บในฐานข้อมูล เมื่อผู้ใช้งานเข้าสู่หน้าจอนี้ ระบบจะทำการร้องขอข้อมูลจากระบบหลังบ้าน หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกนำไปคำนวณตามเงื่อนไข และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เพื่อประเมินศักยภาพพลังงานของแต่ละเทคโนโลยีพลังงานทดแทน เมื่อกระบวนการคำนวณเสร็จสิ้น ระบบจะส่งผลลัพธ์ไปยังหน้าจอเพื่อแสดงข้อมูลศักยภาพพลังงานทดแทนในแต่ละประเภทของเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถรับทราบถึงศักยภาพพลังงานในพื้นที่ที่กำหนด

- หน้าจอแสดงศักยภาพพลังงานจากชีวมวลบนเว็บแอปพลิเคชัน



ภาพที่ 28 หน้าจอแสดงผลศักยภาพพลังงานจากชีวมวล ในพื้นที่ทั้งหมด และเฉพาะแต่ละหมู่บ้านของ ตำบลปึงโค้ง

จากรูปที่ 28 แสดงหน้าจอผลการประเมินศักยภาพพลังงานในแต่ละเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ในพื้นที่ของ ตำบลปึงโค้ง ข้อมูลจะแสดงตามการใช้งานของผู้ใช้งานโดยสามารถเลือกเขตพื้นที่ ปีของข้อมูล ได้ตรงปุ่มตัวเลือกตรงหัวข้อ เลือกเขตพื้นที่ เลือกปี เพื่ออำนวยความสะดวกในการเลือกข้อมูล ซึ่งข้อมูลเขตพื้นที่กับปีจะสอดคล้องกับตามที่ข้อมูลที่ถูกบันทึกในฐานข้อมูล ซึ่งจะประกอบไปด้วย ส่วนแรกแสดงข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก, ปริมาณผลผลิต, ปริมาณชีวมวล, ศักยภาพพลังงาน ในส่วนต่อมา จะแสดงศักยภาพพลังงานแต่ละเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ซึ่งจะประกอบไปด้วย ถ่านอัดแท่ง, เตาเผาถ่านชีวมวล, เตาเผาข้าวชีวมวล, โรงไฟฟ้าชีวมวล รายละเอียดแต่ละเทคโนโลยีจะมีการเทียบเท่ากับก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied petroleum gas, LPG) เทียบมูลค่าเงิน (บาท) ส่วนสุดท้ายจะแสดงชุดข้อมูลตัวเลขในรูปแบบกราฟ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจข้อมูลจำนวนมาก ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างชุดของข้อมูลต่างๆ

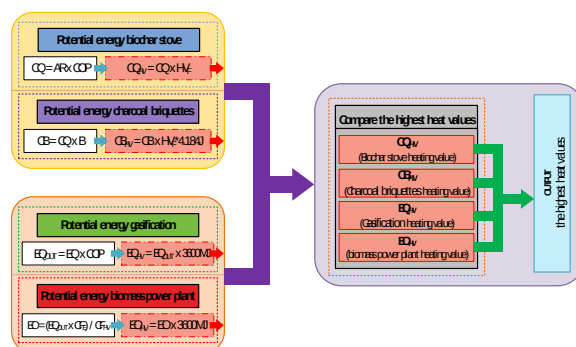
การใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทน เตาเผาข้าวชีวมวล เตาเผาถ่านชีวมวล ถ่านอัดแท่ง สามารถช่วยลดต้นทุนด้านพลังงานของครัวเรือนและภาคเกษตรกรรม ทั้งยังช่วยลดปัญหาการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 นอกจากนี้ศักยภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลขนาดเล็กภายในพื้นที่สามารถส่งเสริมให้ชุมชนมีรายได้จากการเป็นเจ้าของโรงไฟฟ้าทำใหลดภาระค่าใช้จ่าย มีรายได้จากการขายเชื้อเพลิง และช่วยให้ชุมชนมีแหล่งพลังงานที่มั่นคง ลดการพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิล

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้นำเสนอการใช้แอปพลิเคชันเพื่อประเมินเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับศักยภาพพลังงานจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในตำบลปึงโค้ง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ แอปพลิเคชันดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์ และประเมินความเป็นไปได้ในการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในพื้นที่มาผลิตเป็นพลังงานทดแทนประเภทต่าง ๆ ได้แก่ เทคโนโลยีพลังงานทดแทน เตาเผาข้าวชีวมวล, เตาเผาถ่านชีวมวล, ถ่านอัดแท่ง และโรงไฟฟ้าชีวมวล โมบายแอปพลิเคชันเป็นส่วนที่ทำหน้ารับข้อมูลจากเกษตรกรที่กรอกข้อมูลมายังระบบ และส่งข้อมูลต่อไปยังเว็บแอปพลิเคชันเพื่อรวบรวม จัดเก็บ วิเคราะห์ ข้อมูลที่ไหลเข้ามาเพื่อประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับในแต่ละพื้นที่ และส่งออกทางหน้าจอ โดยผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในชุมชน

ผลการประเมินศักยภาพพลังงานจากเศษวัสดุทางการเกษตรเหลือใช้ที่มีศักยภาพทางพลังงาน 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว, ข้าวโพด, มะม่วง, ลำไย ภายในพื้นที่ตำบลปึงโค้ง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า พื้นที่การเกษตรมีขนาดทั้งหมด 24,694.75 ไร่ แบ่งพื้นที่การเพาะปลูก ข้าว 5,632.78 ไร่, ข้าวโพด 3,699.15 ไร่, มะม่วง 5,601.03 ไร่ และลำไย 9,761.79 ไร่ จากข้อมูลพบว่าลำไยเป็นพืชที่มีปริมาณการใช้พื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดเป็น 9,761.79 ไร่ มีปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอยู่ที่ 966,417.21 กิโลกรัม คิดเป็นศักยภาพทางพลังงานอยู่ที่ 16.77 TJ หรือเทียบเท่าน้ำมันดิบได้ 400.49 toe

การเลือกเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่จากเทคโนโลยีพลังงานทดแทน 4 ประเภท ได้แก่ เทคโนโลยีถ่านอัดแท่ง, เทคโนโลยีเตาเผาถ่านชีวมวล, เทคโนโลยีเตาเผาก๊าซชีวมวล, โรงไฟฟ้าชีวมวล เป็นเครื่องมือที่ออกแบบมาเพื่อช่วยให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ระบบนี้อาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลจากค่าความร้อนที่ผ่านจากการคำนวณจากสมการแต่ละเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ผลลัพธ์ที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าความร้อนในแต่ละเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ต่อจากนั้นระบบจะเลือกค่าความร้อนที่สูงที่สุดในบรรดาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนอื่นๆ โดยจะมีป้ายกำกับพร้อมข้อความ “แนะนำ” เพื่อเป็นการตัดสินใจให้กับผู้ใช้งานในการเลือกใช้งาน ส่วนเทคโนโลยีพลังงานทดแทนอื่นๆ จะแสดงต่อจากอันดับแรกมาเป็นลำดับ เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนในการให้ผู้ใช้งานเลือกใช้ต่อไป ซึ่งข้อมูลจะแสดงออกทางหน้าจอผ่านเว็บแอปพลิเคชันในรูปแบบของตารางโดยจะเรียงตามลำดับเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุดภายในพื้นที่



ภาพที่ 29 ผังงานการทำของโมเดลเปรียบเทียบกับค่าความร้อนในแต่ละเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมที่สุด

ผลการเลือกเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ภายในพื้นที่ตำบลปึงโค้ง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าบ้านปางมะกงมีศักยภาพสูงสุด และเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมที่สุด คือถ่านอัดแท่ง โดยมีค่าความร้อนอยู่ที่ 6,945,328 MJ ถ้าเทียบกับจำนวนการใช้ก๊าซหุงต้มต่อปีโดยจะเปรียบเทียบกับน้ำหนักของก๊าซหุงต้ม 1kg จะเท่ากับ 138,298 ถัง/1kg หรือคิดเป็นเงินเท่ากับ 4,218,091 บาท/1kg ได้ศักยภาพมาจากเศษชีวมวลประเภท ยอด ใบและลำต้น ชนิดข้าวโพด รองลงมาคือเทคโนโลยีจากเตาเผาถ่านชีวภาพ มีค่าความร้อนอยู่ที่ 1,504,799 MJ ถ้าเทียบกับจำนวนการใช้ก๊าซหุงต้มต่อปีจะเท่ากับ 29,964 ถัง/kg หรือคิดเป็นเงินเท่ากับ 913,906 บาท/kg

ลำดับ	รหัสผลิตภัณฑ์	ชื่อผลิตภัณฑ์	สถานะ	ผู้ขาย	วันที่
1	6145320	131230	422.851	นางสาว...	...
2	1304700	131230	111.000	นางสาว...	...
3	414400	131230	440.000	นางสาว...	...
4	414400	131230	440.000	นางสาว...	...

ลำดับ	รหัสผลิตภัณฑ์	ชื่อผลิตภัณฑ์	สถานะ	ผู้ขาย	วันที่
1	420520	86.007	3.000.000	นางสาว...	...
2	244534	48.725	1.400.000	นางสาว...	...
3	1304700	91.819	1.100.000	นางสาว...	...
4	1304700	34.22	1.940.740	นางสาว...	...
5	1304700	91.819	1.100.000	นางสาว...	...
6	1304700	34.22	1.940.740	นางสาว...	...

ภาพที่ 30 หน้าจอแสดงเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมที่สุดในพื้นที่

โดยข้อมูลการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานจากเศษวัสดุทางการเกษตรเหลือใช้ ภายในพื้นที่ตำบลบึงโค้ง อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถประเมินและเลือกเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมทรัพยากรในพื้นที่ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อให้แอปพลิเคชันการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานดังกล่าวมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นควรมีการขยายขอบเขตพื้นที่ศึกษาให้กว้างขวางขึ้นเพื่อรวบรวมข้อมูลที่หลากหลายและเพิ่มความแม่นยำในการประเมินผล นอกจากนี้ยังควรพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันให้รองรับหลายแพลตฟอร์มเพื่อให้สามารถใช้งานได้ครอบคลุมและเข้าถึงผู้ใช้ในวงกว้างมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการผลิต และพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ในการสนับสนุนทุนการศึกษา รวมทั้ง ขอขอบคุณหน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ (SEEU) ที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือเครื่องมืออุปกรณ์ ในการวิจัยมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ขนิษฐา ชัยรัตนารณ และ ณัฐพศุทธิ์ ภัทธีราสินศิริ. (2563). แหล่งกำเนิด ผลกระทบและแนวทางการจัดการฝุ่นละออง PM 2.5 บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย. วารสารสมาคมนักวิจัย, 25(1), 432-446.
- [2] นิชชา บุณสิงห์. “ซังข้าวโพด” ถ่านอัดแท่งลดมลพิษ สืบค้นเมื่อ 7 สิงหาคม 2567, จาก <https://library.parliament.go.th/th/radioscript/rr2563-dec1>
- [3] Wijonarko, D., Budi, F. W. S. (2019) IMPLEMENTASI FRAMEWORK LARAVEL DALAM SISTEM PENDAFTARAN MAHASISWA BARU POLITEKNIK KOTA MALANG. JIRE (Jurnal Informatika & Rekayasa Elektronika), 2(2), 35-42. doi: [10.36595/jire.v2i2.116](https://doi.org/10.36595/jire.v2i2.116)
- [4] GeeksforGeeks. MVC Design Pattern. สืบค้นเมื่อ 7 สิงหาคม 2567, จาก https://www.geeksforgeeks.org/mvc-design-pattern/?ref=gcse_ind

- [5] Dekkati, S., Lal, K., & Desamsetti, H.(2019). **React Native for Android: Cross-Platform Mobile Application Development**. *Global Disclosure of Economics and Business*, 8(2), 153-164. doi: 10.18034/gdeb.v8i2.696
- [6] LITSLINK. **The Evolution of React Native: Exploring the Impact of Re-Architecture**. สืบค้นเมื่อ 7 สิงหาคม 2567, จาก <https://litslink.com/blog/new-react-native-architecture>
- [7] Rawat, B., Purnama, S., & Mulyati. (2021) **MySQL Database Management System (DBMS) On FTP Site LAPAN Bandung**. *International Journal of Cyber and IT Service Management*, 1(2), 173-179. doi: 10.34306/ijcitsm.v1i2.47
- [8] Oracle America Inc. **Overview of MySQL Storage Engine Architecture**. สืบค้นเมื่อ 7 สิงหาคม 2567, จาก <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.4/en/pluggable-storage-overview.html>
- [9] Willoughby, A. A., Soge, A. O., Adeleke, M. A., & Ilori, O. A.(2022). **An IoT-Based Home Automation and Weather Monitoring System**. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science (IJRIAS)*, 7(3), 26-29. doi: 10.51584/IJRIAS.2022.7302
- [10] สาวิตรี การิเวทย์ (2553). **โครงการการทบทวนและวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบผลงานวิจัยด้านการประเมินศักยภาพแหล่งพลังงานชีวมวล: รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์**. บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [11] ชรรค์ชัย บริบูรณ์. (2553) **การประเมินศักยภาพชีวมวลสำหรับผลิตไฟฟ้า โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในเขตจังหวัดปทุมธานี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [12] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. (2556) **โครงการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนจากเชื้อเพลิงชีวมวลขนาด 1.2 MW (นิคมสร้างตนเองพระแสง จ.สุราษฎร์ธานี)**. <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib15105-พระแสง.pdf>

ผลการศึกษาศมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลสำหรับตะไคร้อบแห้ง

Study performance of solar dryer combined with biomass energy for dried lemongrass

พรประเสริฐ อินทะลาด^{1,*} กิตติกร สาสุจิตต์¹ สุระพล ริยะนา¹ ชูรัตน์ ธารารักษ์¹ มงคล จันทโภาส¹ และ นิกราน หอมดวง¹
Phonpaseuth Inthalath¹ Kittikorn Sasujit¹ Surapon Riyana¹ Churat Tararux¹
Monkol Janthopas and Nigran Homdoun¹

¹ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹ School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

Corresponding author: Tel.: 084-1773632. E-mail address: nigranghd@gmail.com

Abstract

This research aims to design, develop and construct a solar dryer combined with biomass energy. Actual operation, the dryer can work in both sunlight and non-sunlight conditions. During non-sunlight, the dryer uses biomass energy as the main heat source for drying. This experiment was simulated drying of lemongrass without sunlight and used biomass energy as the main heat source for drying. The developed dryer must be able to dry agricultural products continuously for 1-20 h and support drying yields of 10-35 kilograms per batch. The dimensions, width, length, and height of the dryer were 1.5 × 2.2 × 1 m. The solar heat collector uses polycarbonate sheets, and the side walls were covered with 1-inch thick fiberglass insulation. A 5 kW biomass stove with a finned heat exchanger were installed underneath the dryer. The product trays are horizontal rotating trays with 16 trays and the initial drying experiment used lemongrass. The experimental results was showed that, the solar dryer combined with biomass energy can dry sliced lemongrass very well. The experiment with biomass in the absence of sunlight can create a maximum temperature in the drying room of 70 °C and during the experiment can create hot air with a temperature between 60-65 °C. During test, the dryer consumed an average of 0.6-1 kg/h of briquetted charcoal. The total drying time of lemongrass was 14 h, the average final moisture content of 10% and less than 1%. The dryer provided a mass loss rate of lemongrass during drying in the range of 0.0007-0.0908 g/h, a specific water evaporation rate in the range of 0.00023-0.00646 kg_{Water}/kWh_{th} and average thermal efficiency of dryer was obtained 6.65%. Overall, this solar dryer combined biomass energy can be used to support small-scale farmers in processing their products very well.

Keyword: drying, dryer, solar energy, biomass energy, lemongrass

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบ พัฒนา สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล การทำงานจริงเครื่องอบแห้งนี้สามารถทำงานได้ในสภาวะที่มีแสงอาทิตย์และไม่มีแสงอาทิตย์ ในระหว่างไม่มีแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งนี้จะใช้พลังงานชีวมวลเป็นแหล่งความร้อนหลักในการอบแห้ง การทดสอบนี้ได้จำลองการอบแห้งตะไคร้แบบ ไม่มีแสงอาทิตย์และใช้พลังงานชีวมวลเป็นแหล่งความร้อนหลักในการอบแห้ง เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นต้องสามารถอบแห้ง ผลผลิตทางการเกษตรได้ตั้งแต่ 1-20 h แบบต่อเนื่องได้และรองรับผลผลิตในการอบแห้งต่อครั้ง 10-35 kg ขนาดความ กว้าง ความยาว และความสูงของเครื่องอบแห้งเท่ากับ $1.5 \times 2.2 \times 1.5$ m แผงรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ใช้ แผ่นโพลีคาร์บอเนต และผนังด้านข้างหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนาประมาณ 1 inch ด้านใต้เครื่องอบแห้งติดตั้งเตาชีวมวล ขนาด 5 kW พร้อมชุดแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีป ถาดวางผลิตภัณฑ์เป็นแบบถาดหมุนในแนวนอน มีจำนวน 16 ถาด การทดลองใช้ตะไคร้ในการทดลองอบแห้งเบื้องต้น ผลการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงาน ชีวมวลสามารถอบแห้งตะไคร้ได้เป็นอย่างดี ในการทดลองสภาวะไม่มีแสงอาทิตย์ สามารถสร้างอุณหภูมิในห้องอบแห้งได้ สูงสุด 70°C ในระหว่างการทดสอบเครื่องอบแห้งมีความสิ้นเปลืองถ่านอัดแท่งเฉลี่ย $0.6\text{--}1\text{ kg/h}$ ระยะเวลาอบแห้งตะไคร้ ใช้เวลาทั้งหมด 14 h มีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยร้อยละ 10 และต่ำกว่าร้อยละ 1 เครื่องอบแห้งให้อัตราการสูญเสียมวลตะไคร้ ระหว่างอบแห้งอยู่ในช่วง $0.0007\text{--}0.0908\text{ g/h}$ และให้อัตราการระเหยน้ำจำเพาะอยู่ในช่วง $0.00023\text{--}0.00646\text{ kg}_{\text{Water}}/\text{kWh}_{\text{th}}$ ประสิทธิภาพความร้อนเครื่องอบแห้งเฉลี่ย 6.65% ในภาพรวมเครื่องอบแห้งนี้สามารถนำไปใช้ส่งเสริม เกษตรกรรายย่อยในการแปรรูปผลผลิตได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การอบแห้ง เครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล ตะไคร้

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรที่หลากหลาย ในแต่ละปีจะมีสินค้าทางการเกษตรที่ ล้นตลาดเป็นจำนวนมาก กระบวนการแปรรูปด้วยการอบแห้งจึงมีความสำคัญในการลดความสูญเสียและการเพิ่มมูลค่า ให้กับสินค้าเกษตรของประเทศไทย [1] การอบแห้งในระดับวิสาหกิจชุมชนหรือผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นเลือกใช้ แหล่งพลังงานจากฟอสซิลเป็นหลัก ข้อดีของการใช้พลังงานจากแหล่งนี้คืออุณหภูมิมีความเสถียรและสามารถควบคุม กระบวนการอบแห้งได้ง่าย อย่างไรก็ตามด้วยสภาวะโลกร้อนที่กำลังเป็นปัญหาสำคัญของมวลมนุษยชาติ ความพยายาม และส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเป็นแนวทางสำคัญของการลดโลกร้อนได้ [2] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นและสนใจในการ พัฒนาระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทดแทนการใช้เชื้อเพลิงกลุ่มฟอสซิลเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ บรรยากาศ แต่อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ก็มีข้อจำกัดในด้านของความเข้มแสงที่ไม่สม่ำเสมอและมีช่วง ระยะเวลาการให้แสงที่สั้นไม่สัมพันธ์กับระยะเวลาการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร และเพื่อเป็นการตอบโต้การลดการ ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างแท้จริง บทความนี้จะได้นำเอาเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอยู่ในท้องถิ่นเข้ามาเป็นแหล่งพลังงาน ความร้อนให้กับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มเติม [3] สำหรับเครื่องอบแห้งที่นำมาศึกษาและทดสอบเป็นเครื่อง อบแห้งแบบผสมผสานที่สามารถรองรับแหล่งความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์บริเวณด้านบนของเครื่องอบแห้ง ในขณะที่ ด้านใต้ของเครื่องอบแห้งจะมีเตาชีวมวลและชุดแลกเปลี่ยนความร้อนให้ความร้อนบริเวณด้านล่างของเครื่องอบแห้ง ซึ่ง แตกต่างจากเครื่องอบแห้งของชุมชนและวิสาหกิจชุมชนที่มีการใช้กันอยู่ทั่วไป ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์ที่ใช้แหล่งความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพียงแหล่งเดียว [4-5] ขณะเดียวกันถ้าเป็นผู้ประกอบการขนาด

ใหญ่หรือวิสาหกิจชุมชนขนาดใหญ่ส่วนใหญ่ก็จะใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโดมที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว [6] และบางรายอาจใช้พลังงานความร้อนจากชีวมวลเป็นแหล่งความร้อนเสริม [7] การดำเนินการในส่วนของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลที่มีเหมาะสมสำหรับชุมชนส่วนใหญ่เป็นการออกแบบในเชิงของการศึกษาและการทดลอง การจัดวางชั้นถาดจะเป็นแบบคงที่ [8] ข้อจำกัดของเครื่องแบบนี้คือการกระจายลมร้อนไม่ทั่วถึงทำให้ผลผลิตแห้งไม่สม่ำเสมอ เพื่อแก้ปัญหาและลดข้อจำกัดการอบแห้งผลงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นออกแบบ พัฒนาและทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลแบบถาดหมุนแนวนอน โดยมีการออกแบบพื้นที่ชั้นวางให้ใกล้เคียงกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโดมทั่วไป ขณะเดียวกันก็มีการออกแบบ พัฒนาอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานจากชีวมวลให้เป็นความร้อนและสามารถอบแห้งได้อย่างต่อเนื่องตามลักษณะของผลผลิตที่ต้องการอบแห้ง ขณะเดียวกันเพื่อแก้ปัญหาการกระจายลมร้อนภายในตู้อบแห้งก็มีการออกแบบถาดชั้นวางและให้ถาดนั้นหมุนเคลื่อนที่เป็นวงรอบสามารถกวบลมร้อนและรับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานชีวมวลในปริมาณที่เท่ากัน ทั้งหมดเพื่อให้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีที่ตอบโจทย์ให้กับชุมชนเกษตรกร หรือผู้ประกอบการได้อย่างแท้จริง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์แสดงผลของการพัฒนาออกแบบ สร้างและทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล สำหรับการอบแห้งตะไคร้เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับผู้ประกอบการและนักวิจัยที่จะดำเนินการพัฒนาเครื่องอบแห้งจากพลังงานทดแทนรวมถึงการนำเอาเทคโนโลยีนี้ไปใช้ในอนาคต ในส่วนของตะไคร้ที่ใช้อบแห้งหรือให้ความสนใจ เนื่องจากประเทศไทยมีการเพาะปลูกจำนวนมาก ตะไคร้เป็นทั้งพืชสมุนไพรและเป็นพืชที่ใช้ประกอบอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงมาก สามารถแปรรูปเป็นเครื่องปรุงเครื่องแกงได้หลายชนิดและสามารถส่งออกต่างประเทศได้ ในทางกลับกันบางฤดูกาลราคาของตะไคร้ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการใช้วิธีการอบแห้งด้วยพลังงานทดแทนจึงมีความน่าสนใจ ซึ่งถ้าอบแห้งได้ตามสมมุติฐานจะช่วยลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศได้ อันนำมาซึ่งเป็นการสนับสนุนการการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรออกสู่ต่างประเทศ

วิธีการดำเนินงานวิจัย

- แนวคิดการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล

แนวคิดของการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นแนวคิดของการผสมผสานแหล่งพลังงานความร้อนที่สะอาดได้แก่ ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และแหล่งความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล โดยมุ่งเน้นให้เครื่องนี้สามารถดำเนินการอบแห้งให้แล้วเสร็จสิ้นภายใน 1 รอบของการอบแห้งในแต่ละครั้ง คือ ตั้งแต่ 5-15 h หรือมากกว่านั้น ความจุในการป้อนวัสดุเพื่อการอบแห้งอยู่ในช่วง 10-20 kg/ครั้ง ขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาแน่นของวัสดุอบแห้ง ในด้านของวัสดุส่วนรับแสงอาทิตย์มุ่งเน้นใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตมาใช้ในการสร้างห้องอบเนื่องจากมีน้ำหนักเบาหาซื้อง่ายและขึ้นรูปโค้งได้ดีกว่ากระจก นอกจากนี้เมื่อนำไปใช้ในอนาคตราคาของเครื่องอบแห้งนี้ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่เกษตรกรหรือผู้ประกอบการขนาดเล็กเป็นเจ้าของได้ เหมาะสำหรับการอบแห้งผลผลิตในระดับชุมชนและมีการใช้พลังงานที่สะอาด มีประสิทธิภาพสูงและมีคุ้มค่า เงื่อนไขในการออกแบบเบื้องต้นแสดงดังตารางที่ 1

การวิเคราะห์เงื่อนไขการออกแบบพบว่า การใช้เครื่องอบแห้งแบบชั้นวางมีปัญหาในด้านการอบแห้ง ได้แก่ ความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ดังนั้นระหว่างการทำงานจึงจำเป็นต้องเคลื่อนย้าย สลับที่ หรือการกลับด้านของผลผลิต เพื่อให้ผลผลิตได้รับความร้อนสม่ำเสมอ การดำเนินการประเด็นนี้ทำให้เกิดความล่าช้าและทำให้ต้นทุนเพิ่มสูงขึ้น

การเทียบกับเครื่องอบแห้งถาดหมุนแนวตั้งแบบใช้อินฟราเรดร่วมลมร้อน ระบบนี้เป็นระบบที่ดีมีความเสถียรสูงและเป็นที่นิยมของผู้ประกอบการ แต่ปัญหาของเครื่องชนิดนี้คือการใช้เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลที่นำไปสู่การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ มีราคาที่สูงและต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะพัฒนาเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานที่สะอาดและมีราคาที่เหมาะสมได้ จึงเป็นที่มาของการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนในแนวนอน (Horizontal rotating tray dryer) ดังภาพที่ 1 ตามหลักการเครื่องอบแห้งนี้จะใช้ความร้อนจากพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์และชีวมวลเป็นหลัก การออกแบบอุปกรณ์และระบบมุ่งแก้ไขข้อจำกัดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้นวางอยู่กับที่ เครื่องอบแห้งนี้จะติดตั้งถาดอบแห้งกับแขนของแกนหมุนและแขนแกนหมุนจะยึดติดอยู่กับแกนเพลาส่งในแนวนอน เมื่อเพลากลหมุนถาดอบแห้งจะเปลี่ยนตำแหน่งตลอดเวลาและได้รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานชีวมวลไปพร้อมกันทุกถาด การหมุนของถาดอบแห้งจะช่วยสร้างความปั่นป่วนกระแสลมร้อนภายในเครื่องอบแห้ง ทำให้เกิดการกระจายตัวของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งได้อย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามการจัดวางถาดในลักษณะนี้ก็มีข้อจำกัดในการออกแบบขนาดของถาดและจำนวนของถาด ดังนั้นก่อนการออกแบบจึงได้ดำเนินการออกแบบพื้นที่และจำนวนของถาดและนำไปทดสอบในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Solid work) โดยพบว่า ถ้าจะออกแบบเครื่องอบแห้งที่มีความกว้างไม่เกิน 1.5 m ความยาว 2-2.2 m และ ความสูงไม่เกิน 1.5 m จะสามารถใส่ถาดชั้นวางวัสดุได้สูงสุด 8 ถาดเท่านั้นที่ขนาดความยาวของถาด 1 m และ ความกว้างของถาดไม่เกิน 50 cm ถ้าออกแบบใช้ถาดมีขนาดเกินกว่านี้ เมื่อถาดหมุนเคลื่อนที่จะเกิดการชนกับถาดที่ติดตั้งกับแขนยึดที่อยู่ใกล้กันและทำให้วัสดุร่วงจากถาด การคำนวณหามวลวัสดุที่อยู่บนถาดชั้นวางคำนวณได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$m_{m1} = \sigma \times A_t \times n \quad (1)$$

กำหนดให้ m_{m1} คือมวลวัสดุที่อยู่บนถาดชั้นวาง (kg) σ คืออัตราส่วนมวลตะไคร้สับกับพื้นที่การวาง (kg/m²) A_t คือ ขนาดพื้นที่ของถาด (m²) และ n คือจำนวนของถาด ซึ่งถ้าคำนวณมวลวัสดุที่อยู่บนถาดชั้นวางจะได้มวลเพียง 8 kg เท่านั้น ดังนั้นถ้าต้องการมวลวัสดุในการอบแห้งเริ่มต้นจะต้องออกแบบชุดถาดชั้นวาง จำนวน 2 ชุด รวมถาดชั้นวาง 16 ถาด คิดเป็นมวลวัสดุในการอบแห้งแต่ละครั้ง 16 kg การนำเอาน้ำออกจากวัสดุในการอบแห้งหรือความต้องการใช้ปริมาณความร้อนในการระเหยน้ำในวัสดุคำนวณได้จากสมการนี้ [9]

$$Q_w = \frac{m_w \times h_{fg}}{T_D} \quad (2)$$

กำหนดให้ m_w คือมวลของน้ำในวัสดุ (kg) h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของกลายเป็นไอ (2257.5 kJ/kg) T_D คือ ระยะเวลาของการอบแห้งตะไคร้ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C จะใช้เวลาอยู่ในช่วง 10-15 h เนื่องจากระบบอบแห้งจะมีการใช้แหล่งความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และมีการออกแบบพื้นที่รับแสงเป็นลักษณะโดมโค้งครึ่งวงกลม การคำนวณหาขนาดพื้นที่รับความเข้มแสงอาทิตย์ดังสมการดังต่อไปนี้

$$A_s = \frac{1}{2} \times \pi \times D \times L \quad (3)$$

เมื่อ A_s คือ ขนาดพื้นที่รับความเข้มแสงอาทิตย์ (m^2) D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางโดมรับความเข้มแสงอาทิตย์ (m) L คือ ความยาวเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (m) การคำนวณหาค่าศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะใช้ออบแห้งวัสดุได้วิเคราะห์จาก ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2566 ในพื้นที่อำเภอสนทราย จังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ($\mathcal{E}$) $17.15 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ ดังนั้นสามารถหาพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะใช้ออบแห้งวัสดุได้ดังนี้

$$Q_{SD} = \frac{\mathcal{E}}{A_s \times T_D} \quad (4)$$

ในกระบวนการถ่ายเทพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้กับห้องอบแห้งจำเป็นต้องผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนต ดังนั้นประสิทธิภาพการถ่ายเทพลังงานจะลดลงคิดเป็นร้อยละ 50 ขณะเดียวกันระหว่างการอบแห้งจะมีการสูญเสียความร้อนผ่านผนังของเครื่องอบแห้งและการสูญเสียความร้อนจากการไล่ความชื้นคิดเป็นร้อยละ 60 และสุดท้ายจะมีการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการลดลงของความเข้มแสงอาทิตย์คิดเป็นร้อยละ 30 ดังนั้นปริมาณความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะใช้ออบแห้งวัสดุได้จริง (Q_{SD-AC}) คำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$Q_{SD-AC} = Q_{SD} \times \eta_{PO} \times \eta_{HL} \times \eta_R \quad (5)$$

เมื่อ η_{PO} คือ ประสิทธิภาพการถ่ายเทพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนต (%) η_{HL} คือ ประสิทธิภาพการถ่ายเทพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านผนังและการไล่ความชื้น (%) η_R คือ การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการลดลงของความเข้มแสงอาทิตย์ (%) ในบางครั้งการอบแห้งวัสดุจำเป็นต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องในขณะที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ดังนั้นการใช้พลังงานชีวมวลจึงมีความจำเป็น การคำนวณหาปริมาณความร้อนและอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถคำนวณได้ดังนี้ [10]

$$Q_{Bi} = \frac{Q_w}{\eta_{HE} \times \eta_{BS}} \quad (6)$$

$$m_{Bi} = \frac{Q_{Bi}}{LHV_{Bi}} \quad (7)$$

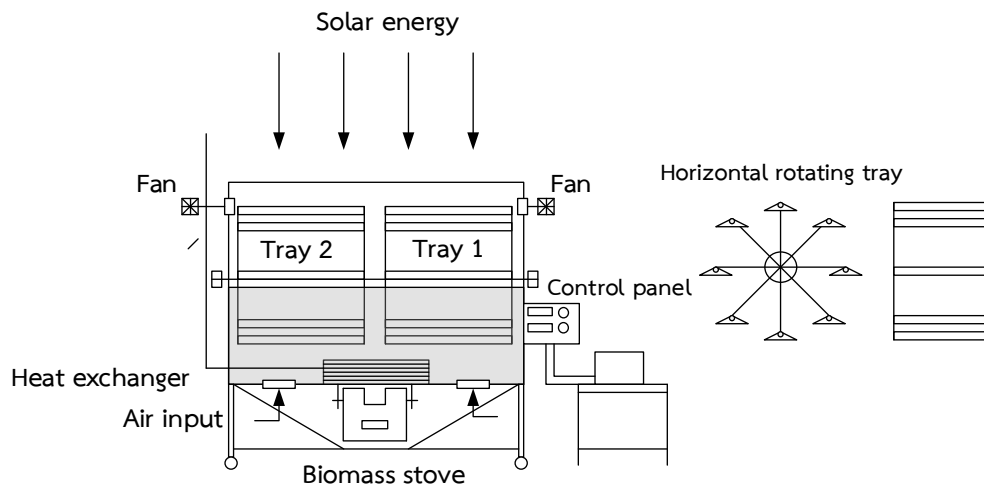
Q_{Bi} คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งขณะที่ไม่มีแสงอาทิตย์ (kW) η_{HE} คือ ประสิทธิภาพความร้อนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชีวมวล (%) กำหนดค่าการออกแบบ 70% η_{BS} คือ ประสิทธิภาพความร้อนเตาชีวมวล (%) กำหนดค่าการออกแบบไว้ 15% m_{Bi} คือ อัตราความสิ้นเปลืองชีวมวล (kg/s) และ LHV_{Bi} คือ ค่าความร้อนของชีวมวล (kJ/kg)

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการออกแบบเครื่องอบแห้งตะไคร้เบื้องต้น

เงื่อนไขการออกแบบ	ค่ากำหนดออกแบบ	หน่วย
น้ำหนักวัสดุหรือพืชเริ่มต้นการอบแห้ง	10-20	kg
ความชื้นเริ่มต้น	79.2	%
ความชื้นสุดท้าย	10	%
อุณหภูมิห้องอบแห้งที่ออกแบบ	60-70	°C
อัตราส่วนมวลต่อพื้นที่ที่ต้องการ	4	Kg/m ²
ความสามารถในการอบแห้งต่อเนื้อ	4-15	h
การไหลเวียนของอากาศภายในแตกต่างกันไม่เกิน	5	°C
วัสดุรับพลังงานแสงอาทิตย์	แผ่นโพลีคาร์บอเนต	แผ่น
พลังงานความร้อนหลักที่ใช้ออกแบบ	พลังงานแสงอาทิตย์	W/m ²
พลังงานความร้อนสำรอง (เสริม) ที่ใช้ออกแบบ	พลังงานชีวมวล	kJ/kg

- ต้นแบบและข้อมูลทางเทคนิคเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล

ภาพที่ 1 แสดงเครื่องอบแห้งถาดหมุนแนวนอนที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล เครื่องอบแห้งแบ่งอุปกรณ์การทำงานเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนห้องอบแห้ง ส่วนผลิตลมความร้อน และส่วนของการวัดควบคุมการทำงาน เครื่องอบแห้ง ส่วนห้องอบแห้ง ประกอบด้วยชุดถาดหมุนแนวนอนมีจำนวนทั้งหมด 2 ชุด มีถาดวางวัสดุรวมกัน 16 ถาด รองรับมวลตะไคร้สับได้ 16 kg/ถาด ติดตั้งร่วมกับชุดหมุนแกนเพลาด้านวางแนวนอนขนาด 37 mm ความยาวเพล่า 2.2 m มีตลับลูกปืนรองรับ 3 จุด ได้แก่ตรงหัว กลางและตรงท้าย การหมุนของเพล่าใช้มอเตอร์เกียร์ทดขนาด 90 W หมุนเพื่อให้เกิดการไหลเวียนอากาศร้อนภายในเครื่องอบและรับความร้อนได้สม่ำเสมอจากพลังงานแสงอาทิตย์ทางด้านบนและพลังงานชีวมวลทางด้านล่าง ความเร็วรอบการหมุนสามารถปรับความเร็วรอบได้ ส่วนผลิตลมความร้อนประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วน คือ เตาชีวมวลและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เตาชีวมวลที่นำมาใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm สามารถผลิตความร้อนได้อยู่ในช่วง 3-7 kW ในกรณีใช้ถ่านชีวมวล เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำหน้าที่รับความร้อนจากเตาชีวมวลและถ่ายเทความร้อนผ่านครีบน้ำร้อนให้กับอากาศในห้องอบแห้งมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน 1 m² ในส่วนของชุดการวัดและควบคุมการทำงานจะมีการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิภายในจำนวน 4 จุด และความชื้น 1 จุด โดยหัววัดอุณหภูมิและความชื้นอย่างละ 1 จุด ทำหน้าที่เป็นตัวรับและส่งสัญญาณควบคุมการทำงานให้กับพัดลมสำหรับควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของเครื่องอบแห้ง



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล

- วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. ตะไคร้และการเตรียม

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ ตะไคร้ ที่หาได้ซื้อมาจากตลาดในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ตะไคร้ที่นำมาอบแห้งมีอายุประมาณ 3 เดือน มีขนาดเฉลี่ย 1.5 cm ยาว 30 cm แต่ละหัวมีน้ำหนักเฉลี่ย 20 g เมื่อตัดใบของตะไคร้ออกก่อนการที่จะนำมาอบแห้งดำเนินการเอาเปลือกนอกออกก่อน จากนั้นนำมาหั่นประมาณ 0.5-1.0 cm การจัดเตรียมตะไคร้ที่หั่นแล้วสำหรับการอบแห้งจัดเตรียมไว้ประมาณ 16-17 kg



ภาพที่ 2 ลักษณะของตะไคร้ และตะไคร้ที่หั่นแล้วก่อนการนำไปอบแห้ง

2. เครื่องมือวัดและวิเคราะห์

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ใช้วัดสำหรับชั่งน้ำหนักตะไคร้ ก่อนและหลังอบแห้ง เป็นผลิตภัณฑ์ของ CST รุ่น CDR-30 ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 30 kg ค่าความละเอียด 1 g เครื่องวัดอุณหภูมิใช้วัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง มีการวัดทั้งหมด 4 จุด หัวหรือสายวัดอุณหภูมิเป็นแบบ Type K เครื่องบันทึกข้อมูลใช้ผลิตภัณฑ์ Lutron รุ่น TM-947USB วัดอุณหภูมิได้สูงสุดและต่ำสุดได้ 1300 °C และ -100 °C มีค่าความผิดพลาด $\pm 0.5\%$ มีความแม่นยำ $\pm 0.5\%$ เครื่องวัดควบคุมอุณหภูมิใช้สำหรับปรับอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งให้คงที่ตลอด 60 °C ใช้ผลิตภัณฑ์ของ

SHTROL รุ่น: STC-3028 สามารถควบคุมอุณหภูมิสูงสุด 70-99 °C และต่ำสุด -20 °C เครื่องวัดนี้จะทำงานร่วมกับพัดลมระบายอากาศ ในกรณีอุณหภูมิสูงเกิน 60 °C พัดลมจะระบายความร้อนในตู้อบแห้งออก ในส่วนของการวัดค่าความชื้นเริ่มต้นของตะไคร้ ได้ใช้ตู้อบแห้งลมร้อนขนาด 100 liter เป็นผลิตภัณฑ์ของ JSR รุ่น JSOF-250 ตู้อบแห้งลมร้อนสร้างอุณหภูมิได้สูงสุด 250 °C ใช้งานร่วมกับเครื่องชั่งดิจิทัลแบบ 4 ตำแหน่ง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของ AND รุ่น GH-252 ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 250 g มีความผิดพลาดและค่าความแม่นยำ ± 0.001 g และ ± 0.002 g ตามลำดับ

3. การทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

การทดลองนี้เป็นการทดลองเบื้องต้นเป็นการนำเอาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลมาทดสอบการอบแห้งตะไคร้โดยใช้ความร้อนจากพลังงานชีวมวลเพียงแหล่งเดียว การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องอบแห้งได้เริ่มต้นจากการเอาน้ำเอาตะไคร้ที่ได้เตรียมมาหั่นเป็นชิ้น จากนั้นนำมาวางบนตะแกรงถาดละ 1 kg จำนวน 16 ถาด ในแต่ละถาดมีการมีการสุมคัดแยกเพื่อวัดน้ำหนักตะไคร้ทุกๆ ชั่วโมง เป็นระยะเวลาการอบแห้ง 14 h เพื่อให้ความชื้นสุดท้ายลดลงเหลือ 10% การให้ความร้อนใช้เตาชีวมวลขนาด 5 kW ให้ความร้อน ใช้ถ่านชีวมวลในการเผาให้ความร้อนเฉลี่ย 1 kg/h ค่าความร้อนถ่านชีวมวล 25-26 MJ/kg การหาความชื้นเริ่มต้นของตะไคร้ได้นำตะไคร้ส่วนหนึ่งมาวัดน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นระยะเวลา 72 h [11] ดำเนินการวัดน้ำหนักสุดท้าย จากนั้นใช้สมการหาความชื้นวัสดุคำนวณความชื้นเริ่มต้น ในส่วนข้อมูลได้วิเคราะห์อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งเมื่อใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล การวิเคราะห์การสูญเสียมวลจากผลิตภัณฑ์และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะของเครื่องอบแห้ง

ผลการทดลองและวิจารณ์

- การพัฒนา สร้างและการทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล

ภาพที่ 3 แสดงภาพถ่ายของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมพลังงานชีวมวล เครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นมีปริมาตรห้องอบแห้งรวม 4.95 m³ ด้านบนใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตพับม้วนให้ผิวโค้งเรียบ แผ่นโพลีคาร์บอเนตยอมให้แสงอาทิตย์ผ่านได้ดีในขณะที่รังสีความร้อนผ่านออกได้ต่ำ [12] ครึ่งวงกลม ผัง 4 ด้าน ใช้เหล็กแผ่นบางหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วมีความหนาประมาณ 1 inch ด้านล่างมีเตาชีวมวลให้ความร้อนร่วมกับชุดแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งเป็นแบบครีบก การทดสอบการทำงานเบื้องต้นมอเตอร์เกียร์สามารถขับเคลื่อนได้ดีและต่อเนื่อง การปรับสมดุลของแต่ละถาดปรับได้ดีถาดไม่พลิกคว่ำ การทดสอบอบแห้งตะไคร้ การป้อนความร้อนจากเตาชีวมวลเพียงพอต่อการสร้างอุณหภูมิตามที่ได้ออกแบบไว้ และสามารถอบแห้งได้อย่างต่อเนื่อง ชุดควบคุมอุณหภูมิทำงานตรงกับค่าอุณหภูมิที่ปรับตั้งไว้ ในการประเมินราคาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมพลังงานชีวมวลทั้งระบบจะมีราคาเฉลี่ยเครื่องละ 35,000 บาท ซึ่งราคานี้รวมในส่วนของวัสดุและค่าจ้างผลิต เมื่อประเมินเทียบกับราคาขายของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโดมที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวจะมีราคาประมาณ 20,000-27,900 บาท/เครื่อง ซึ่งราคาระดับนี้ชุมชน วิสาหกิจชุมชน และผู้ประกอบการรายเล็กสามารถเป็นเจ้าของได้เพราะมีราคาใกล้เคียงราคาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขายตามท้องตลาด

ตารางที่ 2 ผลการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล

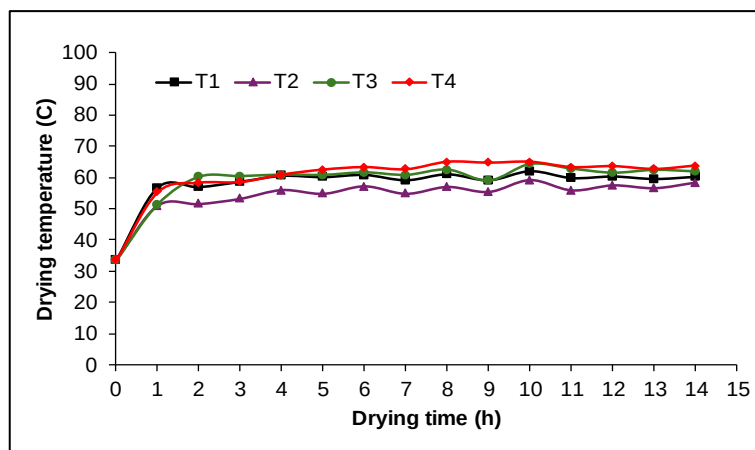
ผลการออกแบบเครื่องอบแห้ง	ค่าการออกแบบ
มิติขนาดเครื่องอบแห้ง (กว้างxยาวxสูง)	1.5x2x1.5 m
ปริมาณการอบแห้งตะไคร้	16 kg
ปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้ออบแห้ง	0.467 kW
พลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ป้อนเข้า	0.502 kW
พลังงานความร้อนจากชีวมวลป้อนเข้า	4.56 kW
ลักษณะอากาศเข้า	Induced Draft Fans
การนำความชื้นออก	พัดลม (220V, 0.14A , 30.8W)
ฉนวนความร้อน	ใยแก้ว
ความสิ้นเปลืองชีวมวลออกแบบ	0.641 kg/h



ภาพที่ 3 ลักษณะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล

- การวิเคราะห์อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งด้วยการอบแห้งตะไคร้

ภาพที่ 4 แสดงอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งเมื่อใช้ความร้อนจากเตาชีวมวลที่ระยะเวลาการทดสอบ 14 h ผลการทดสอบพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชีวมวลสามารถสร้างอุณหภูมิได้ตามความต้องการในการอบแห้งตะไคร้ในช่วง 55 ถึง 65 °C การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการคือ 60 °C ใช้ระยะเวลาประมาณ 1 h การเปรียบเทียบตำแหน่งของอุณหภูมิทั้ง 4 จุด มีค่าแตกต่างกันเฉลี่ย 4-6 °C โดยตำแหน่งจุดอุณหภูมิด้านบนหรือใกล้โถมรับแสงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าด้านล่างหรือพื้นของเครื่องอบแห้งซึ่งมีสาเหตุมาจากความหนาแน่นของอากาศเมื่อมีอุณหภูมิสูงจะลอยสะสมอยู่ด้านบนของเครื่องอบแห้ง [13] ขณะเดียวกันถ้าเทียบกับอุณหภูมิของชุดถาดที่ 1 กับชุดถาดที่ 2 อุณหภูมิบริเวณกลุ่มชุดถาดที่ 2 ให้อุณหภูมิสูงกว่าบริเวณถาดที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณนั้นมีปล่องท่อไอเสียที่ความร้อนจากเตาชีวมวลพาผ่านจึงทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนออกมาทำให้อุณหภูมิบริเวณนั้นเพิ่มสูงขึ้น



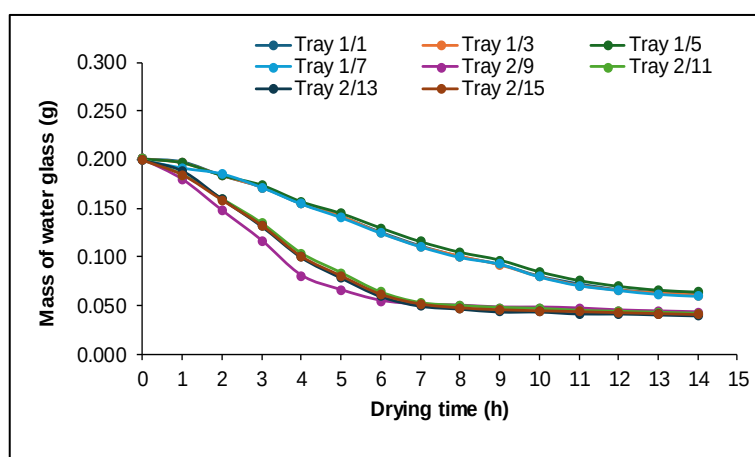
ภาพที่ 4 ลักษณะอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งเมื่อใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล

- การวิเคราะห์การสูญเสียมวลและความชื้นของผลิตภัณฑ์เทียบกับระยะเวลาการอบแห้ง

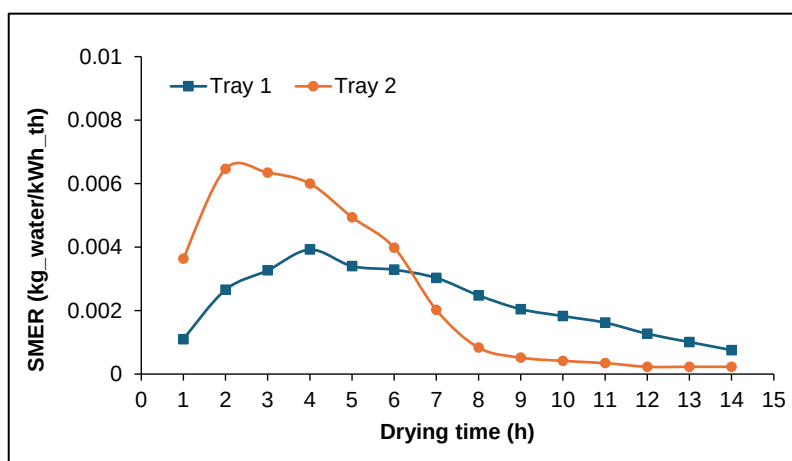
ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบการสูญเสียมวลผลิตภัณฑ์ของตะไคร้เทียบกับระยะเวลาการอบแห้งจำนวน 14 h ผลการศึกษาพบว่า ชุตถาดหมุนที่ 2 ให้อัตราการสูญเสียมวลในตะไคร้สูงกว่าชุตถาดหมุนที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากมีท่อไอเสียหรือปล่องความร้อนเตาชีวมวลอยู่ใกล้กับชุตถาดหมุนที่ 2 อย่างไรก็ตามถ้าต้องการให้การสูญเสียมวลของแต่ละถาดเท่ากันจะต้องติดตั้งกล่องหรือท่อความร้อนให้ใกล้กับชุตถาดหมุนที่ 1 การสูญเสียมวลในผลิตภัณฑ์อบแห้งจะแปรผันลดลงตามระยะเวลาที่อบแห้ง [14] การเปรียบเทียบมวลของตะไคร้ในชุตถาดหมุนเดียวกันมีอัตราการสูญเสียมวลไปในทิศทางเดียวกันในการทดลองการสูญเสียมวลของชุตถาดหมุนที่ 1 เท่ากับ 0.0007 g/h และชุตถาดหมุนที่ 2 มีอัตราการสูญเสียมวลเฉลี่ยเท่ากับ 0.0908 g/h การลดลงของมวลผลิตภัณฑ์หมายถึงการสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์หรือความชื้นจากผลิตภัณฑ์ที่ระเหยออกไป จากผลการทดลองพบว่าความชื้นของตะไคร้ลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการอบแห้ง ความชื้นของตะไคร้เริ่มต้นอบแห้งมีความชื้นเฉลี่ย 79.2% และเมื่อสิ้นสุดการอบแห้ง 14 h ชุตถาดหมุนที่ 1 ความชื้นผลิตภัณฑ์สุดท้ายเหลือเฉลี่ย 10.08% อย่างไรก็ตามในส่วนของชุตถาดหมุนที่ 2 ความชื้นผลิตภัณฑ์สุดท้ายเหลือเฉลี่ยต่ำกว่า 1% ซึ่งพอสรุปได้ว่าชุตถาดหมุนที่ 2 มีอัตราการลดความชื้นสูงกว่าชุตถาดหมุนที่ 1 จากการวิเคราะห์ข้อมูลชุตถาดหมุนที่ 2 ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เฉลี่ย 10% จะใช้เวลาการอบแห้ง 6 ถึง 7 h

- การวิเคราะห์อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ

ภาพที่ 6 แสดงอัตราการระเหยน้ำจำเพาะของการอบแห้งตะไคร้ที่ระยะเวลา 14 h พบว่าชุตถาดหมุนที่ 2 ให้อัตราการระเหยน้ำจำเพาะสูงกว่าชุตถาดหมุนที่ 1 โดยอัตราการระเหยน้ำจำเพาะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันอัตราการระเหยน้ำจำเพาะที่ระยะเวลาอบแห้ง 2 ถึง 8 h จะให้อัตราการระเหยน้ำสูงทั้งนี้เนื่องจาก อัตราการระเหยน้ำสูงในช่วงแรกเนื่องจากความชื้นในตะไคร้ยังมีมาก ทำให้น้ำระเหยออกมาได้เร็ว แต่เมื่อเวลาผ่านไป หลังจากช่วงเวลา 5-6 h ความชื้นลดลง อัตราการระเหยน้ำจึงลดลงตามลำดับ [15] อัตราการระเหยน้ำจำเพาะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมชีวมวลสำหรับการอบแห้งตะไคร้ อยู่ในช่วง 0.00023-0.00646 kg_{Water}/kWh_{th} หรือมีค่าเฉลี่ย 0.00242 kg_{Water}/kWh_{th} การประเมินประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้งให้ประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย 6.65% ในขณะที่การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโดมอย่างเดียวมีประสิทธิภาพความร้อนเฉลี่ย 8.55-25.27% [16]



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบการสูญเสียมวลผลิตภัณฑ์ของชุดถาดหมุนในแนวนอน



ภาพที่ 6 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะของการอบแห้งตะไคร้

สรุปผลการทดลอง

ผลการออกแบบ คำนวณ และสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล สามารถดำเนินการสร้างได้ดี โดยเครื่องอบแห้งสามารถทำงานได้ในสภาวะมีแสงอาทิตย์และไม่มีแสงอาทิตย์ ห้องอบแห้งที่พัฒนามีปริมาตรรวม 4.95 m³ ชุดถาดเป็นแบบถาดหมุนในแนวนอนมีจำนวน 16 ถาด ใช้แผ่นโพลีคาร์บอนเรตรับแสงอาทิตย์และใช้เตาชีวมวลขนาด 5 kw ป้อนความร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีป เครื่องอบแห้งสามารถสร้างอุณหภูมิทดสอบในสภาวะไม่มีแสงอาทิตย์และใช้ เตาชีวมวลสามารถสร้างอุณหภูมิในห้องอบได้ในช่วง 50-65 °C เมื่ออบแห้งตะไคร้ใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ย 14 h ความชื้นสุดท้ายเหลือ 10% อัตราการสูญเสียมวล 0.0007-0.0908 g/h อัตราการระเหยน้ำจำเพาะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวลสำหรับการอบแห้งตะไคร้ มีค่าเฉลี่ย 0.00242 kg_{Water}/kWh_{th} และเครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ย 6.65% ในภาพรวมเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวลนี้สามารถนำไปใช้

ในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ ได้ และควรมีการส่งเสริมให้กับกลุ่มเกษตรกรนำไปแปรรูปสินค้าทางการเกษตรของตนเอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้โครงการผลิต และพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในประเทศอาเซียนที่สนับสนุนเงินทุนในด้านการศึกษาและการทำวิจัยสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการพลังงานสะอาดและเกษตรอัจฉริยะ (Clean Energy & Smart Agricultural Laboratory) วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่สนับสนุนเครื่องมือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กมลวรรณ จิตจักร และธวัชชัย อ่องประเสริฐ. (2022). การอบแห้งมะเขือเทศราชินีด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบบังคับร่วมกับความร้อนเสริมจากอินฟราเรด. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 17 (2), 42-54.
- [2] สุธาสนี ผาภา. (2560). พลังงานทดแทนในสถานการณ์ภาวะโลกร้อน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 11 (2), 49-57.
- [3] K. ELAVARASAN, VINITHA VERMA and B. A. SHAMASUNDAR. (2017). Development of prototype solar-biomass hybrid dryer and its performance evaluation using salted fish (*Cynoglossus spp.*). Indian J. Fish., 64 (Special Issue). 123-129.
- [4] ศิริชัย ศิริชนะ อภินันต์ นามเขต อำไพศักดิ์ ทิบุญมา ประพันธ์พงษ์ สมศิลาและทรงสุภา พุ่มชุมพล. (2565). การเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 4 (2), 187-205.
- [5] อภิญา สายศรีแก้ว อัษฎา วรรณกายนต์ อภิชัย ไพรสินธุ์และสุชาติ ดุมนิล. (2565). การพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการแปรรูปอาหารควบคุม ด้วยระบบ Internet of Things (IoT). วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ 7 (2), 42-52.
- [6] วสันต์ จินราดาและพรชัย เพชรสงคราม. (2565). ลักษณะรูปทรงของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อการอบแห้งยางพาราแผ่น. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 27 (1), 89-99.
- [7] หทัยชนก เนตรคำและศิรินุช จินดารักษ์. (2560). การพัฒนาเครื่องอบแห้งรมควันขนาดเล็กยางพาราแผ่นโดยใช้พลังงาน แสงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาชีวมวล. Rajabhat Journal of Sciences, Humanities & Social Sciences 18 (2), 367-377.
- [8] การันย์ หอมชาติ. (2561). การประเมินสมรรถนะของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา 29 (3), 61-74.
- [9] EL- Amin Omda Mohamed Akoy, Mohamed Ayoub Ismail, El-Fadil Adam Ahmed and W. Luecke. (2015). Design and Construction of a Solar Dryer for Mango Slices. Conference: Trope tag

2006 Prosperity & poverty in a globalized world: Challenges for Agricultural Research. Bonn, Germany, October 11-13, 2006.

- [10] นิกราน หอมดวง, เจนจิรา อุตเรือน, กิตติกร สาสุจิตต์, สุรพล ริยะนา และพันธวัฒน์ ไชยวรรณ. (2565). **การประเมินสมรรถนะเตาซีวมวลที่เหมาะสมสำหรับการใช้ถ่านอัดแท่งและเศษไม้เป็นเชื้อเพลิง**. วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน 6 (1).
- [11] Cereals & Grains Association. (1999). **Moisture—Air-Oven Methods**. AACC International Method 44-15.02.
- [12] สมจิต หล้าพรหม, ไพโรจน์ เอกอุพาร และ ณัฐพงศ์ ดิษฐเจริญ. (2561). **ตู้อบเนกประสงค์พลังงานแสงอาทิตย์และอินฟราเรด**. การประชุมวิชาการระดับชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 5, 438-452.
- [13] ณฤทธิ วรหาญ. (2565). **การศึกษาการอบแห้งกล้วยภายในพาราโบลาโดม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [14] วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล. (2024). **การศึกษาเชิงทดลองอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยตู้อบแห้งแบบหลายชั้นพลังงานแสงอาทิตย์**. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม 25 (1), 43-51.
- [15] ณัฐพงษ์ วงศ์บับพา, กระวี ตรีอำรรค และเทวรัตน์ ตรีอำรรค. (2565). **อิทธิพลของอากาศอบแห้งแบบเป็นช่วงต่อการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม**. วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ 8 (2), 131-143.
- [16] Jagrapan Piwsaoad. (2024). **Thermal efficiency of solar dryers for drying longan and heat transfer Modeling**. Progress in Applied Science and Technology 14 (1), 35-41.

การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแบบผสมผสานจากใบอ้อยและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

Study on the Production of Biomass Pellet Fuel Blended from Sugarcane Leaves and Agricultural Waste Materials

นรุตม์ บุตรพลอย¹ ภาคิน มณีโชติ^{2*} นิวดี คลังสีดา³ และกนกวรรณ เขียววัน⁴

Narut Butploy¹ Pakin Maneechot² Nivadee Klungsida³ and Kanokwan Khiewwan⁴

^{1,2,3,4} คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

^{1,2,3,4} Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University 62000

Abstract

This study investigates the production of biomass briquettes from sugarcane leaves and other agricultural waste, with sugarcane leaves serving as the primary raw material. The widespread practice of burning sugarcane leaves by farmers, which affects over 70% of cultivated areas, significantly contributes to air pollution, including particulate matter (PM-10) and carbon monoxide emissions, posing serious public health risks. In this experiment, sugarcane leaf residues were combined with cassava rhizomes in varying proportions to determine the optimal formulation for briquette production. The results indicate that a 90:10 ratio of sugarcane leaves to cassava rhizomes produced the highest calorific value, reaching 6864.72 cal/g; however, this formulation lacked the necessary cohesion for briquette formation. Conversely, a 30:60:10 ratio of sugarcane leaves, starch paste, and cassava rhizomes achieved a heat energy value of 3006.11 cal/g and successfully formed briquettes. Among the 25 tested formulations, the mixture containing 30% sugarcane leaves, 60% starch paste, and 10% cassava rhizomes demonstrated the most favorable combination of high calorific value and structural integrity.

These findings underscore the potential of agricultural waste utilization in producing sustainable biomass fuel. Furthermore, the proposed technology offers a viable solution for reducing sugarcane leaf burning while enhancing the economic value of agricultural by-products, making it suitable for community-level implementation.

Keywords: Biomass Pellets, Management of Agricultural Residues, Mitigation of Post-Harvest Burning Challenges for Farmers

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากใบอ้อยและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยมีใบอ้อยเป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากการเผาใบอ้อยของเกษตรกรกว่า 70% ของพื้นที่เพาะปลูกก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น PM-10 และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพประชาชน การทดลองนี้จึงได้นำเศษใบอ้อยและเหง้ามันสัปะหลังมาผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าอัตราส่วน 90:10 (ใบอ้อย:เหง้ามัน) ให้ค่าความร้อนสูงสุดที่ 6864.72 cal/g แต่ไม่สามารถขึ้นรูปได้ ส่วนอัตราส่วน 30:60:10 (ใบอ้อย:น้ำแป้ง:เหง้ามัน) ให้ค่าความร้อนที่ 3006.11 cal/g และสามารถขึ้นรูปได้สำเร็จ จากการทดสอบทั้ง 25 สูตรพบว่าสูตรผสมที่ใช้ใบอ้อย 30%, น้ำแป้ง 60%, และเหง้ามัน 10% เป็นสูตรที่มีค่าความร้อนสูงสุดในขณะที่ยังคงความสามารถในการขึ้นรูปได้ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรในการผลิตเชื้อเพลิงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่ชุมชนเพื่อลดปัญหาการเผาใบอ้อยและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง, วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, การลดปัญหาการเผาหลังเกี่ยวเกษตรกร

บทนำ

จังหวัดกำแพงเพชรเป็นหนึ่งในจังหวัดที่มีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยสูงโดยมีพื้นที่เพาะปลูก 533,895 ไร่ [1] แต่หลังจากการเก็บเกี่ยวเกษตรกรกำจัดใบอ้อยด้วยวิธีการเผา ซึ่งจากการฐานข้อมูลงาน Big Data ของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรได้เก็บข้อมูลคร่าวๆในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดตากพบถึงปัญหาด้านสุขภาพเกิดจากการเผาอ้อย [2] ที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ได้แก่ ก๊าซต่าง ๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ สารอินทรีย์ระเหย รวมทั้งฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM-10) แก้วควัน และเขม่า ซึ่งล้วนแต่มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน [3] ข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมระบุว่า ในปีนี้พื้นที่เผาใบอ้อยในอำเภอชาวมุสลิมบุรีมีมากถึง 1,306 ไร่ในเดือนมกราคมและ 554 ไร่ในเดือนกุมภาพันธ์ โดยยังพบพื้นที่เผาในอำเภออื่น ๆ เช่น เมือง ไทรงาม และบึงสามัคคี ซึ่งรวมเป็นสัดส่วนของพื้นที่เพาะปลูกอ้อยทั้งหมด [4] เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งหรือเชื้อเพลิงชีวเป็นกระบวนการนำชีวมวลหรือของเสียทางชีวภาพมาอัดแท่งแล้วนำไปใช้งานโดยตรงไม่ต้องมีขั้นตอนการเผาเหมือนเช่นถ่านอัดแท่ง ข้อดีของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งได้แก่ การที่ไม่ต้องตัดไม้ทำลายป่ามาทำเป็นฟืนและเผาถ่าน แต่เป็นการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงสะอาดการเผาไหม้มีประสิทธิภาพสูง [5] ในการแสวงหาแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่ดีเนื่องจากมีลักษณะที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่จากเศษวัสดุเหลือใช้เป็นทางเลือกพลังงานที่สะอาดขึ้น

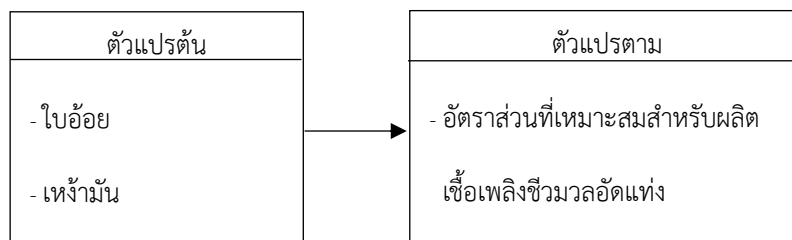
งานวิจัยของ [6] ศึกษาความเหมาะสมในการจัดการเปลือกสับประดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในชุมชนผลการศึกษาพบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,235-3,389 kcal/kg งานวิจัยของ [7] ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวจากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ผสมกับชีวมวลอื่นพบว่าคุณลักษณะที่ดีของวัสดุเหลือใช้เปลือกมะม่วงหิมพานต์มีคุณลักษณะที่ดีที่สุดโดยมีปริมาณสารระเหยสูงถึง ร้อยละ 73.20 ค่าคาร์บอนคงตัวร้อยละ 17.20 และค่าความชื้นต่ำที่สุดคือร้อยละ 9.5 งานวิจัยของ [8] ศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากฟืนชานอ้อยและฟืนใบอ้อย พบว่าฟืนชานอ้อยให้ค่าความร้อนที่ 1,455.77 - 1,513.66 kcal/kg ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการส่งเสริมการผลิต จากที่กล่าวมาผู้วิจัยมุ่งไปที่การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งโดยเน้นไปที่ส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากใบอ้อยโดยมีวัตถุประสงค์และศึกษา

อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งและเพื่อหาส่วนผสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ให้ค่าพลังงานสูงสุดโดยมีไบอ้อยเป็นวัตถุดิบหลัก

วิธีการวิจัย

กรอบการวิจัย

ผู้วิจัยตั้งสมมติฐานการวิจัย คือ เศษวัสดุเหลือใช้ได้แก่ไบอ้อยและเหง้ามันสามารถนำมาทำเป็นพลังงานชีวมวลอัดแท่งได้โดยที่ให้ค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 2,000 Cal/g ต่อกิโลกรัม และการขึ้นรูปทางกายภาพ ซึ่งกรอบการวิจัยแสดงดังภาพที่ 1

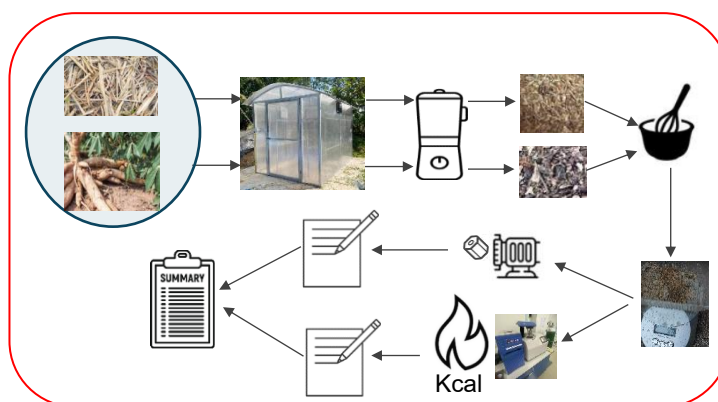


ภาพที่ 1 กรอบการวิจัย

ภาพที่ 1 แสดงกรอบการวิจัยโดยผู้วิจัยกำหนดตัวแปรต้นได้แก่ไบอ้อย เหง้ามัน และน้ำยาประสานใช้แป้งมัน นำมาผ่านกระบวนการผลิตดังภาพที่ 2 จากนั้นนำไปทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

ขั้นตอนการผลิต

การทดลองผู้วิจัยใช้เศษไบอ้อยจากการเก็บเกี่ยวและเหง้ามันนำผ่านกระบวนการลดความชื้นและทำให้แห้งเตรียมน้ำยาประสานโดยใช้แป้งมัน วิธีการวิจัยการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากไบอ้อยมีวิธีการดำเนินการดังภาพที่ 2 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ 1) การเตรียมอุปกรณ์และตัวอย่าง ขั้นตอนนี้ผู้วิจัยนำวัตถุดิบได้แก่ ไบอ้อยและเหง้ามันสับปะหลัง มาตากแดดที่ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 4 วัน ในช่วงเวลา 9.00-15.00 น. จากนั้นนำมาสับและหั่นจนละเอียดซึ่งวัตถุดิบแล้วนำไปอบในตู้อบอีก 2 วัน โดยอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อยู่ที่ 50 °C จนน้ำหนักของวัตถุดิบลดลงจนมีค่าคงที่ 2) การเตรียมส่วนผสม นำวัตถุดิบมาผสมเพื่อเตรียมขึ้นรูปซึ่งมีส่วนผสมดังตารางที่ 1 จากนั้น 3.) การอัดแท่งและการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง เมื่อได้ส่วนผสมแล้วนำแต่ละสูตรมาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัด เพื่อให้ได้ความหนาแน่นมากที่สุดจากนั้นนำไปเข้าตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความร้อนจนความชื้นลดลง



ภาพที่ 2. ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

ส่วนผสมซึ่งประกอบไปด้วยเศษใบอ้อยจากการเก็บเกี่ยว เหง้ามัน น้ำประสาน ทั้งหมด 25 สูตรซึ่งกำหนดให้วัตถุดิบเป็นตัวแปร x_1 - x_3 โดยใช้อัตราส่วน ใบอ้อย : น้ำประสานแ่งมัน : เหง้ามัน

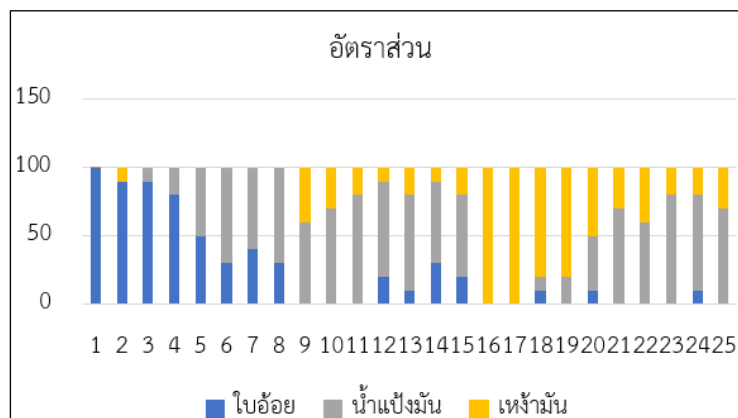
การทดสอบการขึ้นรูปอัดแท่งและหาค่าหาค่าความร้อน

1. การทดสอบการขึ้นรูปอัดแท่ง ขั้นตอนนี้ผู้วิจัยส่วนผสมต่าง ๆ มารวมกันแล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดถ่านมือเพื่อให้ทราบถึงสูตรใด ๆ ที่สามารถนำไปขึ้นรูปได้จริงตามต้องการ

2. การหาประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง ขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ส่งตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ IKA® C 6000 isoperibol Calorimeter Isoperibol 22 °C ASTM Method

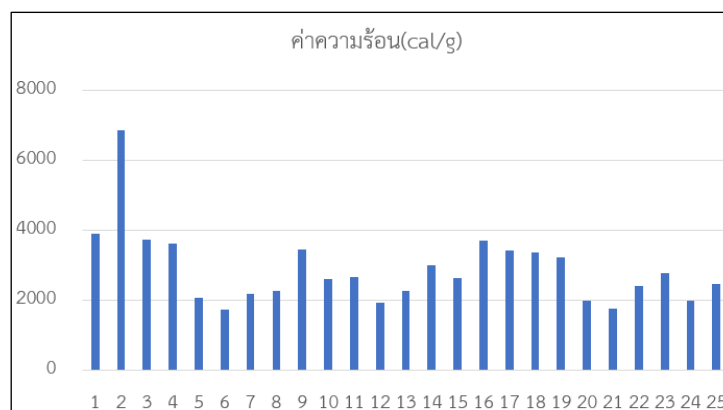
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากกรอบการวิจัยที่ผู้วิจัยกำหนดตัวแปรต้นได้แก่ ใบอ้อย เหง้ามัน และน้ำยาประสานด้วยแ่งมันแล้วนำมาผสมเพื่ออัดเป็นแท่งจากนั้นนำตัวอย่างแต่ละสูตร (สูตร 1-25) มาทดสอบขึ้นรูปและหาค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3. อัตราส่วนและผลการทดสอบค่าความร้อน

ภาพที่ 3 แสดงอัตราส่วนผสมและผลการทดสอบค่าความร้อน โดยภาพที่ 3 แสดงอัตราส่วน องค์ประกอบสูตรเชื้อเพลิงได้แก่ ใบอ้อย : น้ำประสานแ่งมัน : เหง้ามัน



ภาพที่ 4. ค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

ภาพที่ 4 แสดงค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งทดสอบหลังอัดแท่งทิ้งไว้ 14 วัน อัตราส่วนของตัวแปรสูตรที่ 2 ให้ค่าพลังงานสูงสุดที่ 6864.72 cal/g เมื่อพิจารณาอัตราส่วนผสมพบว่าใช้ใบอ้อยที่ 90 ส่วน และใช้เหง้ามันที่ 10 ส่วน และสูตรผสมที่ 6 ให้ค่าพลังงานความร้อนต่ำสุดที่ 1726.86 cal/g แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพเพื่อขึ้นรูปอัดแท่งแล้วพบว่าส่วนผสมที่ 2 ไม่สามารถนำมาอัดขึ้นรูปได้จริงในการทดลองเมื่อทิ้งไว้อัตราส่วนดังกล่าวนี้เกิดการแตกไม่รวมก้อน และจากการทดลองขึ้นรูปทั้ง 25 สูตรทดลองพบว่าอัตราส่วนที่นำมาอัดขึ้นรูปและเกาะติดเป็นแท่งได้นั้นได้แก่ สูตรผสมที่ (8) 20 : 80 : 0 , สูตรผสมที่ (12) 20 : 70 : 10, สูตรผสมที่ (14) 30 : 60 : 10 , สูตรผสมที่ (23) 0 : 40 : 20, และ สูตรผสมที่ (25) 0 : 70 : 30 ซึ่งในส่วนนี้สูตรผสมที่ 14 ให้ค่าความร้อนสูงสุดที่ 3006.11 เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการให้ความร้อนของส่วนผสมพบว่ามีส่วนผสมของน้ำและแ่งทำให้สามารถยึดจับกันเป็นก้อนได้แต่ทั้งนี้ในตัวถ่านอัดแท่งยังคงมีความชื้นถึงแม้ว่าจะนำไปตากทิ้งไว้ 14 วัน แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับค่าความชื้นของเชื้อเพลิงที่ว่าถ้าค่าความชื้นมากมีแนวโน้มค่าความร้อนที่น้อยลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ [9] ที่ศึกษากระบวนการแปรรูปชีวมวลมีการประเมินคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงดังเช่นในงานวิจัยนี้

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีความจำเป็นเนื่องจากปัญหามลพิษที่เกิดจากการเผาใบอ้อยในพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งเป็นวิธีการที่เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ในการกำจัดเศษวัสดุหลังการเก็บเกี่ยว ใบอ้อยที่ถูกเผาทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่น PM-10 และก๊าซพิษที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง โดยใช้ใบอ้อยเป็นวัตถุดิบหลัก ร่วมกับเหง้ามันสำปะหลังและน้ำแ่ง เพื่อสร้างเชื้อเพลิงทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผลการทดลองพบว่าสูตรผสมที่มีอัตราส่วนใบอ้อย 30%, น้ำแ่ง 60%, และเหง้ามัน 10% ให้ค่าพลังงานความร้อนที่เหมาะสมและสามารถขึ้นรูปเป็นแท่งได้อย่างมั่นคง ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ในขณะที่สูตรที่ให้ค่าพลังงานสูงสุดที่ 6864.72 แคลอรีต่อกรัม (อัตราส่วนใบอ้อย 90% และเหง้ามัน 10%) กลับไม่สามารถขึ้นรูปได้ ข้อค้นพบนี้แสดงให้เห็นว่าสูตรที่เหมาะสมต้องคำนึงถึงความสมดุลระหว่างค่าพลังงานและความสามารถในการขึ้นรูป เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริง ซึ่งงานวิจัยนี้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ในเรื่องของการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน และสามารถตอบโจทย์กลุ่มเป้าหมายในระดับชุมชน โดยเฉพาะเกษตรกรและกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการจัดการวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร งานวิจัยนี้ยังมีศักยภาพในการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนเพื่อช่วยลดปัญหาการเผาใบอ้อยและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ที่ท้องถิ่น ซึ่งจะช่วยสร้างรายได้และลดมลพิษทางอากาศที่มีผลต่อสุขภาพของประชาชน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรสนับสนุนงบประมาณภายใต้งานวิจัยศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแบบผสมผสานจากใบอ้อยและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

เอกสารอ้างอิง

- [1] เกษตรและสหกรณ์ จังหวัดกำแพงเพชร, สำนักงาน. (2563). **พื้นที่ปลูก (ไร่) และคาดการณ์ผลผลิต (ตัน) พืชเศรษฐกิจ (ข้าว มันสำปะหลัง อ้อยโรงงาน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์) จังหวัดกำแพงเพชร จากดาวเทียม ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2563**. [Online]. Available: <https://www.opsmoac.go.th/kamphaengphet-dwl-preview-422791791907>. [2566, พฤษภาคม 9].

- [2] ราชภัฏกำแพงเพชร, มหาวิทยาลัย. (2563). **ฐานข้อมูลครัวเรือนในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดตาก งาน Big Data ของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร**. [Online]. Available: <https://register.kpru.ac.th/dataset/> [2566, เมษายน 28].
- [3] นิคม สิงห์สร้อย. (2556). **มาตรการลดปัญหาผลกระทบทางอากาศจากการเผาอ้อยของจังหวัดกำแพงเพชร**. กำแพงเพชร: สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดกำแพงเพชร.
- [4] สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. (2565). **จำนวนพื้นที่การเผาเศษวัสดุการเกษตรในไร่อ้อย**. [Online]. Available: <https://gdcatalog.go.th/dataset/gdpublish-dataset-10-71> [2566, มีนาคม 28].
- [5] นฤภัทร ตั้งมันคงวรกุล. (2557, มกราคม-มิถุนายน). การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร และครัวเรือน. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ(สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)**, 6(11), 66-77.
- [6] ธนาพล ตันติสัตยกุล. (2558, ฉบับพิเศษ). ศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 23(5), 754-773.
- [7] ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ ศรีศักดิ์ สุนทรไชย และสุดาว เลิศวิสุทธิไพบูลย์. (2560). การผลิตเชื้อเพลิงชีวจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ผสมกับชีวมวลอื่น. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 14** (น.142-147). นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- [8] เอกวรพงศ์ โชติคุณวัฒน์. (2562). การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากฟ่อนขานอ้อยและฟ่อนใบอ้อย: กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล. ใน **การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12** (น. 222-236). 6-8 พฤศจิกายน 2562. พิษณุโลก: วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร
- [9] วิราช กิ่งวิจิต. (2560). **การผลิตพลังงานทดแทนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร** (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: วิทยาลัยการทัพบก.

การอบแห้งขมิ้นชันแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานจากขดลวดความร้อนที่ควบคุม สภาวะอากาศอบแห้ง

Drying of turmeric using a hybrid solar energy system integrated with controlled air conditioning and thermal energy from heating coils

สุทธิพงษ์ เรืองจิตร¹ นิกราน หอมดวง¹ ชูรัตน์ ธารารักษ์¹ สุระพล รียะนา¹ และ กิตติกร สาสุจิตต์^{1*}
Suttipong Ruanjit¹, Nigran Homdoun¹, Churat Tararax¹, Surapon Riyana¹ and Kittikorn Sasujit^{1*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹ Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290

Corresponding author: Tel.: (+66) 89-9988203. E-mail address: k.sasujit@yahoo.com

Abstract

Turmeric is an herb that can be used as a food seasoning and has medicinal properties. For this reason, it is a high-demand product in the consumer and medicinal markets. However, in our study, we found that it has a highly serious post-harvest problem that must be considered dust, animal dropping, and pollutants. To address these problems, a turmeric solar dryer is proposed in this work. It is based on both heat sources which are the heat from sunlight and the heat from a 2-kW heater. In addition, the heat from sunlight is the major heat source for drying turmeric. The dimensions of the proposed dryer are 1.7 x 2.5 x 2.1 m. It is constructed from polycarbonate sheets and aluminum angles. The proposed dryer aims are controlling the temperature to be at most 60°C. To evaluate the proposed dryer, an experiment was set up. For the experimental results, it was found that the moisture content of the fresh turmeric could be reduced from 563.57 %db to a final moisture content of 1.49 %db within 36 h. For standard drying according to TISI 676/2547 that can be the drying time was only 22 h. During testing, the average solar radiation intensity was between 598.60-640.81 W/m², the dryer efficiency of 22.44%, with specific energy consumption of 4.10 MJ/kg_{water evap.} and a specific moisture extraction rate of 3.91 kg_{water evap.}/kWh. The dried turmeric retained color quality, with red and yellow shades closely matching those of fresh turmeric. The drying system required an initial investment of 30,000 Baht and incurred variable costs of 92,895 Baht/year, generating an annual revenue of 112,320 Baht/year. This resulted in a net annual return of 19,425 Baht/year, with a payback period of 0.65 year. The study found a fresh-to-dried turmeric ratio of 6.4:1, suggesting that this drying system could be beneficial for small-scale herbal processing enterprises and could help add value to Thai herbal products.

Keywords: Hybrid solar dryer, turmeric, heating coil, controlled air conditioning

บทคัดย่อ

หมื่นชั้นเป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณทางยาสูงและสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการบริโภคและผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางโดยเฉพาะอย่างยิ่งในธุรกิจสปา อย่างไรก็ตามยังคงพบปัญหาหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตในเรื่องของสัตว์ แมลง ผุ่น และมลพิษอื่น ๆ ในการแปรรูปด้วยการอบแห้งแบบธรรมชาติ จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบอบแห้งหมื่นชั้นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับขดลวดความร้อนที่ควบคุมสภาวะการอบแห้งแบบอัจฉริยะโดยใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด $1.7 \times 2.5 \times 2.1$ m คลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต พร้อมขดลวดแหล่งความร้อนเสริมขนาดกำลัง 2 kW โดยควบคุมอุณหภูมิอบแห้งไม่เกิน 60°C พร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิและการระบายความชื้น โดยหมื่นชั้นสดถูกหั่นให้มีความหนา 2-5 mm และทดลองน้ำหนักรวม 20 kg จากผลการศึกษาพบว่าหมื่นชั้นสามารถลดความชื้นจาก 563.57 %db เหลือเพียง 1.49 %db ในเวลาอบแห้ง 36 h สำหรับการอบแห้งตามมาตรฐาน มพข. 676/2547 ที่กำหนดความชื้นสุดท้าย 11.11 %db สามารถใช้เวลาอบแห้งเพียง 22 h ซึ่งในระหว่างการทดลองพบว่าค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยในช่วง 598.6 - 640.81 W/m^2 ประสิทธิภาพการอบแห้งเฉลี่ย 22.44% และมีการใช้พลังงานจำเพาะ 4.1 $\text{MJ/kg}_{\text{water evap.}}$ และอัตราการใช้พลังงานในการระเหยน้ำจำเพาะ 3.91 $\text{kg}_{\text{water evap.}} / \text{kWh}$ ผลการตรวจวัดคุณภาพสีหมื่นชั้นอบแห้งพบว่าสีแดงและสีเหลืองใกล้เคียงกับหมื่นชั้นสด อย่างไรก็ตามระบบอบแห้งนี้มีค่าใช้จ่ายลงทุนเริ่มต้น 30,000 บาท และมีต้นทุนแปรผัน 92,895 บาทต่อปี โดยให้ผลตอบแทนจากการขายหมื่นชั้นอบแห้งอยู่ที่ 112,320 บาทต่อปี คิดเป็นผลตอบแทนสุทธิ 19,425 บาทต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 0.65 ปี โดยให้อัตราส่วนหมื่นชั้นสดต่อหมื่นชั้นอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 6.4:1 ดังนั้นผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าระบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการแปรรูปสมุนไพรในระดับวิสาหกิจชุมชน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์สมุนไพรของไทยได้อีกด้วย

คำสำคัญ: โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน, หมื่นชั้น, ขดลวดความร้อน, ระบบการควบคุม

บทนำ

จากสถานการณ์ปัจจุบันได้ให้ความสำคัญในเรื่องสุขภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สมุนไพรไทยที่มีคุณสมบัติทางอาหารและยา รวมไปถึงมีการนำไปใช้ในรูปแบบของเครื่องสำอาง ยารักษาโรค อาหารเสริมสุขภาพ ซึ่งถือว่าเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากไม่เป็นสารเคมีที่อันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจึงทำให้ผู้บริโภคได้รับความปลอดภัยมากขึ้น ประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่เป็นพืชไร่ พืชสวน ซึ่งจะมีการเพาะปลูกพืชสมุนไพรหลากหลายชนิดแตกต่างกัน และกระจายพื้นที่เพาะปลูกทั่วทุกภาคของประเทศไทย นอกจากนั้นยังมีพืชสมุนไพรไทยท้องถิ่นที่หลากหลายด้วยกัน จากแผนแม่บทแห่งชาติว่าด้วยการพัฒนาสมุนไพรไทย ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2566-2570 มีการส่งเสริมการใช้สมุนไพรเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับส่งออกต่างประเทศ รวมไปถึงการส่งเสริมให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องพัฒนาพืชสมุนไพรไทยให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล และสร้างมูลค่าเพิ่มแก่ผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการแปรรูปสมุนไพร [1] ต่อมาได้มีการปรับปรุงแผนปฏิบัติการด้านสมุนไพรแห่งชาติ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2566-2570 โดยมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการยกร่างแผนนี้ประกอบไปด้วยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงอุดมศึกษาวิจัย และนวัตกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงพาณิชย์ และกระทรวงสาธารณสุข จากข้อมูลพบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2559-2563 มีมูลค่าการส่งออกวัตถุดิบสมุนไพรและผลิตภัณฑ์เฉลี่ยประมาณ 2,237 ล้านบาทต่อปี [2] โดยสินค้าหลักที่ส่งออกต่างประเทศประกอบด้วยผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร พรรณไม้ และน้ำมันหอมระเหย โดยกลุ่มประเทศหลักที่บริโภคสมุนไพร ประกอบไปด้วยสาธารณรัฐประชาชนจีน ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ เป็นต้น สำหรับกระบวนการแปรรูปสมุนไพรที่ง่ายและเหมาะสมก็คือการอบแห้งหรือการลดความชื้นโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งจะมีระยะเวลาประมาณ 5 ชั่วโมงต่อวัน หรือชั่วโมงที่แสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยต่อวัน และนิยมตากแบบธรรมชาติ ซึ่งส่งผลทำให้ได้รับผลกระทบในเรื่องของการปนเปื้อนสิ่งสกปรก สัตว์ และ

แมลงรวมไปถึงอาจเกิดเชื้อราขึ้น ในช่วงที่ปริมาณค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝนหรือฤดูหนาวทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหาย ด้วยเหตุนี้ทางเลือกในการแก้ไขปัญหาคือการใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งในช่วงช่วงที่มีแสงอาทิตย์ ในส่วนช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ก็จะใช้แหล่งความร้อนเสริมเพื่อให้สามารถอบแห้งได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งให้เหมาะสมผ่านระบบควบคุมระยะไกลก็จะสามารถทำให้การอบแห้งพืชสมุนไพร และเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ได้อีกทางหนึ่งเช่นกัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแหล่งความร้อนเสริมจากขดลวดความร้อน และทำการพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งในห้องอบแห้งแบบระยะไกล โดยใช้หมั่นชั้นเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งทำการควบคุมอุณหภูมิในช่วงไม่เกิน 60°C เพื่อรักษาปริมาณสารระเหยในผลิตภัณฑ์ไว้ โดยจะทำการศึกษาประเมินประสิทธิภาพการอบแห้ง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ความชื้นสุดท้ายหมั่นชั้นอบแห้ง และการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแหล่งความร้อนเสริมจากขดลวดไฟฟ้า

วิธีการวิจัย

การอบแห้งหมั่นชั้นโดยใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานแหล่งความร้อนเสริมจากขดลวดไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมสภาวะอบแห้ง มีรายละเอียดของขั้นตอนและวิธีการวิจัย ดังนี้

การเตรียมหมั่นชั้น

หมั่นชั้น (Turmeric) ที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้ได้มาจากแหล่งเพาะปลูกจังหวัดเชียงใหม่ โดยจะนำมาล้างทำความสะอาดและผึ่งให้แห้ง จากนั้นนำมาหั่นด้วยเครื่องหั่นสไลด์ให้มีขนาดหนาในช่วง 2 - 5 mm โดยในการทดลองจะใช้หมั่นชั้นสดจำนวน 20 kg โดยมีค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 610.73 %db ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 หมั่นชั้นสดที่มีความหนา 2-5 mm

การออกแบบโรงอบแห้งพร้อมระบบควบคุมสภาวะอากาศอบแห้ง

โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานแหล่งความร้อนเสริมจากขดลวดไฟฟ้า โดยมีขนาดโรงอบแห้งเท่ากับ $1.7 \times 2.5 \times 2.1$ m คลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตความหนา 5 mm ติดตั้งบนพื้นคอนกรีตพร้อมชั้นวางผลิตภัณฑ์จำนวน 3 ชั้น สามารถอบแห้งหมั่นชั้นได้ 20 กิโลกรัมต่อครั้ง ใช้เหล็กกล้าปิวไนซ์ (Galvanized steel pipe) ขนาด 25.4×25.4 mm และความหนา 1.5 mm เป็นโครงสร้างของโรงอบแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 2 ในส่วนของการพัฒนาระบบควบคุมสภาวะอากาศในการอบแห้งในโรงอบแห้งใช้เซนเซอร์ THS01 Temperature & humidity Sensor เชื่อมต่อผ่าน RJ9 4P4C ที่ช่วงอุณหภูมิตรวจวัด -40°C ถึง 85°C และความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 0-100%RH พร้อมด้วยระบบควบคุมและสั่งการของ Sunoff TH Elite TH16 พร้อมแอปพลิเคชันสั่งการและควบคุมการทำงาน อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวนี้จะไปสั่งการการทำงานของพัดลมระบายความชื้นขนาด 7 นิ้ว ที่กำลังไฟฟ้าขนาด 25 W และแหล่งความร้อนเสริมจากขดลวดไฟฟ้าขนาดกำลังไฟฟ้า 2 kW ดังแสดงในภาพที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการอบแห้งขมิ้นชันสดจำนวน 20 กิโลกรัมต่อครั้ง ทำการชั่งน้ำหนักเริ่มต้น พร้อมหาค่าความชื้นเริ่มต้นของการทดลอง โดยจะมีเงื่อนไขการควบคุมการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้งไม่เกิน 60°C โดยทำการเซตค่าช่วงอุณหภูมิไว้ในช่วง $50-55^{\circ}\text{C}$ ผ่านเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศในห้องอบแห้ง ซึ่งเริ่มต้นการทำงานเมื่อทำการอบแห้งในช่วงแรกจะทำการอบแห้งในช่วงตอนมีแสงอาทิตย์ หากอุณหภูมิในห้องอบแห้งต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบจะสั่งให้ขดลวดความร้อนเสริมทำงานจนทำให้อากาศในห้องอบแห้งมีอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ระบบก็จะสั่งให้ขดลวดความร้อนเสริมหยุดทำงาน ขณะเดียวกันในกรณีที่อุณหภูมิในห้องอบแห้งสูงเกินค่าที่ตั้งไว้ รวมไปถึงค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศในห้องอบแห้งมากเกินไปหรือสูงเกิน $70\%\text{RH}$ ระบบก็จะสั่งให้พัดลมระบายความชื้นออกจากห้องอบแห้งจนได้สภาวะอากาศขึ้นในห้องอบแห้งตามที่ตั้งไว้ก็จะหยุดทำงาน ดังนั้นระบบการทำงานของเครื่องนี้จะทำการตามค่าที่เซตค่าไว้ทำให้สภาวะอากาศอบแห้งมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง อย่างไรก็ตามพลังงานหลักที่ใช้ในการอบแห้งจะใช้แหล่งพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นหลักส่วนแหล่งความร้อนเสริมจากขดลวดไฟฟ้าจะทำการเพื่อรักษาอุณหภูมิอบแห้งในช่วงเวลาการอบแห้งต่อเนื่องหลังจากไม่มีแสงอาทิตย์ ในส่วนของตัวอย่างขมิ้นชันจะนำมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 3 h และนำไปวิเคราะห์หาค่าความชื้นของขมิ้นชันตามช่วงเวลา สอดคล้องกับวิธีการตามมาตรฐาน AOAC 2000 ที่ใช้ตู้อบลมร้อนที่ช่วงอุณหภูมิ $103-105^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 72 h และคำนวณหาค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db) ตามสมการที่ 1 [3-5]

$$M_d = \left(\frac{w - d}{d} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_d คือความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db), w คือมวลวัตถุเริ่มต้น (kg) และ d คือมวลของวัตถุแห้ง (kg)

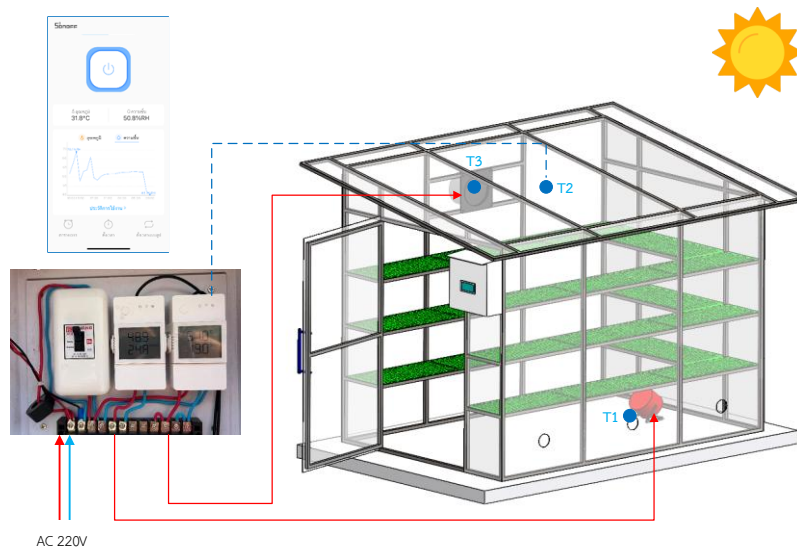
ประสิทธิภาพการอบแห้ง สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2 [6]

$$\eta_{dy} = \left(\frac{m_w h_g}{A_t + E_{sec}} \right) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ η_{dy} คือประสิทธิภาพการอบแห้ง (%), m_w คืออัตราการระเหยน้ำ (kg/day), h_g คือความร้อนแฝงของการระเหยน้ำกลายเป็นไอน้ำมีค่าเท่ากับ 2.2572 MJ/kg , I คือค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$) และ A_t คือพื้นที่ของตัวรับรังสีอาทิตย์ (m^2)



ภาพที่ 2 โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้

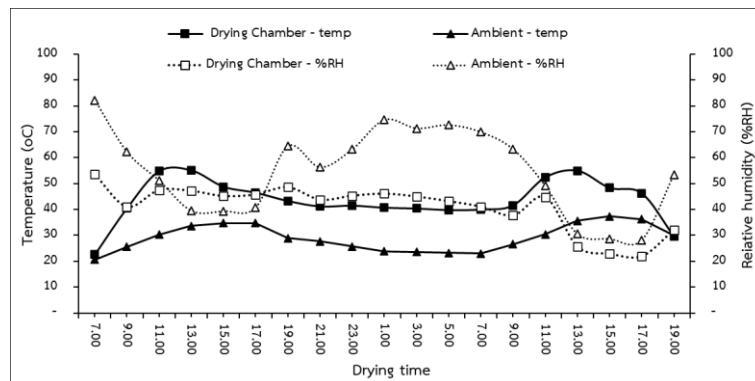


ภาพที่ 3 โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมระบบควบคุมสภาวะอบแห้งในโรงอบแห้งงานวิจัยนี้

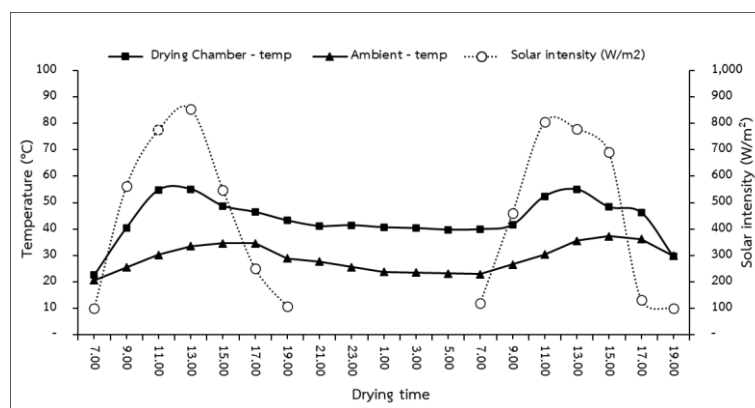
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการกระจายอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์

ผลการกระจายอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศตามช่วงเวลารอบแห้ง พบว่าอุณหภูมิของอากาศจะแปรผกผันกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เมื่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณไอน้ำในอากาศลดลง และทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีแนวโน้มที่ลดลง เช่นเดียวกันกับค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในห้องอบแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งจากการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าในช่วง $24.80-45.35^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าในช่วง $28.75-82.70\%\text{RH}$ อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในห้องอบแห้งจะสอดคล้องกับค่าความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะมีค่าสูงสุดที่ช่วงเวลา 13.00 น. โดยให้ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุด 838 W/m^2 ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งจากผลการทดลองของระบบควบคุมสภาวะอากาศอบแห้งในห้องอบแห้งพบว่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ไม่เกิน 60°C เนื่องจากหากอุณหภูมิอบแห้งสูงเกินค่าดังกล่าวจะส่งผลทำให้ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์มีค่าแนวโน้มลดลง [7]



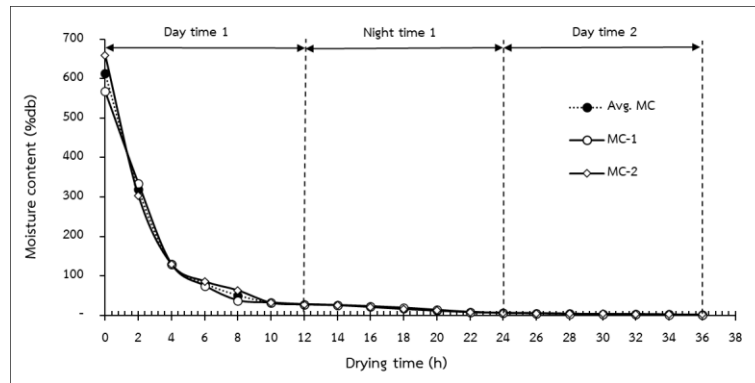
ภาพที่ 4 ผลการกระจายอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศของห้องอบแห้งตามระยะเวลาอบแห้ง



ภาพที่ 5 ผลการกระจายอุณหภูมิอบแห้งและความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตามช่วงระยะเวลาการอบแห้ง

ผลของอัตราส่วนความชื้นไขมันชั้นต่อช่วงระยะเวลาการอบแห้ง

ผลการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของไขมันชั้นตามช่วงระยะเวลาการอบแห้ง พบว่าค่าความชื้นของไขมันชั้นมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามช่วงระยะเวลาการอบแห้ง เนื่องจากได้รับพลังงานความร้อนที่สะสมภายในโรงอบแห้งซึ่งได้รับแหล่งความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และความร้อนเสริมจากขดลวดความร้อน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถลดความชื้นไขมันชั้นสดจาก 610.73 %db จนเหลือความชื้นสุดท้ายตามมาตรฐาน มพช.676/2547 กำหนดไว้ไม่เกินกว่า 11.11 %db [8] ภายในระยะเวลา 22 h โดยเป็นการอบแห้งแบบต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับกรอบแห้งแบบตากแดดธรรมชาติที่ต้องใช้ระยะเวลาการอบแห้งถึง 32 h ซึ่งตากเฉพาะในช่วงตอนกลางวันโดยเวลาดังกล่าวไม่นับรวมชั่วโมงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโรงอบแห้งในงานวิจัยนี้สามารถอบแห้งได้ต่อเนื่องและใช้ระยะเวลาการอบแห้งไขมันชั้นได้รวดเร็วกว่าการตากแดดแบบธรรมชาติ ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าการอบแห้งทั้ง 2 ครั้งมีแนวโน้มไปในลักษณะเดียวกัน โดยมีระยะเวลาสิ้นสุดการทดลองที่ 22 h ที่ค่าความชื้นสุดท้ายของไขมันชั้นตามมาตรฐาน มพช.676/2547 ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลของค่าความชื้นขม้นชั้นอบแห้งที่ช่วงระยะเวลาการอบแห้ง

ผลการประเมินประสิทธิภาพการอบแห้ง

ผลการประเมินประสิทธิภาพการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งธรรมชาติจะใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 32 h และการใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานจะใช้เวลาอบแห้ง 22 h ที่เงื่อนไขค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 11.11%db โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เท่ากับ 4.10 MJ/kg_{water evap.} และอัตราการใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำเท่ากับ 3.91 kg_{water evap.}/kWh และประสิทธิภาพการอบแห้งเท่ากับ 3.33% ดังสรุปไว้ในตารางที่ 1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ พัทธราภรณ์ และคณะ (2021) [6] พบว่ามีประสิทธิภาพการอบแห้ง 7.96% อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเท่ากับ 4.25 MJ/kg_{water evap.} แต่ใช้วัตถุดิบขม้นชั้นสดเริ่มต้นเพียง 700 g เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งขม้นชั้นด้วยปั๊มความร้อนจากงานวิจัยของ นัฐราช และคณะ (2012) [9] พบว่าใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึง 19.7 kWh ต่อครั้ง และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 17.6 kWh ต่อครั้ง ซึ่งการใช้ปั๊มความร้อนจะให้ประสิทธิภาพการอบแห้งเท่า 0.75%

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของการอบแห้งขม้นชั้นโดยใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานกับแหล่งความร้อนเสริมจากขดลวดไฟฟ้า

ตัวแปร	การอบแห้งแบบธรรมชาติ	โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานความร้อนเสริมจากขดลวดไฟฟ้า
ระยะเวลาการอบแห้ง (h)	32	22
ความชื้นเริ่มต้น (%db)	583.99	610.73
ความชื้นสุดท้าย (%db)	11.11	11.11
ผลผลิตขม้นชั้น สด:แห้ง	6.78 : 1	6.40 : 1
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน (MJ/kg _{water evap.})	4.32	4.10
อัตราการใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ (kg _{water evap.} /kWh)	-	3.91
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh ต่อครั้ง)	-	17.60
ประสิทธิภาพการอบแห้ง (%)	2.47	3.33

ผลคุณภาพสีของขม้นชั้นอบแห้ง

ตารางที่ 2 แสดงผลการตรวจวัดค่าสีของขม้นชั้น โดยใช้มาตรฐาน Commission International de l'Eclairage เพื่อตรวจวัดค่าสี L*, a*, b* พบว่าขม้นชั้นอบแห้งงานวิจัยนี้ให้ค่าสีใกล้เคียงกับขม้นชั้นสดโดยให้ค่าสีแดงและสีเหลืองสูง

ทำให้ไขมันชั้นอบแห้งยังคงให้ลักษณะทางกายภาพด้านสีคล้ายกับไขมันชั้นสด สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปาริชาติ และคณะ (2021) [7] ที่ทำการอบแห้งไขมันชั้นด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 50°C โดยให้ค่าสี $L^*=47.43\pm2.56$ ค่าสี $a^*=26.34\pm1.54$ และค่าสี $b^*=49.73\pm2.92$ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Komonsing et al. (2022) [10] ที่ทำการทดลองการอบแห้งไขมันชั้นโดยใช้ตู้อบแห้งแบบคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตและได้ผลค่าสี $L^*=54.09\pm1.91$ ค่าสี $a^*=27.99\pm0.08$ และ $b^*=34.41\pm3.32$ ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของสีไขมันชั้น

เงื่อนไขการอบแห้ง	ค่าสี		
	Brightness L^*	Redness a^*	Yellowness b^*
ไขมันชั้นสด	49.00±1.68	36.05±1.36	52.82±2.49
ไขมันชั้นอบแห้งแบบธรรมชาติ	54.55±2.58	17.09±1.37	29.00±1.84
ไขมันชั้นอบแห้งจากโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานแหล่งความร้อนเสริมจากขดลวดไฟฟ้า	48.72±1.43	22.15±1.36	36.08±1.31

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 3 แสดงผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งไขมันชั้นโดยใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานแหล่งความร้อนเสริมจากขดลวดไฟฟ้าโดยผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่าจะสามารถอบแห้งไขมันชั้นสดได้ 20 kg ระยะเวลา 22 h โดยประเมินการอบแห้ง 144 ครั้งต่อปี ที่อัตราส่วนไขมันสดต่อแห้งเท่ากับ 6.4:1 (ณ ความชื้นสุดท้ายตาม มผช. 676/2547 เท่ากับ 11.11%db) โดยที่ราคาไขมันชั้นอบแห้งแบบชื้นเท่ากับ 250 บาทต่อกิโลกรัม จากผลการประเมินพบว่าเงินลงทุนเริ่มต้นประกอบไปด้วยค่าโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมระบบควบคุมและแหล่งความร้อนเสริมจากขดลวดความร้อนเท่ากับ 30,000 บาท มีต้นทุนแปรผันรวมทั้งหมดประมาณ 92,895 บาทต่อปี ให้ผลตอบแทนจากการขายไขมันชั้นอบแห้งเท่ากับ 112,320 บาทต่อปี ผลตอบแทนสุทธิเท่ากับ 19,425 บาทต่อปี และให้ระยะเวลาคืนทุนของโรงอบแห้งภายใน 0.65 ปี ทั้งนี้หากไม่คิดค่าแรงงานโดยสามารถจัดการเองภายในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเช่นเดียวกับกลุ่มมีการเพาะปลูกไขมันชั้นสดอยู่แล้วก็จะทำให้ระยะเวลาคืนทุนของโรงอบแห้งในงานวิจัยนี้ลดลง

ตารางที่ 3 ผลการประเมินเศรษฐศาสตร์ของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานแหล่งความร้อนเสริม

ตัวแปร	ค่าใช้จ่าย	หน่วย
1. ต้นทุนคงที่		
1.1 โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	20,000	บาท
1.2 ระบบควบคุมสถานะการอบแห้ง	10,000	บาท
รวมค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่	30,000	บาท
2. ต้นทุนแปรผัน		
2.1 ค่าไขมันชั้นสด (20 กิโลกรัมต่อครั้ง x 10 บาทต่อกิโลกรัม x อบแห้ง 144 ครั้งต่อปี)	28,800	บาทต่อปี
2.2 ค่าแรงงานควบคุมระบบ (350 บาทต่อครั้ง)	50,400	บาทต่อปี
2.3 ค่าบำรุงรักษาระบบ (คิดที่ 10% ของราคาเครื่อง)	3,000	บาทต่อปี
2.4 ค่าไฟฟ้าต่อปี (อัตราการใช้ไฟฟ้า 17.6 kWh ต่อครั้ง หรือ 2,535 kWh ต่อปี ราคาไฟฟ้า 4.22 บาทต่อหน่วยไฟฟ้า)	10,695	บาทต่อปี
รวมค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผัน	92,895	บาทต่อปี

3. ผลตอบแทนจากการขายไขมันชั้น (ราคา 250 บาทต่อกิโลกรัม) (ไขมันชั้นสด 20 กิโลกรัม ได้ไขมันชั้นแห้ง 3.12 กิโลกรัม หรือ 449.28 กิโลกรัมต่อปี)	112,320	บาทต่อปี
4. ผลตอบแทนสุทธิรายปี	19,425	บาทต่อปี
5. ระยะเวลาคืนทุน	0.65	ปี

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษานี้ทำการอบแห้งไขมันชั้นหนา 2-5 mm น้ำหนัก 20 kg โดยใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแหล่งความร้อนเสริมจากขดลวดไฟฟ้ากำลัง 2 kW ควบคุมอุณหภูมิอบแห้งไม่เกิน 60°C ผ่านระบบควบคุมเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ พบว่าสามารถลดความชื้นไขมันชั้นจาก 563.57 %db จนเหลือความชื้นสุดท้าย 11.11%db ตามมาตรฐาน มพข.676/2547 ใช้ระยะเวลาอบแห้ง 22 h ให้ประสิทธิภาพการอบแห้งเท่ากับ 3.33% ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 4.10 MJ/kg_{water evap} และอัตราการใช้พลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำเท่ากับ 3.91 kg_{water evap} / kWh เงินลงทุนเริ่มต้นโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมระบบควบคุมเท่ากับ 30,000 บาท ให้ผลตอบแทนจากการขายไขมันชั้นอบแห้งเท่ากับ 112,320 บาทต่อปี ผลตอบแทนสุทธิเท่ากับ 19,425 บาทต่อปี และให้ระยะเวลาคืนทุนของโรงอบแห้งภายใน 0.65 ปี ซึ่งผลการทดลองในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการนำไปใช้ประโยชน์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนรวมถึงข้อมูลผลการวิจัยที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านการอบแห้งหรือแปรรูปผลิตภัณฑ์สมุนไพรไทยต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้โครงการการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในประเทศอาเซียน ประจำปีงบประมาณ 2565 และห้องปฏิบัติการพลังงานสะอาดและเกษตรอัจฉริยะ (Clean Energy & Smart Agricultural Laboratory)

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงสาธารณสุข (2559). แผนแม่บทแห่งชาติว่าด้วยการพัฒนาสมุนไพรไทย ฉบับที่ 1 พ.ศ.2560-2564. สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข กรมพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, กระทรวงสาธารณสุข.
- [2] คณะกรรมการนโยบายสมุนไพรแห่งชาติ. (2566). แผนปฏิบัติการด้านสมุนไพรแห่งชาติฉบับที่ 2 พ.ศ. 2566 – 2570. กองสมุนไพรเพื่อเศรษฐกิจ กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, กระทรวงสาธารณสุข.
- [3] ญัฐพล กระจำ และ ณรงค์ อึ้งกิมบัว. (2559). จลนพลศาสตร์และแบบจำลองการอบแห้งไขมันชั้นด้วยลมร้อนและรังสีอินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 21 (3), 239-248.
- [4] คณินนิตย์ จัปใจเหมาะ ญัฐพล ภูมิสะอาด และละมุล วิเศษ. (2556). ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งจึงด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมกับเครื่องทำความร้อนโดยใช้อุณหภูมิสูง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 32 (4), 404-409.

- [5] อนุสร นาดี ยุทธนา ฐิระวณิชกุล และสุภวรรณ ฐิระวณิชกุล. (2555). จลนพลศาสตร์การอบแห้งใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนและลมร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17 (2), 130-138.
- [6] พชรภรณ์ อินริราย ธวัชรัตน์ สัมฤทธิ์ วรลักษณ์ สุริวงษ์ และสุรินทร์พร ชังไชย. (2564). การศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. วารสารเกษตรพระวรุณ. 18 (2), 87-96.
- [7] ปาริชาติ ราชมณี สุธิดา พิทักษ์วินัย วาณิช นิพนธ์ และ วุฒิไกร บัวแก้ว. (2564) จลนพลศาสตร์การอบแห้งขมิ้นชันแบบชั้นบางด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. 17 (2), 32-45.
- [8] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ขมิ้นผง ๖๗๖/๒๕๔๗. สืบค้นเมื่อ 13 กันยายน 2567, จาก https://fic.nfi.or.th/law/upload/file1/TH_1336.pdf
- [9] นัฐราช แสนมีมา ณัฐพล ภูมิสะอาด และ ละมุล วิเศษ. (2012). การอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งแบบปมความร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัย มหาสารคาม, 32 (5), 631-635.
- [10] Komonsing, N., Reyer, S., Khuwijitjaru, P., Mahayothee, B., and Muller, J. (2022). **Drying behavior and curcuminoids changes in turmeric slices during drying under simulated solar radiation as influenced by different transparent cover materials.** Foods, 11 (5), 2-17.



การพัฒนาต้นแบบกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาจากพลังงานแสงอาทิตย์
Development of an Electrical Power Backup Portable Box Prototype
from Solar Power

ธำปนิก ตีระพันธ์^{1*}
Thapanic Teerapan^{1*}

¹ หลักสูตรสาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

¹Petroleum Technology Program, Faculty of Industrial Education and Technology,

Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla 90000

¹Corresponding author: Tel.: 08-28289801. E-mail address: thapanic.t@rmutsv.ac.th

Abstract

This research aims to develop an electrical power backup box to provide convenience for maintenance technicians in the industrial drilling and petroleum exploration company group, allowing them to carry a power source for electrical repair work in areas without electrical outlets. The study is divided into three main points: 1) The effect of sunlight intensity on the electricity production efficiency of a 165 W solar panel during the time interval from 8:00 am - 3:00 pm over three days. 2) The duration for which a 1000 VA electrical power backup box can be used until its power is depleted from a 12 V 35 Ah battery. 3) The performance of the electrical power backup box alongside three energy usage tracking platforms. The study's findings and experiments reveal that the maximum light intensity of 139,500 Lux resulted in the highest electricity production efficiency of the panel. The electrical power backup box supplied electricity for 4 hours and 10 minutes under a continuous current of 0.12 A, with an operational efficiency ranging from 49.64 % to 53.80 % when used with a 25–55 W load. This efficiency differed from the designed system efficiency by 15.05 % to 19.21 %. Regarding integration with tracking platforms, the system successfully displayed accurate data within an error margin not exceeding ± 5 % in Blynk, Google Sheets, and Line applications.

Keywords: Electrical Power Backup Box, Solar Power, Portable

* Corresponding author: Tel.: 087-3120700. E-mail address: thongchaimeajo@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า สำหรับอำนวยความสะดวกให้แก่ช่างซ่อมบำรุงในบริษัทกลุ่มอุตสาหกรรมชุดเจาะและสำรวจปิโตรเลียม ให้สามารถพกพาแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปปฏิบัติการซ่อมบำรุงในพื้นที่ที่ไม่มีจุดต่อใช้ไฟฟ้าได้ การวิจัยแบ่งการศึกษาและทดลองใน 3 ประเด็น ประกอบด้วย 1) ผลของค่าความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 165 W ในช่วงเวลา 08:00 - 15:00 น. จำนวน 3 วัน 2) ระยะเวลาที่สามารถใช้กล่องสำรองพลังงานไฟฟ้าขนาด 1000 VA ได้จนหมดพลังงานจากแบตเตอรี่ขนาด 12 V 35 Ah และ 3) สมรรถนะการทำงานของกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้าร่วมกับ 3 แพลตฟอร์มสำหรับติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้า ผลการศึกษาและทดลองพบว่า ค่าความเข้มแสงสูงสุดที่ 139,500 Lux มีผลให้กำลังการผลิตไฟฟ้าของแผงได้สูงสุด และกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้าสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง 10 นาที ที่กระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง 0.12 A โดยมีประสิทธิภาพการทำงานอยู่ในช่วง 49.64 % - 53.80 % ที่การใช้งานโหลด 25-55W ซึ่งแตกต่างจากประสิทธิภาพที่ได้ออกแบบระบบไว้อยู่ในช่วง 15.05 % - 19.21 % สมรรถนะในการทำงานร่วมกับแพลตฟอร์ม สามารถแสดงข้อมูลในแอปพลิเคชัน Blynk, Google Sheet และ Line ได้ถูกต้องที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 5 %

คำสำคัญ: กล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า , พลังงานแสงอาทิตย์ , แบบพกพา

บทนำ

ในปัจจุบันงานด้านอุตสาหกรรมปิโตรเลียมได้มีการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาใช้สำหรับเป็นเครื่องมือ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำมัน อย่างไรก็ตามการใช้เทคโนโลยีและเครื่องมือต่าง ๆ กับงานทางด้านการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ทางปิโตรเลียมนั้น จำเป็นจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ และไฟฟ้ากระแสตรง ให้กับเครื่องมือ อุปกรณ์การซ่อมบำรุง และอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในงานซ่อม ซึ่งหากพื้นที่ปฏิบัติงานการซ่อมต่าง ๆ ไม่สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าของหน่วยงานการไฟฟ้า อันเนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่ที่ไม่มีจุดต่อใช้งานไฟฟ้า ก็จะทำให้ส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถปฏิบัติงานการซ่อมได้ทันที

ดังนั้นเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ปฏิบัติงานด้านการซ่อมบำรุงของกลุ่มอุตสาหกรรมชุดเจาะและสำรวจปิโตรเลียม และงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ ในด้านการมีแหล่งพลังงานสำรองไฟฟ้าที่สามารถพกพาไปใช้ปฏิบัติงานได้ง่าย [1] สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการปฏิบัติงานในสถานที่ที่มีข้อจำกัด นั้น [3] ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนางานวิจัยที่นอกเหนือจากที่มาและความสำคัญข้างต้นดังแสดงในภาพที่ 1 โดยมุ่งเน้นให้มีความแตกต่างไปจากผลิตภัณฑ์เดิมที่มีจำหน่ายอยู่แล้ว ด้วยการผสานการทำงานร่วมกับเทคโนโลยี IoT แพลตฟอร์ม ผู้ใช้สามารถติดตามพฤติกรรมการใช้งานแบบเรียลไทม์ผ่านแพลตฟอร์ม Blynk และ Line ตลอดจนสามารถย้อนหลังดูพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผ่านมา ผ่าน Google Sheet เพื่อเป็นต้นแบบให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงการพัฒนาเพิ่มเติมและปรับแก้ไขได้ด้วยตนเองตามสถานการณ์

ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม และยังมุ่งเน้นให้นักวิจัยรุ่นใหม่ได้มองเห็นถึงประเด็นปัญหาในการต่อยอดวิจัยขั้นสูงต่อไป [5]



ภาพที่ 1 ต้นแบบกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาที่ได้พัฒนาขึ้น

วิธีการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ (1) เครื่องมือวัดลักษณะขั้วต่อ (2) เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า (3) เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า (4) กล่องเครื่องมือพลาสติกขนาดมาตรฐาน 22 นิ้ว (5) แผงโซลาร์เซลล์ 165 W (6) อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ PWM 12V/30A (7) อินเวอร์เตอร์ 1000 VA (8) แบตเตอรี่ 12 V 35 Ah (9) บอร์ด Wi-Fi (NodeMCU V2 ESP8266) (10) บอร์ด PZEM-016 (11) บอร์ด PZEM-022 (12) บอร์ด PZEM-017 และ (13) บอร์ด RS485

ขั้นตอนการออกแบบระบบของกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า

การวิจัยได้ออกแบบระบบของกล่องสำรองไฟฟ้าโดยเริ่มจากการสำรวจความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าของช่างซ่อมบำรุงด้วยวิธีการสังเกตจากการปฏิบัติงาน พบว่าจะมีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่ซ่อม อาทิเช่น การใช้งานระบบส่องสว่าง ไปจนถึงการใช้งานสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับการชาร์จอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ เป็นต้น โดยภาพรวมจะมีความต้องการขั้นต่ำอยู่ที่ 200 W สำหรับใช้งานระบบส่องสว่างให้สามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลาขั้นต่ำ 2 ชั่วโมง ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบเพื่อจัดสร้างเป็นกล่องสำรองไฟฟ้าต้นแบบให้เพียงพอต่อการความต้องการใช้งานขั้นต่ำโดยใช้หลักการออกแบบของระบบบออฟกริด [6] จากอุปกรณ์ที่มีอยู่ ประกอบด้วย (1) แผงโซลาร์เซลล์ชนิด Poly Crystalline ขนาด 165 W จำนวน 1 แผง (2) อินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ SUOER ขนาด 1000 VA จำนวน 1 ตัว (3) อุปกรณ์ Solar charge controller 30 A 12V/24 V จำนวน 1 ตัว (4) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดขนาด 12 V 35 Ah จำนวน 1 ลูก โดยมีวิธีการออกแบบระบบจากอุปกรณ์ที่มีอยู่ได้ดังต่อไปนี้

1. คำนวณพลังงานที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้ต่อวันโดยพิจารณาชั่วโมงรับแสงแดดเฉลี่ย (PSH - Peak Sun Hours) ให้พื้นที่มีแสงแดดเฉลี่ย 5 ชั่วโมงต่อวัน [7] จะได้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ที่ผลิตได้ต่อวันเท่ากับ $165\text{W} \times 5\text{h}$ เท่ากับระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 825 Wh ต่อวัน

2. คำนวณพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถกักเก็บได้ โดยพลังงานที่กักเก็บได้เท่ากับแรงดันแบตเตอรี่ (V) $\times$ ความจุแบตเตอรี่ (Ah) เท่ากับ $12\text{V} \times 35\text{Ah}$ แบตเตอรี่จะสามารถกักเก็บพลังงานได้ 420 Wh เมื่อชาร์จเต็ม 100 % โดยที่แบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ใช้ในการวิจัยควรคายประจุไม่เกิน 50 % (Depth of Discharge, DOD) ดังนั้นพลังงานที่ใช้งานได้จริงคือ $420\text{Wh} \times 0.5$ เท่ากับ 210 Wh ซึ่งเมื่อพิจารณาของพลังงานที่แบตเตอรี่จะกักเก็บได้ทั้งหมด 420 Wh เมื่อต้องการชาร์จแบตเตอรี่ให้เต็มภายใน 1 วัน ตามที่ได้ออกแบบระบบไว้ที่ PSH เท่ากับ 5 เพราะฉะนั้นกำลังไฟฟ้าที่ต้องการจากแผงโซลาร์เซลล์ขั้นต่ำจะเท่ากับ $420\text{Wh}/5\text{h} = 84\text{ W}$ และหากพิจารณาในเรื่องของประสิทธิภาพระบบ (Loss Factors) รวมด้วยโดยประมาณค่าความสูญเสียของตัวควบคุมการชาร์จที่เลือกใช้ชนิด PWM ไว้ที่ประมาณ 85 % สายไฟและอุปกรณ์ต่าง ๆ

ในระบบประมาณ 90 % การแปลงพลังงานของแบตเตอรี่ประมาณ 90 % เมื่อสรุปโดยรวมประสิทธิภาพรวมของระบบจะเท่ากับ $0.85 \times 0.90 \times 0.90$ เท่ากับ 0.6885 หรือเท่ากับประมาณ 68.85 % แต่ในการเลือกแผงโซลาร์เซลล์ที่เหมาะสมกับระบบ กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ จะมีค่าเท่ากับ (พลังงานที่ต้องชาร์จ/(เวลาชาร์จ $\times$ ประสิทธิภาพรวมระบบ)) เท่ากับ $(420\text{Wh}/(5\text{h} \times 0.6885))$ เท่ากับ $420\text{W}/3.4425$ เท่ากับประมาณ 122 W ซึ่งในการออกแบบระบบควรใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาดอย่างน้อย 120 W เพื่อให้มีพลังงานเพียงพอต่อการชาร์จแบตเตอรี่ให้เต็มภายใน 1 วัน ซึ่งในการวิจัยจะเลือกจากอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วคือแผง 165 W ซึ่งจะมีความสามารถในการชาร์จที่เร็วขึ้น

3. การออกแบบระบบตัวควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Controller) โดยกระแสที่รองรับ เท่ากับ กำลังไฟฟ้าของแผง (W) / แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ (V) ซึ่งจากอุปกรณ์ที่มีอยู่ แผงโซลาร์เซลล์ 165 W / 12 V [7] เท่ากับ 13.75 A ซึ่งควรเลือกใช้ตัวควบคุมการชาร์จขนาด 13.75 A ขึ้นไป ซึ่งในการวิจัยจะเลือกจากอุปกรณ์ที่มีอยู่คือตัวควบคุมการชาร์จ 12 V / 30 A

4. คำนวณระยะเวลาการใช้งานกับโหลดที่ต้องการ จากเวลาที่สามารถใช้งานได้ เท่ากับ พลังงานที่ใช้งานได้ (Wh) / โหลดที่ต้องการใช้งาน (W) โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ช่วงซ่อมบำรุงใช้งานขั้นต่ำดังต่อไปนี้

โหลดขนาด 25 W เช่น หลอดไฟฟ้า พิกัด 220 Vac $25\text{W} = 210\text{Wh}/25\text{W} = 8.4 \text{ h}$

โหลดขนาด 55 W เช่น พัดลมเล็กขนาด 12 นิ้ว พิกัด 220 Vac $55\text{W} = 210\text{Wh}/55\text{W} = 3.82 \text{ h}$

โหลดขนาด 200 W เมื่อการใช้งานที่มีการต่อใช้หลอดรวมที่เพิ่มสูงขึ้น $= 210\text{Wh}/200\text{W} = 1.05 \text{ h}$

จากประมาณการระยะเวลาการใช้งานกับโหลดที่ต้องการที่ได้ออกแบบระบบไว้สรุปได้ว่า หากใช้กับโหลด 25 W จะใช้งานได้ประมาณ 8 ชั่วโมง 24 นาที หากใช้กับโหลด 55 W จะใช้งานได้ประมาณ 3 ชั่วโมง 49 นาที และหากมีการใช้งานหลอดรวมสูงถึง 200 W จะใช้งานได้ประมาณ 1 ชั่วโมง 3 นาที

5. คำนวณกำลังไฟสูงสุดที่อินเวอร์เตอร์ 1000 VA รองรับได้ โดยที่อินเวอร์เตอร์ 1000 VA สามารถรองรับกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 800 W หากคิดที่ Power Factor (PF) ≈ 0.8 ซึ่งจากข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์รุ่นที่เลือกใช้จะมีกำลังไฟฟ้า Output Power สูงสุดที่ 650 W เท่านั้น โดยคิดที่ (PF) ≈ 0.65 ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกว่าพลังงานที่ใช้ได้จริงมีประสิทธิภาพมากเพียงใด โดยทั่วไปที่ PF $\approx 0.6 - 0.7$ โหลดใช้งาน จะเป็น หม้อแปลง หรือ มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ดังนั้นโหลดสูงสุดที่ระบบนี้รองรับได้จะออกแบบตามข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์ซึ่งเท่ากับ 650 W แต่เนื่องจาก แบตเตอรี่ 12 V 35 Ah ไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้โหลด 650 W ได้นาน หากมีการดึงโหลดที่ 650 W อาจทำให้แบตเตอรี่หมดได้ภายใน 19 นาที หรือน้อยกว่า หรืออาจส่งผลทำให้ระบบล่มได้เนื่องจากการโปรแกรมไว้ว่าให้ตัดระบบหากแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ต่ำกว่า 10 V โดยพิจารณาคำนวณจาก $210\text{Wh}/650\text{W}$ เท่ากับ 0.32 h ประมาณ 19 นาที จากการออกแบบระบบทำให้ทราบเบื้องต้นได้ว่า ระบบที่ออกแบบจะมีข้อจำกัดในเรื่องของโหลดที่นำมาใช้งานควรอยู่ในช่วง 100W - 200W หรือไม่ควรเกิน 200 W เพื่อให้ระยะเวลาใช้งานได้นานขึ้นตามข้อจำกัดของแบตเตอรี่

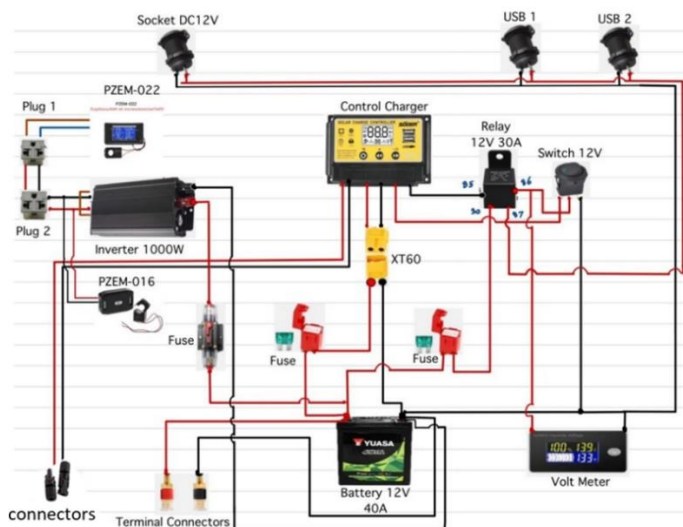
6. คำนวณประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบ โดยพิจารณาให้ระบบมีการสูญเสียพลังงานจากหลายปัจจัย เช่น จากข้อมูลทางเทคนิคระบุว่าอินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพมากกว่า 85 % ตัวควบคุมการชาร์จมีประสิทธิภาพประมาณ 85 % และแบตเตอรี่มีการสูญเสียพลังงานระหว่างการชาร์จและคายประจุ โดยในการวิจัยจะเลือกพิจารณาสมมติให้ประสิทธิภาพรวมของระบบเหลือประมาณ 68.85 % พลังงานที่ใช้งานได้จริง (Effective Usable Energy) เท่ากับ $825\text{Wh} \times 0.6885$ เท่ากับ 568.01 Wh หรือประมาณ 568 Wh จะได้ว่าระบบที่ออกแบบไว้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 825 Wh ต่อวัน แต่เมื่อรวมการสูญเสียแล้ว อาจใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติเพียงประมาณ 500-568 Wh ต่อวัน หรือน้อยกว่านั้น โดยมีข้อจำกัดของระบบที่ออกแบบไว้คือ แบตเตอรี่ที่เลือกใช้มีขนาดความจุ 35 Ah ซึ่งจะส่งผลทำให้การใช้งานอุปกรณ์กำลังสูงจะใช้งานได้เพียงระยะเวลานั้น ดังที่ได้กล่าวไว้ในขั้นตอนการออกแบบข้อที่ 1-5 หากต้องการพัฒนาเพื่อให้สามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลานานขึ้น ควรเพิ่มความจุแบตเตอรี่ให้สูงขึ้น อาทิเช่น 12 V 100 Ah และควรมีการจำกัดโหลดใช้งานให้อยู่ในช่วง 100W - 300W เพื่อให้สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพโดยไม่ทำให้แบตเตอรี่หมดเร็วเกินไป

ขั้นตอนการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ภายในกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า

การวิจัยได้ออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ภายในกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า แบ่งเป็น 3 ส่วนประกอบ แสดงดังภาพที่ 3 ประกอบด้วย (1) ส่วนของการประจุไฟฟ้าเข้ากล่องสำรองไฟฟ้า ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกประจุไฟฟ้าได้ 2 รูปแบบตามความเหมาะสม ซึ่งในการประจุไฟฟ้าให้แกกล่องสามารถเลือกประจุไฟฟ้าได้ด้วยแผงโซลาร์เซลล์ โดยสามารถประจุไฟฟ้าได้ที่แรงดันไฟฟ้า Vdc 14-40 V ผ่านจุดต่อ MC4 ที่ตำแหน่ง Connectors หรือเลือกประจุไฟฟ้าด้วยเครื่องประจุไฟฟ้า 220 Vac ผ่านจุด Terminal Connectors (2) ส่วนการควบคุมการชาร์จ (Control Charger) โดยส่วนนี้ได้ทำการออกแบบให้มีช่องต่อสำหรับรองรับการใช้งานประกอบด้วย ช่องต่อ USB 5 V / 2.1 A จำนวน 2 ช่องต่อ และเพิ่มเติมช่องต่อ Socket DC 12 V จำนวน 1 ช่องต่อ ดังภาพที่ 2 สำหรับการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการช่องต่อ Socket DC 12 V [4] การควบคุมการทำงานของทั้ง 3 ช่องต่อ ออกแบบให้ใช้เอาท์พุท DC จาก Control Charger ควบคุม Relay ซึ่งมีสวิตช์ DC 12 V สำหรับควบคุมการเปิด-ปิด การทำงาน ส่วนไฟเลี้ยงหน้าสัมผัสช่วย ใช้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่โดยตรง ทั้งนี้ได้เพิ่มส่วนที่ใช้สำหรับตรวจสอบสถานะการทำงานในภาพรวม ให้มีการแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้า ขณะทำงานอีกด้วย (3) ส่วนของอุปกรณ์แปลงผันพลังงาน (Inverter) ออกแบบให้มีจุดสำหรับต่อใช้งานไฟฟ้ากระแสสลับ 220 Vac / 50 Hz จำนวน 2 จุดต่อ สามารถจ่ายไฟฟ้าให้เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับได้หลายชนิด ที่พิกัดกำลังไฟฟ้าของโหลดสูงสุด 200 W ทั้งนี้ได้ติดตั้งฟิวส์สำหรับป้องกันการลัดวงจร พร้อมกับการติดตั้งบอร์ด Pzem-016 Pzem-022 และ Pzem-017 สำหรับการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าและส่งค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ขณะนั้นไปยังแพลตฟอร์ม Blynk และ Google Sheet ดังขั้นตอนต่อไป



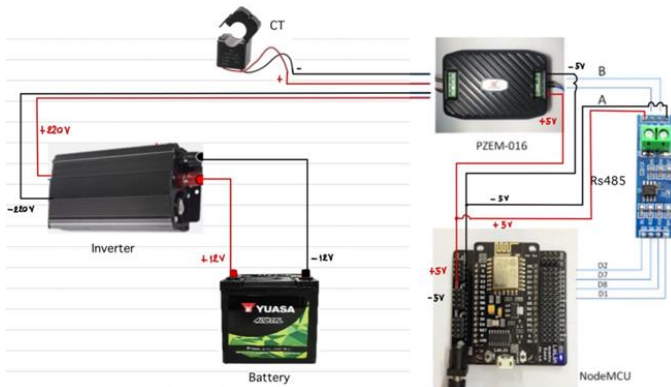
ภาพที่ 2 กล่องสำรองพลังงานไฟฟ้าแบบพกพาที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้น



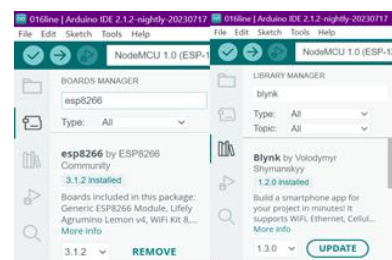
ภาพที่ 3 วงจรไฟฟ้าสำหรับติดตั้งภายในกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า

ขั้นตอนออกแบบติดตั้งและการโปรแกรมบอร์ด PZEM-016

การออกแบบติดตั้งและการโปรแกรมบอร์ด PZEM-016 ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้ (1) เชื่อมต่อขาใช้งาน D1,D2,D6,D7 ของ NodeMCU เข้ากับขาของบอร์ด RS485 ขารับสัญญาณของบอร์ด RS485 เชื่อมต่อไปยังขาส่งสัญญาณของบอร์ด Pzem-016 ซึ่งมีการติดตั้งหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (CT) ด้วยการคล้องสายไฟจาก Inverter ไขว้ร่วมด้วย วงจรไฟฟ้าสำหรับติดตั้งส่วนตรวจวัด PZEM-016 แสดงได้ดังภาพที่ 4(ก) (2) ทำการติดตั้ง Board ESP8266 และ Library Blynk ลงในโปรแกรม Arduino IDE เพื่อกำหนด Board และ Library ในการโปรแกรม แสดงได้ดังภาพที่ 4(ข) (3) การโปรแกรมเริ่มด้วยการกำหนดรายละเอียดต่าง ๆ ให้บอร์ด ประกอบด้วย การกำหนดขาสัญญาณอินพุตของบอร์ดแปลงสัญญาณ RS485 การทำงานของระบบ Google Sheet กับ Blynk โดยกำหนดให้อ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่ได้ของบอร์ด PZEM-016 ประกอบด้วย ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าความถี่ และค่าตัวประกอบ กำลังไฟฟ้า แสดงได้ดังภาพที่ 5(ก) – 5(ณ)



ก) วงจรติดตั้ง PZEM-016 ร่วมกับ NodeMCU



ข) ติดตั้ง Board ESP8266 และ Library Blynk

ภาพที่ 4 โค้ดแกรมสำหรับติดตั้งส่วนตรวจวัด PZEM-016

```

1 //1- PZEM-016/016 line AC Energy Meter */
2 #include <Time.h>
3 #include <ESP8266WiFi.h>
4 #define BLYNK_PRINT Serial
5 #include <BlynkSimpleEsp8266.h>
6 #include <SoftwareSerial.h>
7 #include <ModbusMaster.h>
8 #include <WiFiClientSecure.h>
9 #define MAX485_DE D7
10 #define MAX485_RE D6
11 #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL61PLV25un"
12 #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "PZEM016"
13 #define BLYNK_AUTH_TOKEN "9380-m1q8bu519889p1z1lhq5q9m"
14
15 //google sheet
16 #define UPDATE_INTERVAL_HOUR (0)
17 #define UPDATE_INTERVAL_MIN (10)
18 #define UPDATE_INTERVAL_SEC (0)
19 #define UPDATE_INTERVAL_MS (((UPDATE_INTERVAL_HOUR*3600) + (UPDATE_INTERVAL_MIN*60) + UPDATE_INTERVAL_SEC)*1000)
20
21 static uint8_t pzemSlaveAddr = 0x01;
22 SoftwareSerial chat(D2, D1); // RX, TX
23
24 ModbusMaster node;
25 float PZEMVoltage = 0;
26 float PZEMCurrent = 0;
27 float PZEMPower = 0;
28 float PZEMEnergy = 0;
29 float PZEMHz = 0;
30 float PZEMHzHz = 0;

```

ก) กำหนดหน้าที่และเขียนรายละเอียดต่าง ๆ ให้บอร์ด

```

31 unsigned long startMillisPZEM;
32 unsigned long currentMillisPZEM;
33 const unsigned long periodPZEM = 1000;
34
35
36 char auth[] = "9380-m1q8bu519889p1z1lhq5q9m";
37 char ssid[] = "Barnpool";
38 char pass[] = "1111199999";
39
40 //google sheet
41 String GAS_ID = "AKfycbW1G5C7ha2X82vkh1p9hV_Lt8Pgo8R5048464Ld8acQ3dCtP98m";
42 const char* host = "script.google.com"; // only google.com not https://google.com
43
44
45 unsigned long startMillisReadData;
46 unsigned long currentMillisReadData;
47 const unsigned long periodReadData = 1000;
48 int ResetEnergy = 0;
49 int a = 1;
50 unsigned long startMillis;
51
52 //google sheet
53 unsigned long time_ms;
54 unsigned long time_1000_ms_buf;
55 unsigned long time_sheet_update_buf;
56 unsigned long time_dif;
57
58 //time
59 int timezone = 7 * 3600;
60 int dst = 0;
61
62 void update google sheet

```

ข) กำหนดชื่อ Wi-Fi, รหัสผ่าน, และใส่ข้อมูลของ Google sheet

```

63 {
64   Serial.println("connecting to ");
65   Serial.println(host);
66
67   // Use WiFiClient class to create TCP connections
68   WiFiClientSecure client;
69   const int httpPort = 443; // 80 is for HTTP / 443 is for HTTPS
70
71   client.setInsecure(); // this is the magical line that makes everything work
72
73   if (!client.connect(host, httpPort)) { //works!
74     Serial.println("connection failed");
75     return;
76   }
77
78   //.....Processing data and sending data
79   String url = String("/macros/s/" + GAS_ID + "/" + "wsc8F2ELDs=" + (String)PZEMVol
80
81   if (client.connect(host, 443)) {
82     client.println("GET " + String(url) + " HTTP/1.0"); //HTTP/1.0 OK sent L2HM
83     client.println("Host: " + String(host));
84     client.println("User-Agent: ESP8266/v1.0");
85     client.println("Connection: close/v1.0");
86     //client.println(true ? "" : "Connection: close/v1.0");
87     //client.println("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded");
88     client.println("Content-Type: application/json");
89     //client.println("Connection: close");
90     client.println("Content-Length: " + String(url.length()));
91     client.println();
92     //client.println(postData);
93     //client.println("\n\n");
94

```

ค) กำหนดค่าส่งการรับ-ส่งข้อมูลของ Google sheet

```

106line.ino Done.txt
94 Serial.println("Response...");
95 }
96 Serial.println("OK !!!");
97 }
98
99 void setup()
100 {
101   /* General */
102   startMillis1 = millis();
103
104   Serial.begin(9600);
105   Serial.setDebugOutput(true);
106   chat.begin(9600);
107   Blynk.begin(auth, ssid, pass, "Blynk.cloud", 80);
108
109   WiFi.mode(WIFI_STA); //โหมด WiFi
110   WiFi.begin(ssid, pass);
111   Serial.println("Connecting to WiFi");
112   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
113     Serial.print("");
114     delay(1000);
115   }
116
117   configTime(timezone, dst, "pool.ntp.org", "time.nist.gov");
118   Serial.println("Loading time");
119   while (!time(nullptr)) {
120     Serial.print("");
121     delay(1000);
122   }

```

ง) กำหนดให้บอร์ดเชื่อมต่อกับระบบ
เชิรฟเวอร์ Blynk

```

106line.ino Done.txt
124 Serial.println(""); /* 1- PZEM-016 AC Energy Meter */
125
126
127 startMillisPZEM = millis();
128 node.begin(pzemSlaveAddr, chat);
129 pinMode(MAX485_RE, OUTPUT);
130 pinMode(MAX485_DE, OUTPUT);
131 digitalWrite(MAX485_RE, 0);
132 digitalWrite(MAX485_DE, 0);
133
134 node.preTransmission(preTransmission);
135 node.postTransmission(postTransmission);
136 // changeAddress(0x7F, 0x01);
137
138 // resetEnergy(0x01);
139 //delay(1000);
140
141 startMillisReadData = millis();
142 }
143
144 void loop()
145 {
146   configTime(timezone, dst, "pool.ntp.org", "time.nist.gov"); //วัน
147   time_t now = time(nullptr);
148   struct tm *t_tm = localtime(&now);
149   delay(1000);
150
151   Blynk.run();
152 }
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185

```

จ) กำหนดการ Reset energy

```

106line.ino Done.txt
155 currentMillisPZEM = millis();
156 if (currentMillisPZEM - startMillisPZEM >= periodPZEM)
157 {
158   uint8_t result;
159   result = node.readInputRegisters(0x0000, 9);
160   if (result == node.ku8Success)
161   {
162     {
163       uint32_t tempdouble = 0x00000000;
164       PZEMVoltage = node.getResponseBuffer(0x0000) / 10.0;
165       tempdouble = (node.getResponseBuffer(0x0002) << 16) + r
166       PZEMCurrent = tempdouble / 1000.00;
167       tempdouble = (node.getResponseBuffer(0x0004) << 16) + r
168       PZEMPower = tempdouble / 10.0;
169       tempdouble = (node.getResponseBuffer(0x0006) << 16) + r
170       PZEMHz = tempdouble;
171       PZEMHz = node.getResponseBuffer(0x0007) / 10.0;
172       PZEMPF = node.getResponseBuffer(0x0008) / 100.00;
173       if (pzemSlaveAddr==2)
174       {
175       }
176       else
177       {
178       }
179       startMillisPZEM = currentMillisPZEM ;
180     }
181   }
182 }
183
184
185

```

ฉ) กำหนดการทำงานของบอร์ด
PZEM-016

```

016line.ino Done.txt
186 /* 2 - Data submission to Blynk Server */
187
188 currentMillisReadData = millis();
189 if (currentMillisReadData - startMillisReadData >= periodReadData
190 {
191   Blynk.virtualWrite(V0,PZEMVoltage);
192   Blynk.virtualWrite(V1,PZEMCurrent);
193   Blynk.virtualWrite(V2,PZEMPower);
194   Blynk.virtualWrite(V3,PZEMHz);
195   Blynk.virtualWrite(V4,PZEMPF);
196   Blynk.virtualWrite(V5,PZEMHz);
197   startMillisReadData = millis();
198 }
199
200
201 // Update data to google sheet in specific period
202 time_ms = millis();
203 time_diff = time_ms - time_sheet_update_buf;
204 if ( time_diff >= UPDATE_INTERVAL_MS ) // Specific period
205 {
206   time_sheet_update_buf = time_ms;
207   update_google_sheet();
208 }
209
210
211
212
213
214 void preTransmission()
215 {
216   //
217   //
218   //
219   //
220   //
221   //
222   //
223   //
224   //
225   //
226   //
227   //
228   //
229   //
230   //
231   //
232   //
233   //
234   //
235   //
236   //
237   //
238   //
239   //
240   //
241   //
242   //
243   //
244   //
245   //
246   //
247   //
248   //
249   //
250   //
251   //
252   //
253   //
254   //
255   //
256   //
257   //
258   //
259   //
260   //
261   //
262   //
263   //
264   //
265   //
266   //
267   //
268   //
269   //
270   //
271   //
272   //
273   //
274   //
275   //
276   //
277   //
278   //
279   //
280   //
281   //
282   //
283   //
284   //
285   //
286   //
287   //
288   //
289   //
290   //
291   //
292   //
293   //
294   //
295   //
296   //
297   //
298   //
299   //
300   //
301   //
302   //
303   //
304   //
305   //
306   //
307   //
308   //
309   //
310   //
311   //
312   //
313   //
314   //
315   //
316   //
317   //
318   //
319   //
320   //
321   //
322   //
323   //
324   //
325   //
326   //
327   //
328   //
329   //
330   //
331   //
332   //
333   //
334   //
335   //
336   //
337   //
338   //
339   //
340   //
341   //
342   //
343   //
344   //
345   //
346   //
347   //
348   //
349   //
350   //
351   //
352   //
353   //
354   //
355   //
356   //
357   //
358   //
359   //
360   //
361   //
362   //
363   //
364   //
365   //
366   //
367   //
368   //
369   //
370   //
371   //
372   //
373   //
374   //
375   //
376   //
377   //
378   //
379   //
380   //
381   //
382   //
383   //
384   //
385   //
386   //
387   //
388   //
389   //
390   //
391   //
392   //
393   //
394   //
395   //
396   //
397   //
398   //
399   //
400   //
401   //
402   //
403   //
404   //
405   //
406   //
407   //
408   //
409   //
410   //
411   //
412   //
413   //
414   //
415   //
416   //
417   //
418   //
419   //
420   //
421   //
422   //
423   //
424   //
425   //
426   //
427   //
428   //
429   //
430   //
431   //
432   //
433   //
434   //
435   //
436   //
437   //
438   //
439   //
440   //
441   //
442   //
443   //
444   //
445   //
446   //
447   //
448   //
449   //
450   //
451   //
452   //
453   //
454   //
455   //
456   //
457   //
458   //
459   //
460   //
461   //
462   //
463   //
464   //
465   //
466   //
467   //
468   //
469   //
470   //
471   //
472   //
473   //
474   //
475   //
476   //
477   //
478   //
479   //
480   //
481   //
482   //
483   //
484   //
485   //
486   //
487   //
488   //
489   //
490   //
491   //
492   //
493   //
494   //
495   //
496   //
497   //
498   //
499   //
500   //
501   //
502   //
503   //
504   //
505   //
506   //
507   //
508   //
509   //
510   //
511   //
512   //
513   //
514   //
515   //
516   //
517   //
518   //
519   //
520   //
521   //
522   //
523   //
524   //
525   //
526   //
527   //
528   //
529   //
530   //
531   //
532   //
533   //
534   //
535   //
536   //
537   //
538   //
539   //
540   //
541   //
542   //
543   //
544   //
545   //
546   //
547   //
548   //
549   //
550   //
551   //
552   //
553   //
554   //
555   //
556   //
557   //
558   //
559   //
560   //
561   //
562   //
563   //
564   //
565   //
566   //
567   //
568   //
569   //
570   //
571   //
572   //
573   //
574   //
575   //
576   //
577   //
578   //
579   //
580   //
581   //
582   //
583   //
584   //
585   //
586   //
587   //
588   //
589   //
590   //
591   //
592   //
593   //
594   //
595   //
596   //
597   //
598   //
599   //
600   //
601   //
602   //
603   //
604   //
605   //
606   //
607   //
608   //
609   //
610   //
611   //
612   //
613   //
614   //
615   //
616   //
617   //
618   //
619   //
620   //
621   //
622   //
623   //
624   //
625   //
626   //
627   //
628   //
629   //
630   //
631   //
632   //
633   //
634   //
635   //
636   //
637   //
638   //
639   //
640   //
641   //
642   //
643   //
644   //
645   //
646   //
647   //
648   //
649   //
650   //
651   //
652   //
653   //
654   //
655   //
656   //
657   //
658   //
659   //
660   //
661   //
662   //
663   //
664   //
665   //
666   //
667   //
668   //
669   //
670   //
671   //
672   //
673   //
674   //
675   //
676   //
677   //
678   //
679   //
680   //
681   //
682   //
683   //
684   //
685   //
686   //
687   //
688   //
689   //
690   //
691   //
692   //
693   //
694   //
695   //
696   //
697   //
698   //
699   //
700   //
701   //
702   //
703   //
704   //
705   //
706   //
707   //
708   //
709   //
710   //
711   //
712   //
713   //
714   //
715   //
716   //
717   //
718   //
719   //
720   //
721   //
722   //
723   //
724   //
725   //
726   //
727   //
728   //
729   //
730   //
731   //
732   //
733   //
734   //
735   //
736   //
737   //
738   //
739   //
740   //
741   //
742   //
743   //
744   //
745   //
746   //
747   //
748   //
749   //
750   //
751   //
752   //
753   //
754   //
755   //
756   //
757   //
758   //
759   //
760   //
761   //
762   //
763   //
764   //
765   //
766   //
767   //
768   //
769   //
770   //
771   //
772   //
773   //
774   //
775   //
776   //
777   //
778   //
779   //
780   //
781   //
782   //
783   //
784   //
785   //
786   //
787   //
788   //
789   //
790   //
791   //
792   //
793   //
794   //
795   //
796   //
797   //
798   //
799   //
800   //
801   //
802   //
803   //
804   //
805   //
806   //
807   //
808   //
809   //
810   //
811   //
812   //
813   //
814   //
815   //
816   //
817   //
818   //
819   //
820   //
821   //
822   //
823   //
824   //
825   //
826   //
827   //
828   //
829   //
830   //
831   //
832   //
833   //
834   //
835   //
836   //
837   //
838   //
839   //
840   //
841   //
842   //
843   //
844   //
845   //
846   //
847   //
848   //
849   //
850   //
851   //
852   //
853   //
854   //
855   //
856   //
857   //
858   //
859   //
860   //
861   //
862   //
863   //
864   //
865   //
866   //
867   //
868   //
869   //
870   //
871   //
872   //
873   //
874   //
875   //
876   //
877   //
878   //
879   //
880   //
881   //
882   //
883   //
884   //
885   //
886   //
887   //
888   //
889   //
890   //
891   //
892   //
893   //
894   //
895   //
896   //
897   //
898   //
899   //
900   //
901   //
902   //
903   //
904   //
905   //
906   //
907   //
908   //
909   //
910   //
911   //
912   //
913   //
914   //
915   //
916   //
917   //
918   //
919   //
920   //
921   //
922   //
923   //
924   //
925   //
926   //
927   //
928   //
929   //
930   //
931   //
932   //
933   //
934   //
935   //
936   //
937   //
938   //
939   //
940   //
941   //
942   //
943   //
944   //
945   //
946   //
947   //
948   //
949   //
950   //
951   //
952   //
953   //
954   //
955   //
956   //
957   //
958   //
959   //
960   //
961   //
962   //
963   //
964   //
965   //
966   //
967   //
968   //
969   //
970   //
971   //
972   //
973   //
974   //
975   //
976   //
977   //
978   //
979   //
980   //
981   //
982   //
983   //
984   //
985   //
986   //
987   //
988   //
989   //
990   //
991   //
992   //
993   //
994   //
995   //
996   //
997   //
998   //
999   //
1000  //

```

ช) กำหนดการตั้งค่าเวลาในการส่ง
ข้อมูลผ่าน Google sheet

```

016line.ino Done.txt
217
218 digitalWrite(MAX485_RE, 1);
219 digitalWrite(MAX485_DE, 1);
220 delay(1);
221
222
223 void postTransmission()
224 {
225   /* 1- PZEM-014/016 AC Energy Meter */
226   delay(3);
227   digitalWrite(MAX485_RE, 0);
228   digitalWrite(MAX485_DE, 0);
229
230   BLYNK_WRITE(V6)
231   {
232     if(param.asInt()==1)
233     {
234       uint8_t u16CRC = 0xFFFF; /* declare
235       static uint8_t resetCommand = 0x42; /* reset c
236       uint8_t slaveAddr = 0x01;
237       u16CRC = crc16_update(u16CRC, slaveAddr);
238       u16CRC = crc16_update(u16CRC, resetCommand);
239       preTransmission(); /* trigger
240       chat.write(slaveAddr); /* send deid
241       chat.write(resetCommand); /* send reset
242       chat.write(lowByte(u16CRC)); /* send CRC
243       chat.write(highByte(u16CRC)); /* send CRC
244       delay(10);
245     }
246   }
247 }
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

```

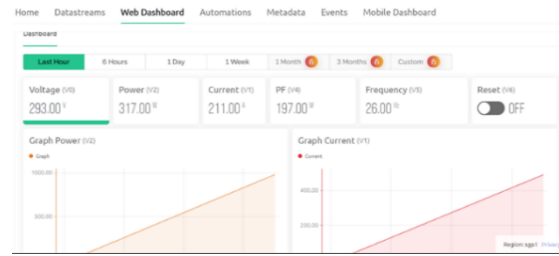
ช) กำหนดหน้าที่
และการทำงานของ Blynk

```

016line.ino Done.txt
248 delay(100);
249 }
250 }
251
252 void resetEnergy(uint8_t slaveAddr)
253 {
254   /* 1- PZEM-014/016 AC Energy Meter */
255   uint8_t u16CRC = 0xFFFF;
256   static uint8_t resetCommand = 0x42;
257   u16CRC = crc16_update(u16CRC, slaveAddr);
258   u16CRC = crc16_update(u16CRC, resetCommand);
259   preTransmission();
260   chat.write(slaveAddr);
261   chat.write(resetCommand);
262   chat.write(lowByte(u16CRC));
263   chat.write(highByte(u16CRC));
264   delay(10);
265   postTransmission();
266   delay(100);
267   while (chat.available())
268   {
269   }
270 }
271
272 void changeAddress(uint8_t OldSlaveAddr, uint8_t NewSlaveAddr)
273 {
274 }
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
77
```

Id	Name	Alias	Color	Pin
4	Frequency	Frequency	Orange	V5
5	GraphPower	GraphPower	Purple	V2
6	GraphEnergy	GraphEnergy	Green	V3
7	Reset	Reset	Brown	V6

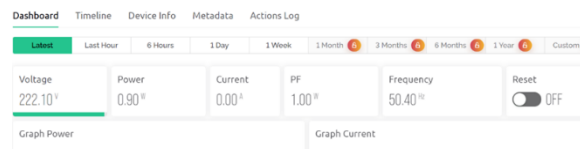
ค) กำหนดการทำงาน Datastreams ของ Hz, และกราฟ ที่จะให้ Blynk แสดงผล



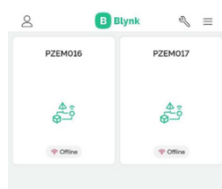
ง) ออกแบบ Web Dashboard

My Devices			
Name	Auth Token	Device Owner	Action
PZEM016	9BXH-miq8EwF5i9RkEMp1zLhgx...	weeratab@gmail.com	

จ) สร้าง Device ของอุปกรณ์ ที่ได้ออกแบบใน Template



ฉ) หน้าจอแสดงผล บนเว็บไซต์ Blynk



ช) แอปพลิเคชัน Blynk ใน โทรศัพท์มือถือ



ซ) ออกแบบหน้าจอแสดงผลแอปพลิเคชัน Blynk ในโทรศัพท์มือถือ

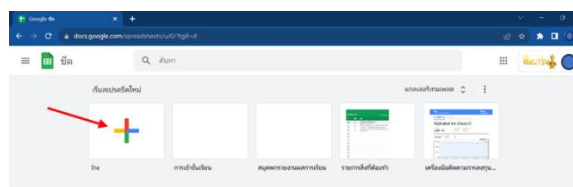


ฌ) หน้าจอแสดงผลบนแอปพลิเคชัน Blynk ในโทรศัพท์มือถือ

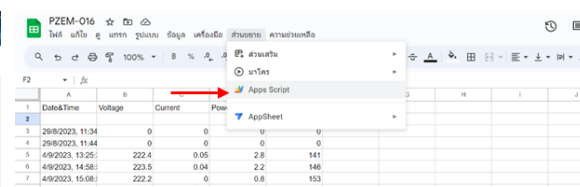
ภาพที่ 6 ขั้นตอนการออกแบบหน้าจอแสดงผลของ PZEM-016 บนเว็บไซต์ Blynk

ขั้นตอนการสร้างแบบบันทึกข้อมูลการใช้งานของ PZEM-016 บน Google Sheet

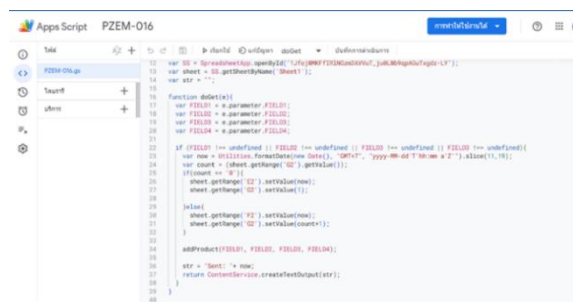
ดำเนินการสร้าง Template ใหม่ และกำหนดชื่อของบอร์ด PZEM-016 เพื่อแสดงค่าทางไฟฟ้าบนแพลตฟอร์ม Google Sheet แสดงได้ดังภาพที่ 7(ก) – 7(ด)



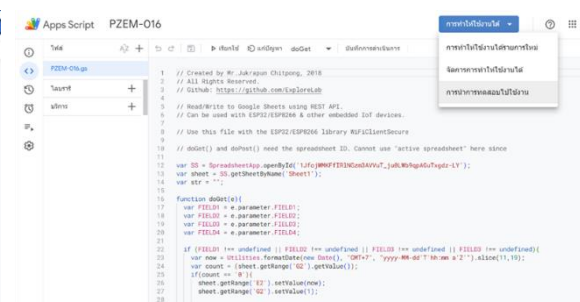
ก) การสร้างสเปรดชีตใหม่บน Google sheet



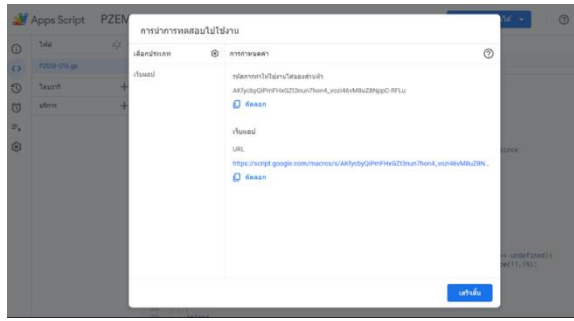
ข) โปรแกรมการเขียนโค้ดไว้ใน Google sheet



ค) การเขียนโค้ด App script



ง) การนำโค้ดไปใช้ในการทดสอบ



จ) การนำการทดสอบไปใช้งาน

	A	B	C	D	E	F
	Date&Time	Voltage	Current	Power	Energy	
1						
2						
3	29/8/2023, 11:34	0	0	0	0	
4	29/8/2023, 11:44	0	0	0	0	
5	4/9/2023, 13:25	222.4	0.05	2.8	141	
6	4/9/2023, 14:58	223.5	0.04	2.2	146	
7	4/9/2023, 15:08	222.2	0	0.8	153	
8	4/9/2023, 15:18	221	0.44	98.2	159	

ฉ) การบันทึกข้อมูลบนเว็บไซต์
และแอปพลิเคชัน Google sheet

ภาพที่ 7 การสร้างแบบบันทึกข้อมูลการใช้งานของ PZEM-016 บน Google Sheet

ขั้นตอนการติดตั้งบอร์ด PZEM-016 และการทดสอบการทำงานของบอร์ด PZEM-016 และ PZEM-022 ดำเนินการติดตั้งพร้อมทดสอบการทำงานร่วมกันของบอร์ด PZEM-016 และ PZEM-022 ที่พัฒนาขึ้น ในการวัดและแสดงค่าทางไฟฟ้า แสดงได้ดังภาพที่ 8(ก) – 8(จ)



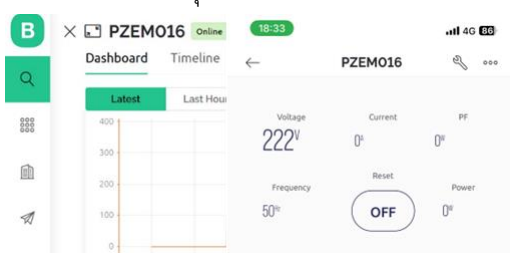
ก) ติดตั้งบอร์ด PZEM-016



ข) ติดตั้งกล่องอุปกรณ์ไว้ข้างใน
กล่องใช้งาน



ค) ทดสอบการทำงานของบอร์ด
PZEM-016 และ PZEM-022



ง) หน้าจอแสดงผลบนเว็บไซต์ และแอปพลิเคชัน
เมื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต

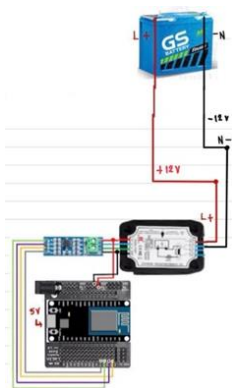
	A	B	C	D	E	F
	Date&Time	Voltage	Current	Power	Energy	
1						
2	21/8/2023, 15:15	221.6	0.41	85.6	4	
3	21/8/2023, 15:16	218.1	0.15	20	4	
4	21/8/2023, 15:17	222.2	0.42	87.2	6	
5	21/8/2023, 15:18	222	0	0.9	6	
6	21/8/2023, 15:19	222.1	0	1.1	6	
7	21/8/2023, 15:20	222.1	0.02	1.1	6	
8	23/8/2023, 14:03	222.1	0	1	6	
9	23/8/2023, 14:04	222.3	0	1.1	6	

จ) หน้าจอแสดงผลบนแอปพลิเคชัน
Google sheet

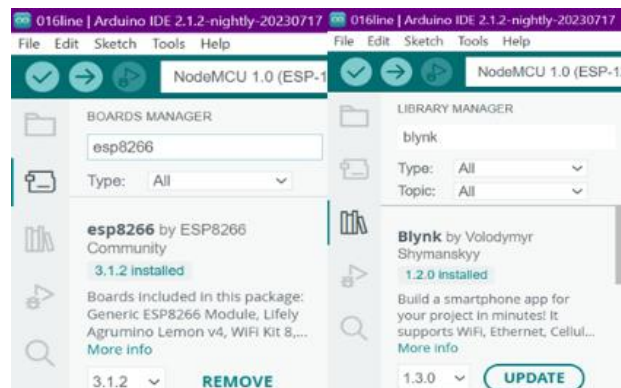
ภาพที่ 8 การทดสอบระบบการทำงานร่วมกันของบอร์ด PZEM-016 และ PZEM-022

ขั้นตอนการออกแบบติดตั้งและการโปรแกรมบอร์ด PZEM-017

ดำเนินการสร้าง Template ใหม่ และกำหนดชื่อของบอร์ด PZEM-017 บนแพลตฟอร์ม Blynk แสดงได้ดังภาพที่ 9(ก) – 9(ข)



ก) ไดอะแกรมสำหรับติดตั้ง PZEM-017

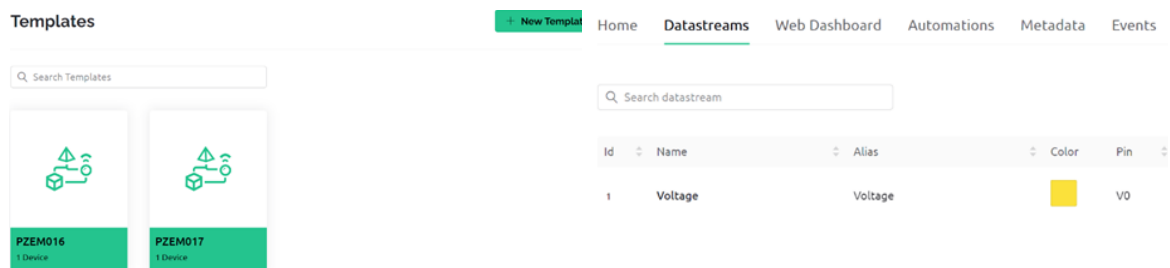


ข) ติดตั้ง Board ESP8266 และ Library Blynk

ภาพที่ 9 ขั้นตอนการออกแบบติดตั้งและการโปรแกรมบอร์ด PZEM-017

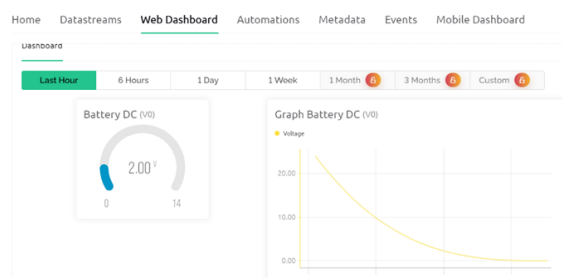
ขั้นตอนการออกแบบหน้าจอแสดงผลของ PZEM-017 บนเว็บไซต์ Blynk

ดำเนินการสร้าง Template ใหม่ และกำหนดชื่อของบอร์ด PZEM-017 บนแพลตฟอร์ม Line แสดงได้ดังภาพที่ 10(ก) – 10(ง)

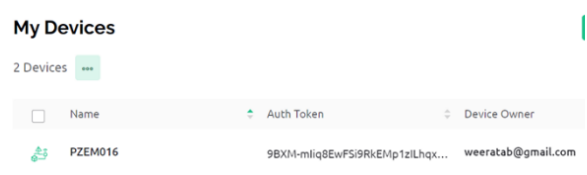


ก) สร้าง Template ใหม่ ของ PZEM-017

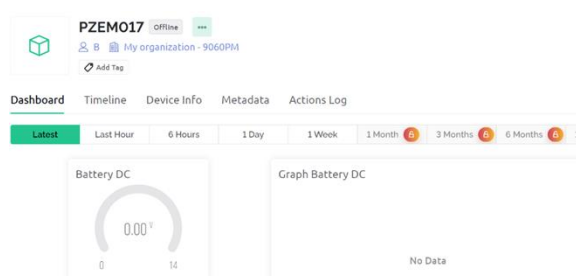
ข) กำหนดการทำงาน Datastreams ที่จะให้ Blynk แสดงผล



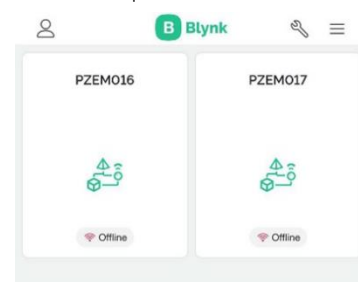
ค) ออกแบบหน้า Web dashboard



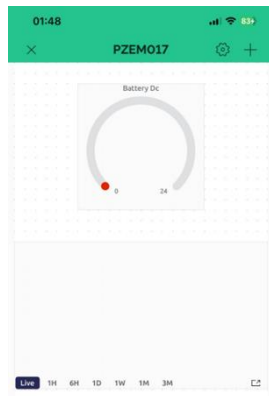
ง) สร้าง Device ของอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบใน Template



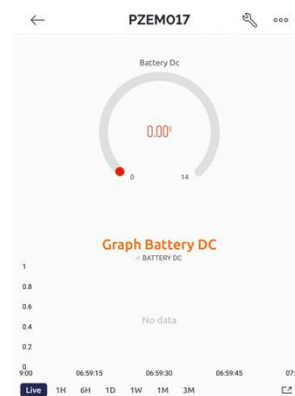
จ) หน้าจอแสดงผลบนเว็บไซต์ Blynk



ฉ) แอปพลิเคชัน Blynk ในโทรศัพท์มือถือ



ข) ออกแบบหน้าจอแสดงผลแอปพลิเคชัน Blynk ในโทรศัพท์มือถือ

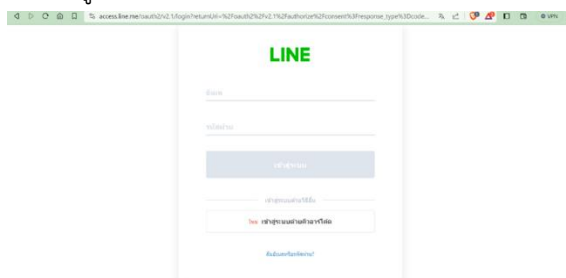


ข) หน้าจอแสดงผลบนแอปพลิเคชัน Blynk ในโทรศัพท์มือถือ

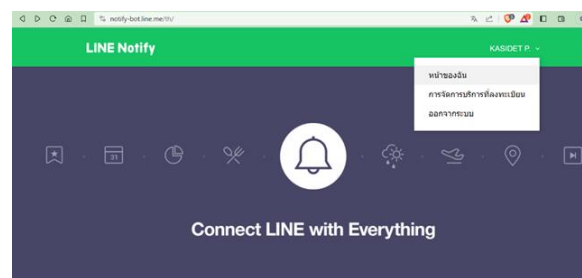
ภาพที่ 10 ขั้นตอนการออกแบบหน้าจอแสดงผลของ PZEM-017 บนเว็บไซต์ Blynk

ขั้นตอนการสร้างระบบการแจ้งเตือนการใช้งาน PZEM-017 บน Line

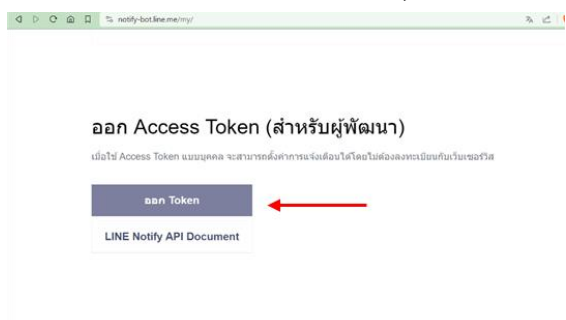
ขั้นตอนที่ 1 จากภาพที่ 11(ก) ทำการล็อกอินเข้าสู่ระบบ Line เพื่อเข้าใช้งาน Line Notify ขั้นตอนที่ 2 จากภาพที่ 11(ข) เมื่อทำการล็อกอินเข้าสู่ระบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นให้กดที่ชื่อโปรไฟล์ของตัวเองด้านบนขวามือ แล้วกดที่ข้อความลำดับแรก “หน้าของฉัน” ขั้นตอนที่ 3 จากภาพที่ 11(ค) หน้าจอจะแสดงผลใหม่ จากนั้นให้กดคำว่า “ออก Token” เพื่อที่จะสร้างข้อมูลต่าง ๆ ในการส่งการแจ้งเตือนสำหรับผู้พัฒนา ขั้นตอนที่ 4 จากภาพที่ 11(ง) กำหนดชื่อ Token หรือชื่อที่จะใช้ในการแสดงข้อมูลเวลาแจ้งเตือน และสามารถเลือกห้องแชทเพื่อการเลือกให้ส่งการแจ้งเตือนไปห้องสนทนาใดบ้าง โดยสามารถเลือกได้มากกว่า 1 ห้องสนทนาตามการใช้งาน หลังจากนั้นกดแถบสีเขียว “ออก Token” ขั้นตอนที่ 5 จากภาพที่ 11(จ) เมื่อกดออก Token จะได้ Token ตัวอักษรสีแดง จากนั้นให้กดแถบสีเขียวด้านซ้ายมือคำว่า “คัดลอก” และนำไปใส่ไว้ในโค้ดโปรแกรม Arduino IDE และกดแถบสีเทาด้านขวามือคำว่า “ปิด” ขั้นตอนที่ 6 จากภาพที่ 11(ฉ) ทำการตรวจสอบ Token ที่สร้างไว้ซึ่งจะมีชื่อ Token ที่จะแสดงเวลาแจ้งเตือน และห้องสนทนาที่จะให้ส่งการแจ้งเตือน ซึ่งผู้ใช้สามารถยกเลิกการเชื่อมต่อได้ ถ้าไม่ได้ใช้งานหรือในกรณียกเลิกการทำงาน



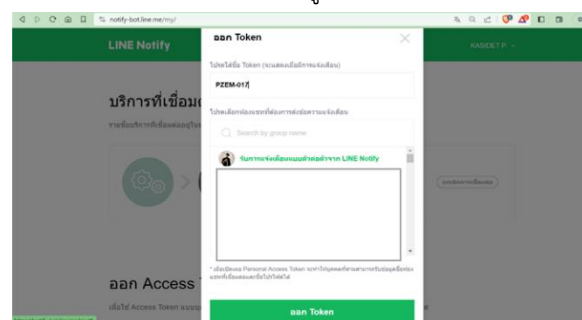
ก) การใช้งาน Line notify



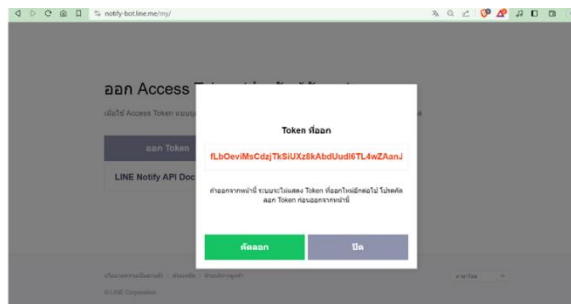
ข) การล็อกอินเข้าสู่ระบบเสร็จสิ้น



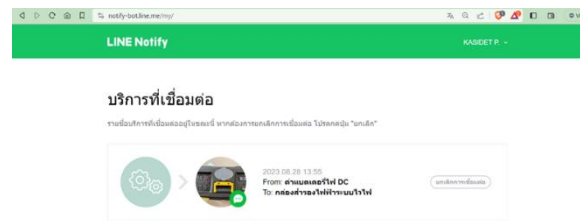
ค) การสร้าง Access token



ง) กำหนดชื่อ Token และห้องสนทนา



จ) Token ที่ออก



ออก Access Token (สำหรับผู้พัฒนา)

ฉ) ตรวจสอบ Token ที่สร้าง

ภาพที่ 11 ขั้นตอนการสร้างระบบการแจ้งเตือนการใช้งาน PZEM-017 บน Line

ขั้นตอนการติดตั้งบอร์ด PZEM-017 ไว้ในกล่องและการทดสอบระบบการทำงานของบอร์ด PZEM-017

จากภาพที่ 12(ก) นำบอร์ด PZEM-017 ติดตั้งไว้ในกล่องอุปกรณ์ และทำการออกแบบการเดินสายไฟภายในกล่องให้มีความเป็นระเบียบเรียบร้อย จากภาพที่ 12(ข) ทำการติดตั้งกล่องอุปกรณ์ไว้ในกล่องชิ้นงาน และติดกาวไว้ใต้กล่องเพื่อลดการเคลื่อนที่ขณะใช้งาน จากภาพที่ 12(ค) ทำการจ่ายไฟฟ้า 12 Vdc จากแบตเตอรี่เข้าสู่ระบบพร้อมกับให้แชร์ Wi-Fi Hotspot จากโทรศัพท์มือถือ เพื่อให้บอร์ด NodeMCU รับสัญญาณ Wi-Fi Hotspot จากภาพที่ 12(ง) เมื่อบอร์ด NodeMCU เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแล้วบนเว็บไซต์ แพลตฟอร์มจะแสดงสถานะออนไลน์ ส่วนกราฟจะแสดงเวลาตามเชิฟเวอร์พร้อมแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่มีอยู่ในระบบ



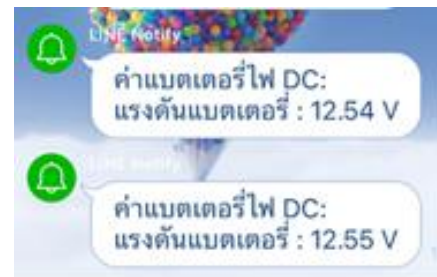
ก) ติดตั้งบอร์ด
PZEM-017
ไว้ในกล่องอุปกรณ์



ข) ติดตั้งกล่องอุปกรณ์
ไว้ด้านในกล่องสำรอง
พลังงานไฟฟ้า



ค) หน้าจอแสดงผลบน
เว็บไซต์และ
แพลตฟอร์ม เมื่อ
เชื่อมต่อ
อินเทอร์เน็ต

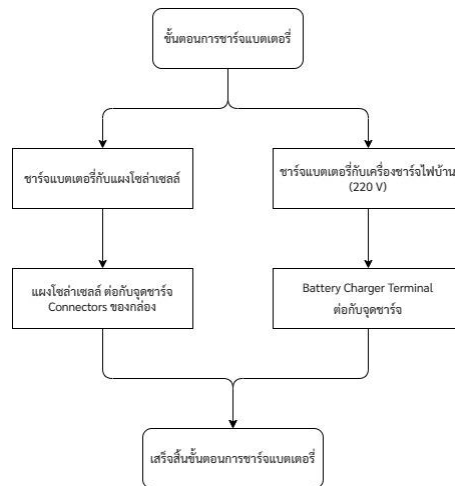


ง) หน้าจอแสดงผลบนแพลตฟอร์ม Line

ภาพที่ 12 ขั้นตอนการติดตั้งบอร์ด PZEM-017 และการทดสอบการทำงานของบอร์ด PZEM-017

ขั้นตอนการประจุพลังงานไฟฟ้าให้กับกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า

จากภาพที่ 13 การประจุพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ด้วยแผงโซลาร์เซลล์ ทำได้โดยการต่อแผงโซลาร์เซลล์เข้ากับจุดชาร์จ Connectors ของกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า และสามารถประจุพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ได้ด้วยเครื่องประจุไฟฟ้า 220 โวลต์ โดยทำการต่อคิบบาร์จ Battery Charger เข้ากับจุดชาร์จ Terminal ของกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า



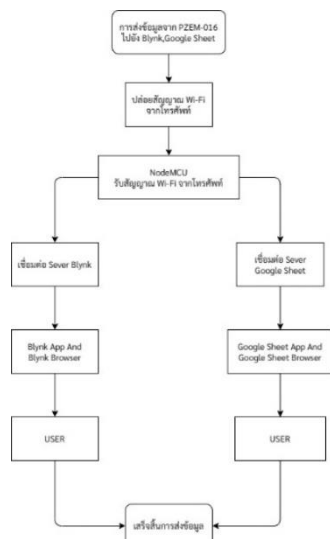
ภาพที่ 13 ขั้นตอนการประจุพลังงานไฟฟ้าให้กับกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า

ขั้นตอนการเปิด-ปิด การใช้งานของกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า

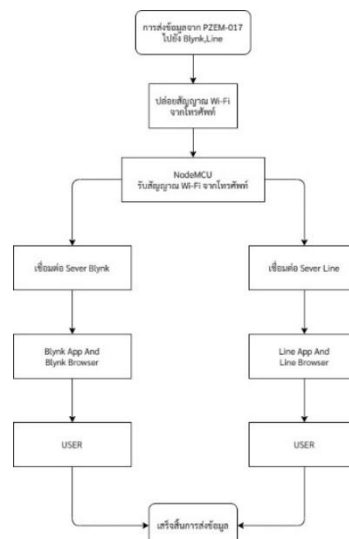
เริ่มจากการจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เข้า Control Charger แรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 12 V และทำการเปิดสวิตช์เครื่องอินเวอร์เตอร์พร้อมกับเปิดสวิตช์ฟิวส์ หลังจากนั้นทำการเปิดเบรกเกอร์ระบบไฟหลักของกล่อง เมื่อไฟฟ้าจ่ายเข้าระบบแล้วทำการตรวจเช็คการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงเครื่องอินเวอร์เตอร์ และทำการเปิดสวิตช์ที่ติดตั้งอยู่บนกล่องเพื่อใช้งานไฟฟ้า 12 V หรือทำการเปิดสวิตช์ใช้งานไฟฟ้า 220 V เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการเปิดใช้งาน

กระบวนการทำงานของบอร์ด PZEM-016 และ PZEM-017

การทำงานของบอร์ด PZEM-016 จากภาพที่ 14(ก) เมื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเรียบร้อยแล้วการทำงานของบอร์ด PZEM-016 จะใช้ไฟฟ้าแรงดัน 220 V ที่มาจากเครื่องอินเวอร์เตอร์ เมื่อบอร์ดเริ่มทำงานจะส่งสัญญาณให้บอร์ด NodeMCU ซึ่งจะต้องผ่านอุปกรณ์ที่ใช้แปลงสัญญาณ RS485 จากนั้นบอร์ด NodeMCU จะเป็นอุปกรณ์ที่รวบรวมข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า และเมื่อได้รับสัญญาณอินเทอร์เน็ทจะสามารถส่งข้อมูลให้ผู้ใช้งานได้ การทำงานของบอร์ด PZEM-017 จากภาพที่ 14(ข) จะใช้ไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า 12 V ที่มาจากแบตเตอรี่ เมื่อบอร์ดเริ่มทำงานจะส่งสัญญาณให้บอร์ด NodeMCU ซึ่งจะต้องผ่านอุปกรณ์ที่ใช้แปลงสัญญาณ RS485 จากนั้นบอร์ด NodeMCU จะเป็นอุปกรณ์ที่รวบรวมข้อมูลแรงดันไฟฟ้าไว้ และเมื่อได้รับสัญญาณอินเทอร์เน็ทก็สามารถส่งข้อมูลให้ผู้ใช้งานต่อไปได้ โดยการทำงานร่วมกันของ PZEM-016 และ PZEM-017 ในกล่องสำรองไฟฟ้า



ก) การทำงานของบอร์ด PZEM-016

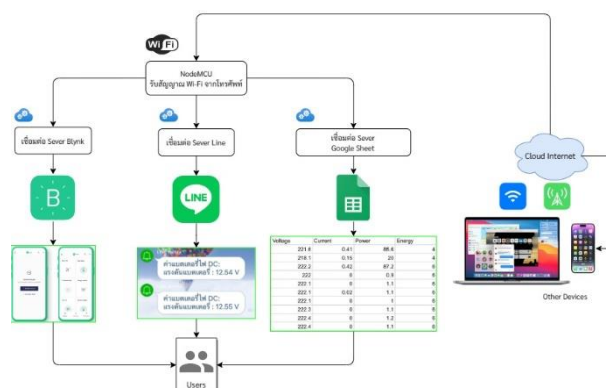


ข) การทำงานของบอร์ด PZEM-017

ภาพที่ 14 ระบบการทำงานของบอร์ด PZEM-016 และ PZEM-017 ภายในกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า

กระบวนการทำงานของระบบแสดงผลข้อมูล

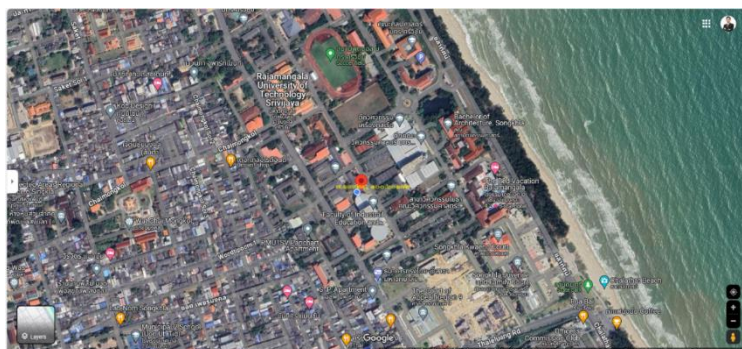
จากภาพที่ 15 กระบวนการทำงานของระบบแสดงผลข้อมูลเริ่มต้นจากการปล่อย Hotspot จากอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตได้ เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์/โน้ตบุ๊ก โดยใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ต หลังจากนั้นเมื่อปล่อย Hotspot แล้ว บอร์ด NodeMCU ก็จะทำกรับสัญญาณ Wi-Fi จากอุปกรณ์ที่ปล่อย Hotspot เมื่อบอร์ด NodeMCU ทำงานจะทำตามเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ได้เขียนไว้ในโค้ดโปรแกรม Arduino IDE และจะเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์แพลตฟอร์มต่าง ๆ ประกอบด้วย แพลตฟอร์ม Blynk แพลตฟอร์ม Line และ แพลตฟอร์ม Google Sheet เมื่อทำตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในโค้ดโปรแกรมสำเร็จ จะแสดงผลการทำงานบนหน้าจอแพลตฟอร์ม และบันทึกข้อมูลการใช้งานตลอดจนส่งการแจ้งเตือนต่าง ๆ ตามเวลาที่กำหนดไว้ ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การทำงานของระบบ Internet of Things ของกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า

วิธีการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบวิธีการทดลองเพื่อเก็บผลวิจัยแบ่งเป็น (1) กำหนดพื้นที่สำหรับทำการทดลอง ดังภาพที่ 16 โดยเลือกพื้นที่ตั้งของแผงโซลาร์เซลล์ในบริเวณสถานศึกษาที่ผู้วิจัยทำการสอนอยู่ในปัจจุบัน พร้อมกำหนดพิกัดเป็นบริเวณที่มีแสงแดดส่องถึงตลอดวัน ณ บริเวณพื้นที่ใกล้ลานจอดรถจักรยานยนต์ของคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา [8] (2) ออกแบบวิธีการทดลองเพื่อการศึกษาและวิเคราะห์ใน 3 ประเด็น ประกอบด้วย 2.1) ทดสอบด้านศักยภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์โดยทำการเก็บข้อมูลจำนวน 3 วัน 2.2) ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกล่องสำรองไฟฟ้า และ 2.3) ทดสอบสมรรถนะด้านการทำงานร่วมกับแพลตฟอร์มสำหรับการติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้า และ (3) วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยจากเรื่องที่ทดสอบ

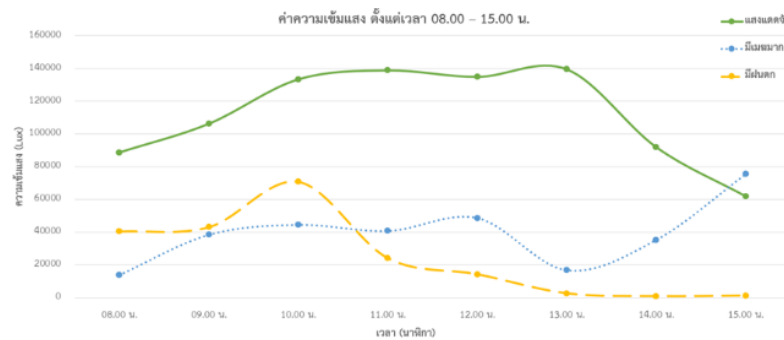


ภาพที่ 16 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงจุดพิกัดในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์สำหรับการประจุพลังงาน

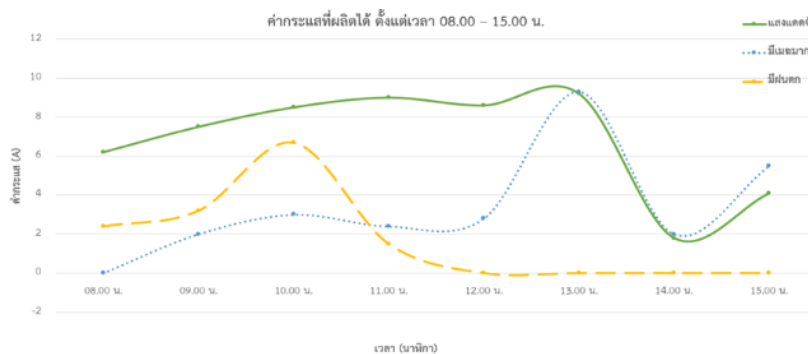
ผลการวิจัย

2.1 ผลการทดสอบด้านศักยภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์

การทดสอบได้กำหนดตำแหน่งในการวางแผงโซลาร์เซลล์หันหน้าเข้าทิศตะวันออก โดยมีข้อจำกัดของพื้นที่ทดสอบ ซึ่งเป็นอาคารสูงและมีต้นไม้ใหญ่ ตำแหน่งทดสอบอยู่ที่ 7.19924, 100.60172 ของ ตำบลบ่อยาง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ทำมุม 18° กับระดับพื้นราบ เก็บข้อมูลวิเคราะห์ จำนวน 3 วัน ตั้งแต่เวลา 08:00 - 15:00 น. [2] ของทุกวัน โดยทั้ง 3 วันมีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน เนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝนของพื้นที่ทำการทดลอง โดยในวันที่ 1 สภาพอากาศโดยรวมมีแสงแดดจ้า ท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีเมฆ วันที่ 2 สภาพอากาศโดยรวมมีแสงแดดอ่อน ท้องฟ้ามีเมฆมาก และวันที่ 3 สภาพอากาศโดยรวมไม่มีแสงแดด ท้องฟ้ามีเมฆมาก และฝนตกหนัก โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 165 W ทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ของทั้ง 3 วัน โดยมีเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ในการเก็บผลประกอบด้วย โวลต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ และเครื่องมือวัดค่าความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์มิเตอร์) โดยการใช้ลักซ์มิเตอร์จะทำการวัดค่าโดยใช้มุมมอง และทิศทางเดียวกับแผงโซลาร์เซลล์ ผลและค่าที่ได้จากการวัดแสดงได้ดังภาพที่ 17(ก) - 17(ข)



ก) ค่าความเข้มของแสงสว่างจากแผงโซลาร์เซลล์ 165 W ตั้งแต่เวลา 08:00 - 15:00 น. ของการเก็บข้อมูลทดลองจำนวน 3 วัน



ข) ค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ 165 W ตั้งแต่เวลา 08:00 - 15:00 น. ของการเก็บข้อมูลทดลองจำนวน 3 วัน

ภาพที่ 17 ค่าความเข้มแสงและค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ ของการเก็บข้อมูลทดลองจำนวน 3 วัน

จากภาพที่ 17(ก) ผลการทดลองพบว่าค่าความเข้มแสงทั้ง 3 วัน มีค่าต่ำสุดในวันที่ 3 อยู่ที่ 832 Lux ระหว่างช่วงเวลา 13:00 – 15:00 น. ซึ่งเป็นวันที่ฝนตกหนัก และมีค่าสูงที่สุดในวันที่ 1 อยู่ที่ 139,500 Lux ระหว่างช่วงเวลา 12:45 น. ซึ่งเป็นวันที่แสงแดดจ้า ท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีเมฆบดบัง

จากภาพที่ 17(ข) ผลการทดลองพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้ง 3 วัน มีค่าต่ำสุดในวันที่ 3 อยู่ที่ 0 A ระหว่างช่วงเวลา 12:00 – 15:00 น. ซึ่งเป็นวันที่มีฝนตกหนัก แผงโซลาร์เซลล์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ และค่ากระแสไฟฟ้าสูงที่สุดในวันที่ 1 อยู่ที่ 9.2 A ในช่วงเวลา 12:45 น. ซึ่งเป็นวันที่แสงแดดจ้า ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงและค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ จากทั้ง 3 วัน สรุปได้ว่าสภาพอากาศเป็นหนึ่งปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผง โซลาร์เซลล์ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ พงษ์พันธ์ ราชภักดี และคณะที่ได้ทำการศึกษาในปัจจัยของช่วงเวลาที่มียผลต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ [2] และจากภาพที่ 17(ก) และ 17(ข) นั้นเมื่อพิจารณาเรื่องของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงผลิตได้คือช่วงเวลา 12.45 น. ของวันที่ 1 กำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 208 W จากค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (Voc) x กระแสลัดวงจร (Isc) เท่ากับ 22.7V x 9.2A เท่ากับ 208 W ซึ่งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 1,040 Wh ซึ่งเกินจากค่าที่ได้ออกแบบระบบไว้ 215 Wh ส่วนที่เกินนี้ถือว่าเป็นพลังงานที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์เนื่องจากข้อจำกัดของแบตเตอรี่ที่ออกแบบไว้ในระบบ สรุปได้ว่าแผงโซลาร์เซลล์มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ตามข้อมูลทางเทคนิค

2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกล่องสำรองไฟฟ้าเมื่อมีการใช้โหลดที่ต่างกัน

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับเครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวน 3 ชนิด ประกอบด้วย (1) พัดลมยี่ห้อ Ninja ขนาดใบพัด 12 นิ้ว 220 V 55 W (2) หลอดไฟฟ้ายี่ห้อ Lekise 220 V 25 W และ (3) โทรศัพท์ Samsung Galaxy A20 ความจุแบตเตอรี่ ขนาด 4,000 mA ใช้แรงดันไฟฟ้า 5 V โดยได้ทำการทดลองเก็บบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้า เมื่อมีการใช้ โหลดที่แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่เริ่มต้น 13.80 V และบันทึกผลทุก 30 นาที จนถึงระดับแบตเตอรี่ต่ำ โดยมีการเก็บผลการ ทดลอง ดังตารางที่ 1 - 3

ตารางที่ 1 ระยะเวลาใช้งานกับพัดลมขนาด 12 นิ้ว โดยใช้ไฟแรงดัน 220 V 55 W

เวลา (นาฬิกา)	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	กระแส (A)	วัตต์ (W)	หมายเหตุ
08.00 น.	13.80	0.00	00.00	เริ่มต่อโหลด
08.30 น.	12.80	0.16	34.50	สถานะปกติ
09.00 น.	12.10	0.16	34.50	สถานะปกติ
09.30 น.	11.90	0.16	34.50	สถานะปกติ
10.00 น.	11.00	0.16	32.00	สถานะปกติ
10.03 น.	10.00	0.15	30.00	แบตเตอรี่หมด
รวมใช้งานได้ต่อเนื่องทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง 3 นาที				

จากตารางที่ 1 ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้โหลด ขนาด 55.00 W โดยเปิดใช้งานพัดลม ที่ความเร็วสูงสุดระดับเบอร์ 3 ที่แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่เริ่มต้น 13.80 V เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 3 นาที ค่าแรงดันไฟฟ้า แบตเตอรี่อยู่ที่ 10.00 V ค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 0.15 A และมีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 30.00 W พบว่าเมื่อค่าแรงดันไฟฟ้า แบตเตอรี่มีค่าต่ำลงจะส่งผลให้ความเร็วรอบใบพัดของพัดลมหมุนได้ช้าลง จนเมื่อถึงค่าแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่เท่ากับค่าที่ กำหนดไว้ 10.00 V อินเวอร์เตอร์จึงตัดการทำงาน เพื่อถนอมอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ตารางที่ 2 ระยะเวลาใช้งานกับหลอดไฟใช้ไฟแรงดัน 220 V 25 W

เวลา (นาฬิกา)	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	กระแส (A)	วัตต์ (W)	หมายเหตุ
08.00 น.	13.80	0.12	25.00	เริ่มต่อโหลด
08.30 น.	13.20	0.12	25.00	สถานะปกติ
09.00 น.	12.50	0.12	25.00	สถานะปกติ
09.30 น.	12.30	0.12	25.00	สถานะปกติ
10.00 น.	12.10	0.12	25.00	สถานะปกติ

เวลา (นาฬิกา)	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	กระแส (A)	วัตต์ (W)	หมายเหตุ
10.30 น.	12.00	0.12	25.00	สถานะปกติ
11.00 น.	11.90	0.12	25.00	สถานะปกติ
11.30 น.	11.70	0.12	25.00	สถานะปกติ
12.00 น.	10.80	0.12	25.00	สถานะปกติ
12.10 น.	10.00	0.10	20.00	แบตเตอรี่หมด
รวมใช้งานได้ต่อเนื่องทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง 10 นาที				

จากตารางที่ 2 ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้โหลด ขนาด 25.00 W ที่แรงดันไฟฟ้า แบตเตอรี่เริ่มต้น 13.80 V พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง 10 นาที ค่าแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ต่ำสุดอยู่ที่ 10.00 V กระแสไฟฟ้า 0.10 A และมีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 20.00 W ความสว่างของหลอดไฟจึงลดลง พร้อมกับอินเวอร์เตอร์จะตัดการทำงาน เพื่อถนอมอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และไม่สามารถใช้งานกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้าต่อไปได้

ตารางที่ 3 ระยะเวลาใช้งานกับโทรศัพท์ ใช้ไฟแรงดัน 5 V

เวลา (นาฬิกา)	ปริมาณ แบตเตอรี่ของ โทรศัพท์ (%)	แรงดันแบตเตอรี่ (V)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	วัตต์ (W)	หมายเหตุ
08.00 น.	00.00	13.80	4.90	1.60	8.10	เริ่มต่อโหลด
08.30 น.	22.00	12.70	4.90	1.60	8.10	สถานะปกติ
09.00 น.	38.00	12.60	4.90	1.50	7.40	สถานะปกติ
09.30 น.	54.00	12.60	4.90	1.30	6.50	สถานะปกติ
10.00 น.	67.00	12.50	4.90	0.70	3.70	สถานะปกติ
10.30 น.	84.00	12.50	4.90	0.20	1.40	สถานะปกติ
10.48 น.	100.00	12.50	4.90	0.20	1.00	แบตเตอรี่เต็ม
รวมใช้งานได้ต่อเนื่องทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง 48 นาที						

จากตารางที่ 3 ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้โหลดที่แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่เริ่มต้น 13.80 V เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 48 นาที ค่าแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่อยู่ที่ 12.50 V กระแสไฟฟ้า 0.20 A และมีค่ากำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 1.00 W โดยมีสถานะปริมาณแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เต็ม 100 % พบว่าเมื่อแบตเตอรี่ของโทรศัพท์ใกล้เต็ม ค่ากระแสไฟฟ้า และค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากในโทรศัพท์มีระบบการชาร์จเพื่อถนอมแบตเตอรี่ภายในตัว

2.3 ผลการทดสอบสมรรถนะด้านการทำงานร่วมกับแพลตฟอร์ม Blynk, Google Sheet และ Line

ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือวัด PZEM-022 และ Volt Meter ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่บนหน้ากล่องสำรองพลังงานไฟฟ้า และมีหน้าจอแสดงผลการทำงานอยู่ตลอดเวลา จึงนำมาใช้ในการทดลองการแสดงผลข้อมูล ในการแสดงข้อมูลเปรียบเทียบในแอปพลิเคชัน Blynk, Google Sheet กับ PZEM-022 และแอปพลิเคชัน Blynk, Line กับหน้าจอแสดงผล Volt Meter ดังตารางที่ 4 และ ตารางที่ 5

ตารางที่ 4 การแสดงข้อมูลระหว่างแอปพลิเคชัน Blynk, Google Sheet และ Pzem-022

หลอดไฟ 220V 25W	แรงดัน (V)	หมายเหตุ	กระแส (A)	หมายเหตุ	วัตต์ (W)	หมายเหตุ
Blynk	221	ไม่คลาดเคลื่อน	0.12	ไม่คลาดเคลื่อน	25.00	ไม่คลาดเคลื่อน
Google Sheet	221	ไม่คลาดเคลื่อน	0.12	ไม่คลาดเคลื่อน	25.00	ไม่คลาดเคลื่อน
Pzem-022	222	± ไม่เกิน 1 V	0.12	ไม่คลาดเคลื่อน	24.00	± ไม่เกิน 1 W

จากตารางที่ 4 การแสดงผลบนแอปพลิเคชัน Blynk, Google Sheet จะแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และค่ากำลังไฟฟ้า ที่ตรงกันไม่เกิดความคลาดเคลื่อน ส่วนหน้าจอแสดงผล PZEM-022 ค่ากระแสไฟฟ้าไม่เกิดความคลาดเคลื่อน ส่วนค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากำลังไฟฟ้า เกิดการความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 5\%$

ตารางที่ 5 การแสดงข้อมูลระหว่างแอปพลิเคชัน Blynk, Line และหน้าจอ Volt Meter

การแจ้งเตือนแบตเตอรี่	แรงดัน (V)	เวลาแจ้งเตือน	หมายเหตุ
Blynk	12.40	แสดงผลตลอดเวลา	ไม่คลาดเคลื่อน
Line	12.40	แสดงผลทุก 10 นาที	ไม่คลาดเคลื่อน
Volt Meter	12.40	แสดงผลตลอดเวลา	ไม่คลาดเคลื่อน

จากตารางที่ 5 การแสดงผลบนแอปพลิเคชัน Blynk, Line และหน้าจอแสดงผล Volt Meter จะแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้โดยไม่เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยที่ได้จากการทดสอบ แบ่งการอภิปรายผลที่สอดคล้องกับการออกแบบระบบใน 3 ประเด็น ดังนี้ (1) ประเด็นผลการทดสอบด้านศักยภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ แผงสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มีประสิทธิภาพตามที่ได้ออกแบบระบบไว้ซึ่งสามารถผลิตพลังงานได้ตั้งแต่ 165W-208W ในช่วงเวลา 09.00 – 13.00 น. ของวันที่ 1 ซึ่งเป็นวันที่แสงแดดจ้า ท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีเมฆบดบัง ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสอดคล้องกับข้อมูลทางเทคนิคของแผง (2) ประเด็นผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกล่องสำรองไฟฟ้าเมื่อมีการใช้โหลดที่ต่างกันซึ่งจากข้อมูลในตารางที่ 1-

2 เมื่อพิจารณาในเรื่องของระยะเวลาใช้งานกรณีที่มีการใช้โหลดที่ 55W และ 25W จะมีค่าที่ต่างไปจากการออกแบบระบบไว้ โดยที่การใช้งานโหลด 55W ควรจะใช้งานได้ประมาณ 3 ชั่วโมง 49 นาที (3.81 ชั่วโมง) การทดสอบจริงสามารถใช้งานได้เพียง 2 ชั่วโมง 3 นาที (2.05 ชั่วโมง) ประสิทธิภาพเท่ากับ 53.80 % และที่การใช้งานโหลด 25W ควรจะใช้งานได้ประมาณ 8 ชั่วโมง 24 นาที (8.40 ชั่วโมง) การทดสอบจริงสามารถใช้งานได้เพียง 4 ชั่วโมง 10 นาที (4.17 ชั่วโมง) ประสิทธิภาพเท่ากับ 49.64 % ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ด้านต่อไปนี้ 1) ด้านประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง ค่าทฤษฎีตามได้ออกแบบระบบไว้คำนวณจาก $420\text{Wh} \times 50\% = 210\text{Wh}$ ซึ่งในความเป็นจริงอาจใช้งานได้เพียง 110-180 Wh เท่านั้น 2) ด้านอินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพต่ำกว่าได้ออกแบบระบบไว้ ซึ่งต่ำกว่า 68.85 % และไม่ได้เป็นไปตามข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์ที่ระบุไว้ซึ่งมากกว่า 85 % โดยอินเวอร์เตอร์อาจมีประสิทธิภาพต่ำกว่านี้ได้ โดยเฉพาะหากมีการใช้งานที่โหลดต่ำ ๆ ประกอบกับปัจจัยของอินเวอร์เตอร์ในบางรุ่นที่ใช้พลังงานเอง ซึ่งอาจกินกำลังไฟฟ้า 5-10W ตลอดเวลา เป็นต้น และจากข้อมูลในตารางที่ 3 เมื่อทดสอบระยะเวลาการชาร์จแบตเตอรี่มีผลจากสถานะแบตเตอรี่ที่ 0-100 % (หรือคิดการชาร์จที่ 100 %) เมื่อเวลาผ่านไป 2.8 ชั่วโมง หรือ 2 ชั่วโมง 48 นาที โทศัพท์จะมีสถานะปริมาณแบตเตอรี่ของโทศัพท์ 100 % ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยศึกษาในเรื่องของระยะเวลาการชาร์จแบตเตอรี่มีผลจากสถานะแบตเตอรี่ที่ 47-100 % (หรือคิดการชาร์จที่ 53 %) ของ ภาคิน มณีโชติ และคณะซึ่งใช้เวลาในการชาร์จอยู่ที่ 1.5 ชั่วโมง หรือ 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยเมื่อคำนวณเปรียบเทียบกันที่การชาร์จ 100 % ใช้เวลาชาร์จที่ 2.8 ชั่วโมง หากคำนวณคิดการชาร์จที่ 53 % จะใช้เวลาชาร์จเท่ากับ $(53\% \times 2.8\text{h}) / (100\%)$ เท่ากับ 1.48 ชั่วโมง หรือประมาณ 1.5 ชั่วโมง [3] และ (3) ประเด็นผลการทดสอบสมรรถนะด้านการทำงานร่วมกับแพลตฟอร์ม Blynk, Google Sheet และ Line จากข้อมูลในตารางที่ 4-5 เป็นการทดสอบการส่งข้อมูลโดยให้โหลดเป็นหลอดไฟฟ้า 25W (โหลดความต้านทาน $PF \approx 1$) ซึ่งจากตารางที่ 4 จะมีความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าด้วยบอร์ด Pzem-016 ซึ่งให้ผลที่แตกต่างกับ บอร์ด Pzem-022 อยู่ที่ 1 V ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการวัดของบอร์ดทั้งสองมีค่าเท่ากัน ซึ่งเมื่อนำไปคิดค่ากำลังไฟฟ้าจะเกิดความผิดพลาดขึ้นไม่เกิน $\pm 5\%$ ที่โหลด 25 W และจากตารางที่ 5 ผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัดด้วยบอร์ด Pzem-017 ไม่เกิดความคลาดเคลื่อน ค่าที่ส่งไปยังแอปพลิเคชัน Blynk และ Line มีค่าเท่ากับหน้าจอแสดงผล Volt Meter ที่ติดตั้งไว้บนกล่องสำรองพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น ซึ่งมีสมรรถนะในการแสดงผลได้ถูกต้องตามค่าที่ตรวจวัด

สรุปผลการวิจัย

กล่องสำรองพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นนี้มีภาพรวมของระบบที่ได้ออกแบบไว้ดังกล่าวข้างต้น แต่ด้วยข้อจำกัดของอุปกรณ์ทำให้กล่องสำรองพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นนี้จะมีประสิทธิภาพการทำงานในช่วง 49.64% - 53.80% ที่โหลด 25-55W มีความแตกต่างจากประสิทธิภาพที่ได้ออกแบบระบบไว้อยู่ในช่วง 15.05% - 19.21% ระบบนี้จะเหมาะสมกับการใช้งานในโหลดขนาดเล็ก เช่น การใช้งานสำหรับไฟส่องสว่างกำลังไฟต่ำ พัดลมขนาดเล็ก การชาร์จโทรศัพท์ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังไฟต่ำ ที่มีขนาดกำลังไฟไม่เกิน 200 W ครอบคลุมระยะเวลาการใช้งานที่ 2 ชั่วโมง หากต้องการใช้กับเครื่องใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้น เช่น พัดลมใหญ่ หรือไฟส่องสว่างกำลังไฟสูง ควรต้องพิจารณาเพิ่มเติมในเรื่องการเลือกใช้ อินเวอร์เตอร์ เครื่องควบคุมการชาร์จ แบตเตอรี่ และขนาดแผงโซลาร์เซลล์ ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ร่วมด้วย

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้รับคำแนะนำจากผู้ปฏิบัติงานในหน่วยกระแสไฟฟ้าขัดข้อง สำหรับใช้ปฏิบัติงานจริงบนรถกระเช้าในงานซ่อมบำรุงระบบสายส่งไฟฟ้า ด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของกล่องให้สูงขึ้นโดยการปรับเพิ่มขนาดอินเวอร์เตอร์และปรับเปลี่ยนชนิดของแบตเตอรี่พร้อมเพิ่มขนาดความจุ เพื่อรองรับการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่หลากหลาย การลดน้ำหนัก

โดยรวมของกล่อง และครอบคลุมระยะเวลาการปฏิบัติงานในช่วงเวลาไฟฟ้าขัดข้องที่นานขึ้น ทั้งนี้ผู้ที่สนใจพัฒนาต่อยอดสามารถสืบค้นข้อมูลการอัปเดตเทคโนโลยีได้จากตัวแทนจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายกันนี้ [5] เพื่อประโยชน์สูงสุดด้านการนำไปประยุกต์ใช้งานให้ครอบคลุมกับการปฏิบัติงานต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรสาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ที่ให้การสนับสนุนพื้นที่ในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ตลอดจนเพื่อนอาจารย์ อีกทั้งลูกศิษย์ของข้าพเจ้า ที่คอยช่วยส่งเสริมและสนับสนุนให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] กองพัน อารีรักษ์ และ ปทุมพร วงศ์ใหญ่. (2560). แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าพกพา. รายงานการวิจัย โครงการวิจัยนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [2] พงษ์พันธ์ ราชภักดี และ รุ่งโรจน์ จินดาง. (2562). เครื่องเติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการเลี้ยงปลาในกระชัง. รายงานการวิจัย โครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้. สงขลา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- [3] ภาคิน มณีโชติ เทพ เกื้อวิกุล วีรพงษ์ ยิ้มยอง และ ฤทธา คำบรรลือ. (2562). “การออกแบบและพัฒนากล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์” , ใน การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 ประจำปี 2562, 473. วันที่ 6-8 พฤศจิกายน 2562 ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี จังหวัดพิษณุโลก. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร
- [4] อัษฎงค์ บุญศรี นวัตกรรม คลังสินค้า กิตติชัย ร่มยอดินดง และ ภาณุมาศ ชำเกตุ. (2562). “การออกแบบและสร้างตู้ชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่” , ใน การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 ประจำปี 2562, 452. วันที่ 6-8 พฤศจิกายน 2562 ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี จังหวัดพิษณุโลก. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร
- [5] บริษัท Motorhomes & Caravans. (2561). แบตเตอรี่พกพา และระบบไฟฟ้า สืบค้นเมื่อ 18 กันยายน 2566, จาก <https://www.mac-thai.com/category/PowerStation-PowerBox-Energy>.
- [6] ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล และ ฤทธา คำบรรลือ. (2564). ระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากระดับครัวเรือน. วารสารวิจัยและพัฒนา วลัยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 16 (1), 87-102.
- [7] ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล วายากร อุดมโกชน ฤทธา คำบรรลือ และ ปัญญา วงศ์ต่าย. (2567). การพัฒนาระบบกักเก็บลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัยในระดับครัวเรือน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี. 12 (2), 1-15.
- [8] Gaisma. (2565). Solar Energy and Surface Meteorology. Retrieved March 10, 2025, from <https://www.gaisma.com/en/location.chanthaburi.html>.



วารสารวิชาการ

พลังงานทดแทน สู่ชุมชน



J-REC

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY



สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12110 อีเมล : treca2012@gmail.com โทร : 02 549 3497