



วารสารวิชาการ พลังงานทดแทน สู่ชุมชน

ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม-เมษายน 2567

J-REC BY TRECA



J-REC

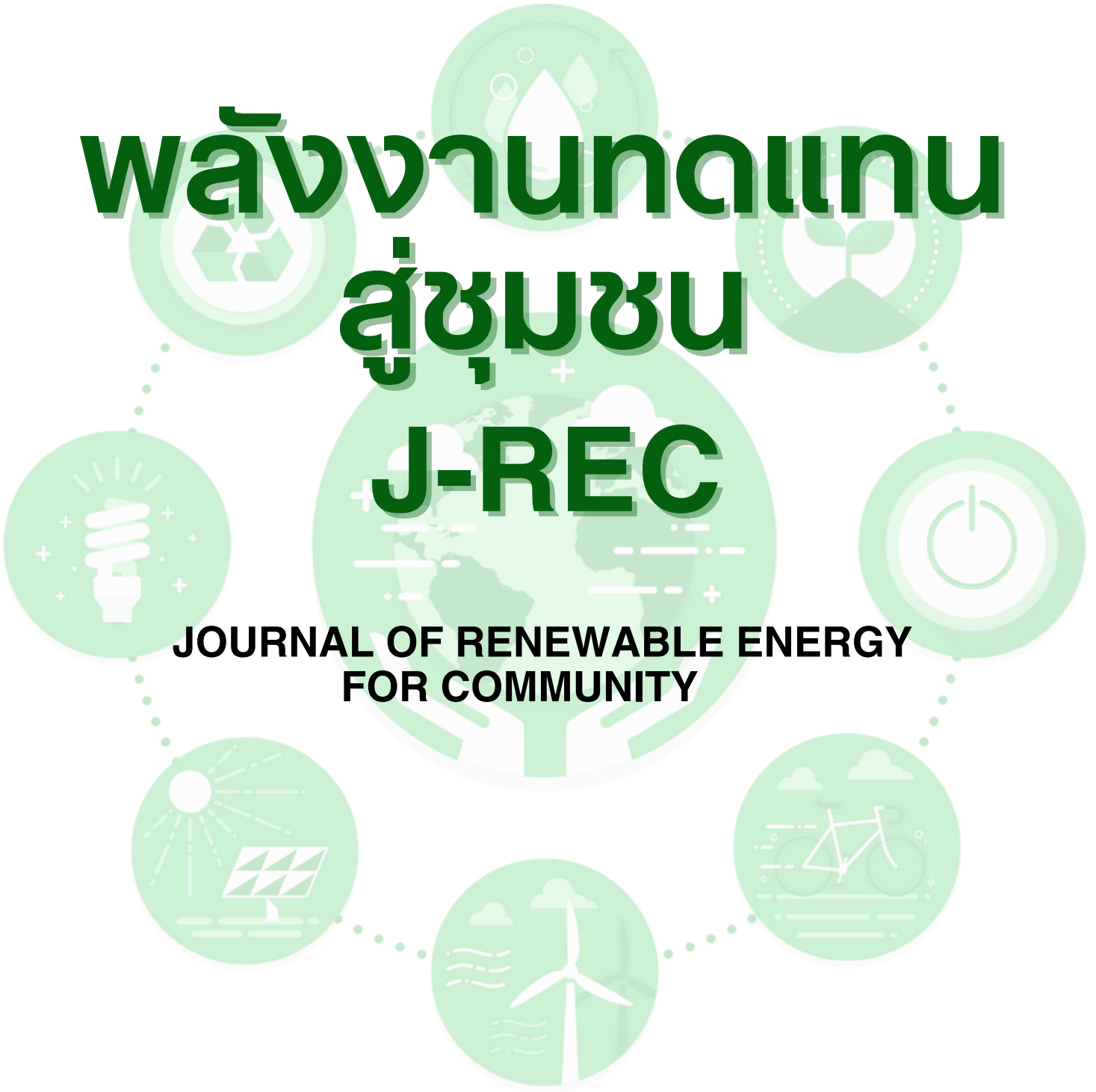
**JOURNAL OF
RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY**

ISSN 2773-8639 (Online)

วารสารวิชาการ

พลังงานทดแทน
สู่ชุมชน
J-REC

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY



วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นเอกสารเผยแพร่ผลงานวิชาการและงานวิจัยด้านพลังงานหมุนเวียนในเครือข่ายพลังงานของประเทศไทย
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติและผลงานวิชาการใหม่ๆ พลังงานทดแทนระหว่างนักวิจัยและผู้ใช้ทั้งภาครัฐและเอกชน
3. เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนคณาจารย์บุคลากรทางการศึกษานักศึกษาและผู้ที่มีสนใจทำงานด้านพลังงานหมุนเวียนที่เป็นประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ
4. เพื่อเป็นแหล่งรวมรายงานผลงานวิจัยและบทความวิชาการที่มีคุณภาพและมีคุณค่าของพลังงานทดแทนสู่การใช้งานจริงเพื่อความยั่งยืนด้านพลังงานของประเทศ



เจ้าของลิขสิทธิ์ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

ที่ตั้งสมาคมฯ ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 ม.1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง ปทุมธานี 12110

โทร. 0-2549-3497 www.reca.or.th/jrec

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

พิมพ์ออกเผยแพร่ 3 ฉบับต่อปี ตั้งแต่ เดือนมกราคม-เมษายน พฤษภาคม-สิงหาคม และกันยายน-ธันวาคม ติดต่อขอรับเป็นสมาชิกได้โดยตรงที่ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

วัตถุประสงค์สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน แห่งประเทศไทย

1. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือทางด้านวิชาการระหว่างภาครัฐภาคเอกชนและภาคประชาชนในด้านพลังงานทดแทนการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชนต่างๆทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ
2. เพื่อจัดหาทุนเพื่อสนับสนุนการศึกษาวิจัยฝึกอบรมการดำเนินโครงการด้านพลังงานทดแทนให้กับภาครัฐภาคเอกชนและภาคประชาชนจากแหล่งทุนทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ
3. ไม่ดำเนินการส่งเสริมและพัฒนากิจกรรมใดๆ ที่มุ่งไปสู่การดำเนินงานทางการเมือง
4. ไม่ดำเนินการให้มีการจัดตั้งโต๊ะบิลเลียดหรือกระทำการอันผิดต่อขนบธรรมเนียมและจารีตประเพณีที่ดีของสังคมไทย
5. เพื่อส่งเสริมให้สมาคมมีรายได้จากโควต้าสลากกินแบ่งรัฐบาลหรือสลากการกุศลของรัฐบาลที่พิมพ์ออกจำหน่ายเพื่อนำรายได้มาใช้ดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของสมาคม
6. เพื่อส่งไม้กิจกรรมทางสังคมด้านสาธารณะประโยชน์ด้านต่างๆรวมถึงกิจกรรมเพื่อการจัดสวัสดิการให้กับสมาชิก

หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันทั่วโลกต้องเผชิญกับปัญหาด้านพลังงานที่รุนแรงกว่าในอดีตมากอันเนื่องมาจากความต้องการใช้พลังงานและราคาพลังงานเชื้อเพลิงที่มีการปรับตัวอยู่ในระดับสูงอย่างต่อเนื่อง ผลกระทบที่สำคัญจากปัญหาดังกล่าวคือ ความมั่นคงทางด้านการจัดหาพลังงานขณะเดียวกันการใช้พลังงานที่สูงขึ้นก็ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจนเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (GreenHouseEffects) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศโลกอย่างรุนแรง ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาด้านพลังงานดังกล่าวจึงได้มีแนวคิดในการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนกันมากขึ้นโดยเฉพาะพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีการนำมาใช้เป็นระยะเวลายาวนานไม่ก่อให้เกิดมลพิษแสงอาทิตย์อ่อนเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนอีกทั้งยังสามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่มีวันหมดสิ้น

จุดมุ่งหมายสำคัญ

การทำงานกันทั้งส่วนภาครัฐและประชาชนในการใช้พลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศไทย ตลอดจนการศึกษาวิจัย ดำเนินการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่างๆมาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อความเหมาะสมและให้เกิดความยั่งยืนของชุมชนและประชาชนในประเทศไทย

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY

คณะกรรมการจัดทำวารสารวิชาการสู่ชุมชน

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

หัวหน้ากองบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองบรรณาธิการ	นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (รศ.ดร. พิสิษฐ์ มณีโชติ)
ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ	กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (ผศ.ดร.จิรวดี ผลประเสริฐ)
กองบรรณาธิการ	ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช รองศาสตราจารย์ ดร. ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล รองศาสตราจารย์ ดร. ประพิศาริ ธนารักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรพงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ศรีประภาคา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยะวิริยะนันท์ ดร.ชานนท์ บุญมีพิพิธ

เลขานุการ

นางสาวกิ่งกานต์ พันธวานิชย์

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวธัญญลักษณ์ ชิดโคกกรวด

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

รองศาสตราจารย์ ดร. วิรัชย์ โยชนรินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร. ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล

รองศาสตราจารย์ ดร. พิสิษฐ์ มณีโชติ

รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัช สุริวงษ์

รองศาสตราจารย์ ดร. ประทีพารีย์ ธนารักษ์

รองศาสตราจารย์ ดร. อีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ศรีประภาคาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ท้ายทิพย์ สิ้นธยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรจิตต์ เศรษฐพรรค

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรวดี ผลประเสริฐ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุสรณ์ วรสิงห์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญเรือง มะรังศรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิกราน หอมดวง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภาคิน มณีโชติ

ดร.อำพล อภาธนากร

ดร.ชานนท์ บุญมีพิพิธ

ดร.ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด

ดร.รัชดา คำจริง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

สารบัญ

นวัตกรรมด้านพลังงาน

อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสม ในการผลิตก๊าซชีวภาพ จากขยะอินทรีย์ ด้วยการปรับสภาพเชิงกล.....	8
การพัฒนาเครื่องผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารแบบยั่งยืนจากวัสดุธรรมชาติ ในท้องถิ่นโดยใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งความร้อน.....	21
ความสูงที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดรับรังสีสองด้านแบบตรึงอยู่กับที่.....	32
การพัฒนาเครื่องปั่นเส้นด้ายใยกล้วย.....	41
การฟื้นฟูแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพนำกลับมาใช้งานใหม่ โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก.....	49
การวิเคราะห์สมรรถนะของต้นแบบยานยนต์ไฟฟ้าประหยัด พลังงานประเภท 3 ล้อ.....	62

พลังงานเพื่อการเกษตร

การศึกษาขนาดของท่อทางดูระบบสูบน้ำแบบแพลลอยน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือน.....	70
---	----

สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

การหาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการ ตามลำดับชั้น เพื่อวางแผนป้องกันผลกระทบสำหรับพืชเศรษฐกิจ ในพื้นที่ตำบลนาทราย อำเภอเถลิง จังหวัดลำพูน.....	81
--	----

การบริหารจัดการพลังงานชุมชนด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล

Feasibility Analysis of Hybrid Energy Systems for Remote Community Electrification:A Comparative Study in Ban Pha Dan, Lamphun, Thailand.....	100
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของการออกแบบการจัดการพลังงาน สำหรับคลินิกเวชศาสตร์ความงามเพื่อมุ่งสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์.....	110

อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสม ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์
ด้วยการปรับสภาพเชิงกล

Optimization of Organic Loading Rate in Biogas Production
with Mechanical Pretreatment

ชาคริยา จันทร์ราชา¹ ภคมน ปินตนา¹ ชวโรจน์ ใจสิน¹ และจรพวรรณ นริญศิลป์¹
Chakriya Chanracha¹ Pakamon Pintana¹ Chawaraj Jaisin¹ and Rotjapun Nirunsin^{1*}

¹ สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน คณะวิทยาลัยพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

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

¹Corresponding author: Tel.: 08-18056559. E-mail address: rotjapun@gmail.com

Received: 3 April 2023, Revised: 13 May 2023, Accepted: 18 May 2023, Published online: 30 April 2024

Abstract

This research aims to study the appropriate Organic Loading Rate (OLR) for biogas production with mechanical pretreatment from organic waste which is measured in a 1,000 Liter tank. A mechanical pretreatment was installed on the top of the biodigester tank which worked by adding surface area to the feedstock with 6 blades. This research also studied the OLR which was separated into 3 conditions with an OLR of 1.0 1.5 and 2.0 kg COD/m³-day and a hydraulic retention time (HRT) of 20 days per condition. The result of this study showed that a mechanical pretreatment had a size reduction efficiency of 86.49% with a shredding efficiency of 4 L/min or 160 kg/h. The mechanical pretreatment could also increase the maximum amount of biogas production at an OLR of 2.0 kg COD/m³-day with the highest biogas production rate of 789.30 L/day. The appropriate acid-base conditions had the average pH value at 7.07 throughout the entire period of the experiment. The efficiencies of COD, TS and VS removal were 88.64%, 89.05% and 88.36%, respectively, and the average methane ratio throughout the experiment period was 59.9%. The overall results of this study showed that studying the appropriate OLR led to effective biogas production and recycled the waste to maximize the benefits of the at most energy. The appropriate OLR also helped reduce the cumulative trash which might happen in the community.

Keywords: Organic loading rate, Mechanical pretreatment, Organic waste, Biogas

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) ที่เหมาะสม สำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ด้วยการปรับสภาพเชิงกล ในถังปฏิกริยาขนาด 1,000 L ซึ่งได้ติดตั้งเครื่องปรับสภาพเชิงกลทางด้านบนของถังปฏิกริยา ทำงานโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับวัตถุดิบตั้งต้นด้วยใบมีดบดย่อยจำนวน 6 ใบมีด ทดลองศึกษาอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ แบ่งเป็น 3 เงื่อนไข ได้แก่ OLR ที่ 1.0, 1.5 และ 2.0 kg COD/m³-day เงื่อนไขละ 20 days ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการปรับสภาพเชิงกลมีประสิทธิภาพการลดขนาดวัตถุดิบเท่ากับ 86.49% ด้วยอัตราการทำงานที่ 4 L/min หรือ 160 kg/h ระบบมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดที่เงื่อนไข OLR 2.0 kg COD/m³-day ด้วยอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด 789.30 L/day มีสภาพความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม โดยมีค่า pH เฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลองเท่ากับ 7.07 ประสิทธิภาพการกำจัด COD, TS และ VS เท่ากับ 88.64%, 89.05% และ 88.36% ตามลำดับ และสัดส่วนก๊าซมีเทนโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทดลองเท่ากับ 59.9% การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การหาอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสม ส่งผลให้การทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังช่วยให้การนำของเสียมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านพลังงานสูงสุดและยังช่วยกำจัดปริมาณขยะสะสมที่อาจเกิดขึ้นได้ค่อนข้างมากในชุมชนอีกด้วย

คำสำคัญ: อัตราการระบรทุกสารอินทรีย์, การปรับสภาพเชิงกล, ขยะอินทรีย์ ก๊าซชีวภาพ

บทนำ

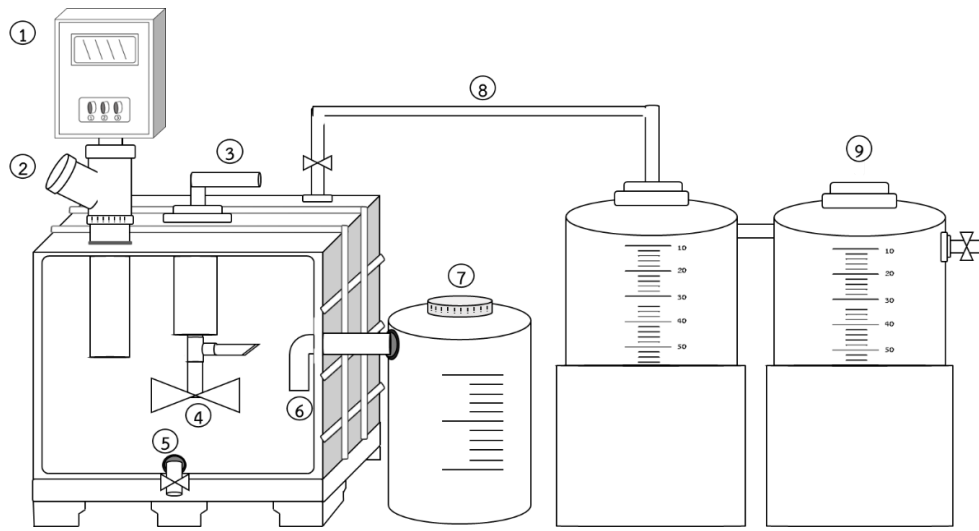
ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมส่งผลกระทบต่อมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากทั่วทุกภูมิภาค อันเนื่องมาจากการเติบโตของสังคมเมืองและจำนวนประชากรที่ขยายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดปริมาณการสะสมมากขึ้นของขยะมูลฝอยทั้งในภาคชุมชนไปจนถึงระดับประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องการบริหารจัดการด้านการคัดแยกขยะที่ไม่ถูกวิธี ส่งผลให้เกิดการเน่าเสียของขยะอินทรีย์ ซึ่งนอกจากจะทำให้การจัดการยากลำบากมากขึ้นแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อนจากการปลดปล่อยก๊าซมีเทน (CH₄) ออกสู่ชั้นบรรยากาศ นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งแพร่กระจายของเชื้อโรคอีกด้วย ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะอินทรีย์ส่วนใหญ่ในชุมชนเมือง ปัจจุบันมาจากอาหารประเภทบุฟเฟ่ต์ (Buffet) หรือให้ลูกค้าบริการตักอาหารด้วยตนเองโดยไม่จำกัดปริมาณ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปริมาณเศษอาหารเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากและยังประกอบไปด้วยอาหารจากหลากหลายประเภท จึงเป็นแหล่งที่มาของปัญหาการเน่าเสียของขยะอินทรีย์ที่ซึ่งทำให้เกิดการส่งกลิ่นเหม็นและยังเป็นแหล่งสร้างมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม จากการย่อยสลายสารอินทรีย์และปลดปล่อยก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นการเพิ่มภาวะเรือนกระจกอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ [1] นอกจากนี้ยังมีรายงานจากกรมควบคุมมลพิษระบุไว้ว่า ในปี พ.ศ.2564 จากปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด 24.98 million tons มีการกำจัดไม่ถูกต้องประมาณ 6.69 million tons ทั้งนี้ยังมีปริมาณขยะอินทรีย์ที่ปนเปื้อนกับขยะพลาสติกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง [2] ซึ่งปริมาณขยะอินทรีย์คิดเป็นสัดส่วน 64% ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดต่อคนต่อปีเท่ากับ 254 kg ทั้งนี้ตัวเลขดังกล่าวเป็นปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บโดยเทศบาลเท่านั้น ยังไม่รวมขยะอาหารหรือปริมาณอาหารส่วนเกินของภาคธุรกิจที่มีการจ้างบริษัทเอกชนบริหารจัดการ [3] ซึ่งการสร้างองค์ความรู้เรื่องการคัดแยกขยะให้ถูกวิธีในชุมชน นอกจากจะช่วยลดปัญหาในหลายด้านที่เกิดจากขยะอินทรีย์แล้ว ยังสามารถนำขยะอินทรีย์ไปใช้ต่อยอด เพื่อประโยชน์ทางด้านพลังงานที่คุ้มค่าได้อีกด้วย [4] อย่างเช่นพลังงานจากก๊าซชีวภาพเป็นเทคโนโลยีพลังงานทดแทนอย่างหนึ่งที่นิยมและแพร่หลายเป็นอย่างมากในทั่วโลก เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยตรง ซึ่งมาจากกระบวนการนำของเสียหรือขยะอินทรีย์กลับมาเข้าสู่กระบวนการบำบัดด้วยการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ โดยแหล่งวัตถุดิบ

สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพสามารถเกิดได้จากพืชพลังงาน แหล่งน้ำเสีย ฟาร์มปศุสัตว์ และขยะอินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งขยะอินทรีย์เป็นวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง จึงเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมกับการบำบัดด้วยกระบวนการแบบไร้อากาศ [5] โดยนอกจากจะช่วยในด้านกำจัดขยะในชุมชนแล้ว ยังช่วยให้เกิดการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านพลังงานอีกด้วย ทั้งนี้การปรับสภาพวัตถุดิบตั้งต้นก่อนนำเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่ง ที่มีจุดประสงค์หลักเพื่อช่วยให้ระบบมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากการปรับสภาพวัตถุดิบ ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบเปลี่ยนแปลงไป [6] นอกจากนี้ยังพบว่า การปรับสภาพทางเชิงกลเป็นวิธีเบื้องต้นที่นิยมใช้ อันเนื่องมาจากการปรับลดขนาดวัตถุดิบหรือการบดอัดเพื่อทำลายโครงสร้างเซลล์ เป็นเทคโนโลยีที่สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว โดยจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับวัตถุดิบ [7] ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพให้กับระบบได้สูงสุดถึง 25% โดยขนาดของวัตถุดิบในช่วง 0.5-1.0 mm สามารถช่วยให้ระบบเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ [8] ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพนอกจากจะช่วยบริหารจัดการการจัดการขยะภายในครัวเรือนและยังได้ใช้ประโยชน์จากพลังงานในรูปของก๊าซชีวภาพและยังได้ปุ๋ยชีวภาพที่สามารถนำไปใช้บำรุงดินได้ เป็นประโยชน์ในการรักษาสีเขียวและช่วยให้ระบบการกำจัดขยะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งนอกจากจะส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนสูงสุดแล้ว ยังช่วยให้เกิดการนำขยะอินทรีย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในด้านพลังงานอีกด้วย [9] และนอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพยังมีผลช่วยลดการเกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมภายในชุมชน เช่น มลภาวะของกลิ่น น้ำเสีย แมลงวัน และพาหะนำโรค เป็นต้น [10]

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate, OLR) ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพเชิงกล จากขยะอินทรีย์ที่ได้จากครัวเรือนร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์มูลโค ด้วยถังปฏิกรณ์ขนาด 1,000 L โดยติดตั้งเครื่องปรับสภาพเชิงกลไว้ในส่วนด้านบนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อช่วยลดขนาดวัตถุดิบตั้งต้นก่อนเข้าสู่ระบบ ดำเนินงานศึกษาเปรียบเทียบอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน เพื่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดสำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพเชิงกล โดยการคัดแยกขยะในชุมชนหรือครัวเรือนให้ถูกวิธี นอกจากจะช่วยลดปัญหาขยะอินทรีย์สะสมในชุมชนแล้ว ยังเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านพลังงานทดแทนและเป็นการลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานให้กับผู้ใช้งานได้อย่างยั่งยืนอีกด้วย

วิธีการวิจัย

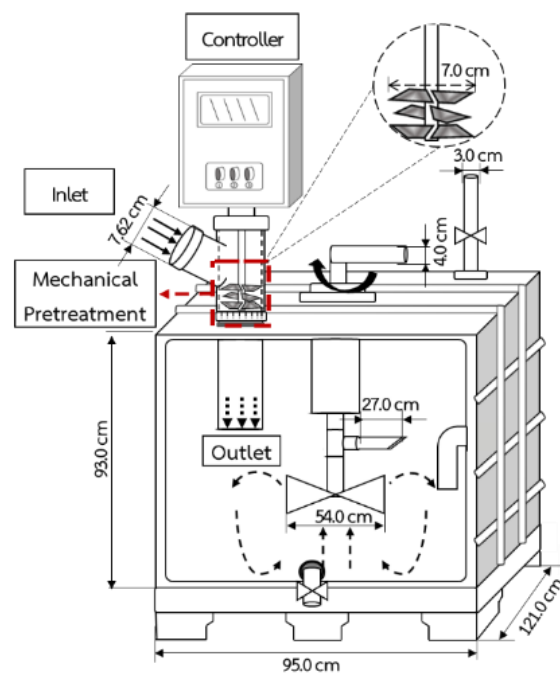
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ ที่เหมาะสม สำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพเชิงกล จากขยะอินทรีย์หมักร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์มูลโค ซึ่งได้จากชุมชนในพื้นที่อำเภอสนทราย จังหวัดเชียงใหม่ โดยในขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 เตรียมระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพเชิงกล ขั้นตอนที่ 2 ทำการวิเคราะห์วัตถุดิบเบื้องต้นทางด้านกายภาพและเคมีก่อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และขั้นตอนที่ 3 ศึกษาอัตราการระบรทุกสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันสำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพเชิงกล ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังหัวข้อต่อไปนี้



ภาพที่ 1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพเชิงกล

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพเชิงกล

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพเชิงกลแสดงดังภาพที่ 1 และ 2 โดยแสดงองค์ประกอบดังหมายเลข 1-9 ซึ่งดำเนินการทดลองโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชนิดพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) เป็นพลาสติกที่มีความหนาแน่นเป็นพิเศษ มีค่าความทนแรงกระแทก มีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อม ซึ่งทนต่อสารเคมีที่มีความเป็นกรดหรือเบสสูง มีปริมาตรทั้งหมดเท่ากับ 1,000 L และในส่วนของกรวยสลายสารอินทรีย์มีปริมาตร 800 L โดยผลของการกวนผสมในระบบดังหมายเลขที่ 3 คือ แกนกวนและหมายเลขที่ 4 คือ ใบพัดกวนผสม ด้วยหลักการกวนผสมในรูปแบบของเหลวไหลวนลงตามแกนเพลลา (Axial Flow Pattern) ทำงานโดยการดึงวัตถุดิบที่ถูกเติมจากด้านบนทางด้านช่องเติมสารอินทรีย์ที่หมายเลข 2 ลงมาด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ช่วยเพิ่มการไหลวนของสสารภายในถังปฏิกรณ์ ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการดึงเศษอาหารหรือสารแขวนลอยที่ลอยตัวอยู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์ให้เกิดการผสมระหว่างเศษอาหารกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นก๊าซชีวภาพที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังท่อนำก๊าซชีวภาพไปยังถังเก็บก๊าซชีวภาพ (หมายเลข 8-9)



ภาพที่ 2 องค์ประกอบเครื่องปรับสภาพเชิงกล

สำหรับหมายเลข 5-7 เป็นระบบสำหรับเก็บตัวอย่างกากตะกอนและน้ำล้น สำหรับเครื่องปรับสภาพด้วยแรงกล ประกอบไปด้วยชุดควบคุมหมายเลข 1 ซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ต้นแรงกำลัง ต่อกับแกนควบคุม และใบมีดตัดบด 3 ชั้น ซึ่งมีขนาดความกว้างของใบมีดเท่ากับ 2.0 cm ความยาวเท่ากับ 2.5 cm และความหนาใบมีดเท่ากับ 0.2 cm จำนวนทั้งหมด 6 ใบมีด โดยใบมีดมีขนาดความยาวรวมทั้งหมด 7.5 cm (น้ำหนักเฉพาะชุดใบมีดเท่ากับ 118 g) ซึ่งหลังจากการรวบรวมวัตถุดิบ ตั้งต้นนำมาคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ไม่สามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ ออกเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการปรับสภาพเชิงกล ซึ่งวัตถุดิบจะถูกบดย่อยให้มีขนาดของอนุภาคเล็กลง เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

วิเคราะห์วัตถุดิบเบื้องต้นทางด้านกายภาพและทางด้านเคมี

ดำเนินการวิจัยโดยทดสอบองค์ประกอบของขยะอินทรีย์ที่รวบรวมได้จากเศษอาหารเหลือทิ้งในชุมชน โดยนำเอาวัตถุดิบตั้งต้นที่ได้เริ่มโดยการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ไม่สามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ออก ก่อนนำเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพอย่างเช่น เศษไม้ เศษกระดูก เศษขยะพลาสติก เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 3 (ก.) ลักษณะของวัตถุดิบตั้งต้นก่อนการปรับสภาพ ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้เป็นขยะอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนมาแล้วเบื้องต้น มีลักษณะเปียกเล็กน้อย ทั้งนี้ องค์ประกอบของวัตถุดิบที่นำมาใช้ประกอบไปด้วย ข้าว เส้นบะหมี่ไข่ เนื้อสัตว์ เนื้อสัตว์แปรรูป และพืชผักหลายชนิด โดยขนาดของวัตถุดิบมีขนาดใหญ่ ซึ่งมีความกว้างประมาณ 1.0-4.0 cm และมีความยาวอยู่ในช่วง 1.0-6.0 cm วัตถุดิบอาหารส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ อย่างเช่นสารชีวโมเลกุลประเภท ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต จากนั้นนำเข้าสู่ขั้นตอนการปรับสภาพเชิงกลและทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่อไป



(ก.) ก่อนปรับสภาพ



(ข.) หลังปรับสภาพเชิงกล

ภาพที่ 3 วัตถุดิบขยะอินทรีย์ตั้งต้นจากครัวเรือน

ทดลองศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบปรับสภาพเชิงกล

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพทดลองในสภาวะไร้อากาศ ณ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยเริ่มต้นระบบด้วยการจัดเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโคในชุมชน จากนั้นนำหัวเชื้อมูลโคผสมน้ำในอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ทำการเติมเข้าสู่ถังปฏิกิริยาและกวนผสมให้เข้ากัน จากนั้นพักระบบไว้เป็นระยะเวลา 7 days เพื่อให้ระบบมีการสร้างจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน จากนั้นรวบรวมวัตถุดิบมาคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ออกก่อน เช่น เศษไม้ ขยะพลาสติก กระดูกสัตว์ เป็นต้น จากนั้นป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยผ่านเข้าสู่กระบวนการปรับสภาพเชิงกลเพื่อลดขนาดวัตถุดิบก่อนเข้าสู่ปฏิกิริยาการย่อยสลายของแบคทีเรียต่อไป ซึ่งรูปแบบการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง

(Semi-Continuous Fermentation) โดยเปรียบเทียบศักยภาพกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบด้วยอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate: OLR) ที่แตกต่างกัน 3 เงื่อนไข ได้แก่ ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ด้วยค่า OLR เท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 kg COD/m³-day โดยกำหนดให้เป็น R1, R2 และ R3 ตามลำดับ ทดลองระยะเวลาเงื่อนไข 20 days และกวนผสมวันละ 1 ครั้ง พร้อมกับการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ จากนั้นเก็บตัวอย่างสำหรับนำไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบ ได้แก่ ค่าปริมาณสารอินทรีย์หรือค่า COD (Chemical Oxygen Demand), ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ปริมาณของแข็งรวม (Total Solids), ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Volume), ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (Biogas Composition) และปริมาณมีเทน (CH₄) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิเคราะห์ห้องค์ประกอบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์	วัตถุประสงค์	หน่วย
COD (Chemical Oxygen Demand)	ปริมาณสารอินทรีย์	mg/L
pH Value	ความเป็นกรด-เบส	-
TS (Total Solid)	ปริมาณของแข็งรวม	mg/L
VS (Volatile Solid)	ปริมาณสารระเหยง่าย	mg/L
VFA (Volatile Fatty Acid)	การยับยั้งปฏิกิริยา	mg CH ₃ COOH/L
ALK (Alkalinity)	การต้านการยับยั้งปฏิกิริยา	mg CaCO ₃ /L
Biogas Volume	ปริมาณก๊าซชีวภาพ	L
Biogas Composition	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	%

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

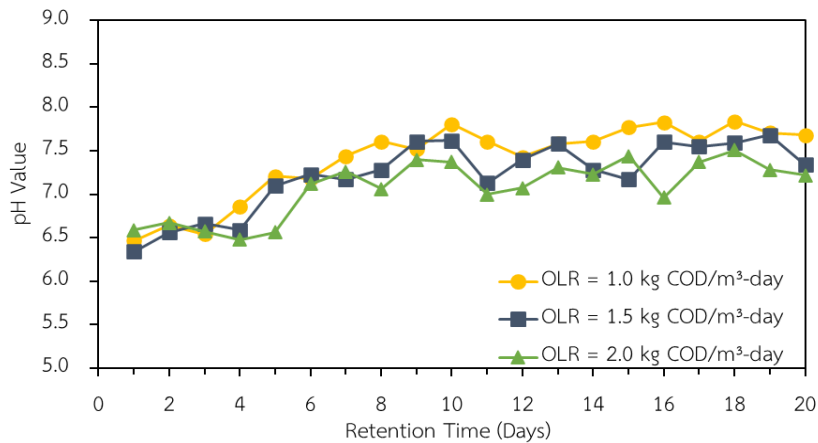
สำหรับผลการศึกษาและการรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษขยะอินทรีย์ประเภทที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนทิ้ง ร่วมกับการปรับสภาพเชิงกล โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย คือ ขยะอินทรีย์ ที่รวบรวมได้จากในพื้นที่อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ และหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ คือ มูลโค รวบรวมได้จากฟาร์มในชุมชน ทดลองด้วยกระบวนการแบบกึ่งต่อเนื่องในถังปฏิกรณ์ขนาด 1,000 L ที่มีสัดส่วนของการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 800 L ซึ่งผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีเบื้องต้นของวัตถุดิบก่อนและหลังการปรับสภาพเชิงกล และหัวเชื้อจุลินทรีย์จากมูลโค แสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบ

คุณสมบัติ	วัตถุดิบในการดำเนินงานวิจัย		
	วัตถุดิบตั้งต้น	หัวเชื้อจุลินทรีย์	หน่วย
COD (Chemical Oxygen Demand)	110.93	62.50	g/L
pH value	4.92	7.14	-
TS (Total Solid)	53.0	62.0	g/L
VS (Volatile Solid)	50.0	54.0	g/L
VS/TS Ratio	0.94	0.64	-
Volatile Fatty Acid (VFA)	2,037.27	1,928.67	mg/L
Alkalinity (ALK)	3,824.50	3,941.50	mg/L
VFA/ALK	0.53	0.49	-
Density	729.0	486.0	kg/m ³

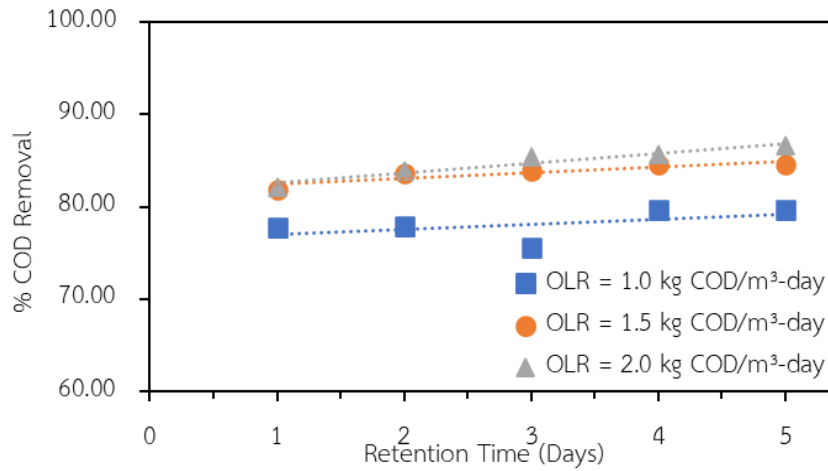
จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบขยะอินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพเชิงกลแล้ว มีค่า COD เท่ากับ 110.93 g/L ซึ่งมีความเข้มข้นสูงสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีค่า pH เท่ากับ 4.92 ซึ่งวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการทำอาหารมาแล้ว จึงทำให้มีค่า pH ต่ำ หรือมีความเป็นกรดอ่อน ๆ [11] ซึ่งเกิดจากวัตถุดิบที่รวบรวมขึ้นเกิดการหมักเบื้องต้นแล้ว จึงทำให้มีอัตราการผลิตกรดอะซิติก (Acetic Acid) และกรดบิวทีริก (Butyric Acid) ที่เพิ่มสูงขึ้นของจุลินทรีย์องค์ประกอบเหล่านี้มีส่วนสำคัญต่อจุลินทรีย์ในกระบวนการสร้างกรด ภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศ [12] ทั้งนี้พบว่า การนำวัตถุดิบผ่านการปรับสภาพเชิงกล อาจส่งผลให้พารามิเตอร์ทางเคมีของวัตถุดิบเปลี่ยนไป [13] วัตถุดิบมีปริมาณของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยง่ายที่ค่า TS และ VS เท่ากับ 53.0 g/L และ 50.0 g/L ตามลำดับ ซึ่งมีสัดส่วนของ VS/TS Ratio เท่ากับ 0.94 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่อยู่ในเกณฑ์เหมาะสมสำหรับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยอัตราส่วนของ VS/TS Ratio อยู่ในช่วง 0.69-0.95 จะส่งผลให้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ [14] เห็นได้ว่าวัตถุดิบตั้งต้นที่ผ่านการปรับสภาพ นอกจากจะส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนไปแล้ว ยังพบการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีอีกด้วย [12] ทั้งนี้ยังเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้จุลินทรีย์เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) [15]

จากการปรับสภาพเชิงกลของวัตถุดิบตั้งต้น ก่อนนำเข้าสู่ระบบมีความกว้างอยู่ในช่วง 1.0–4.0 cm และมีความยาวอยู่ในช่วง 1.0–6.0 cm หลังจากการนำวัตถุดิบตั้งต้นผ่านกระบวนการปรับสภาพเชิงกลเรียบร้อยแล้ว สามารถลดขนาดวัตถุดิบให้มีขนาดอนุภาคเล็กลงอยู่ในช่วง 0.1-1.0 cm ทั้งนี้การลดขนาดของขยะอินทรีย์โดยการออกแบบเครื่องปรับสภาพที่ช่วยลดขนาดวัตถุดิบที่เหมาะสมควรมีขนาดของวัตถุดิบหลังการปรับสภาพเชิงกลอยู่ในช่วง 1.0 cm บ่งบอกถึงทำงานและการลดขนาดวัตถุดิบของเครื่องปรับสภาพเชิงกลที่มีประสิทธิภาพ [16] แสดงลักษณะดังภาพที่ 3 (ข) ของขยะอินทรีย์หลังผ่านการปรับสภาพเชิงกลจากการดำเนินงานวิจัย โดยวัตถุดิบขยะอินทรีย์ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบไปด้วยสารชีวโมเลกุลประเภท ไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ซึ่งช่วยกระตุ้นจุลินทรีย์ให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วขึ้นในลักษณะของโครงสร้างโมเลกุลที่เล็กลง เช่น กรดไขมัน กรดอะมิโน กลูโคส เป็นต้น [15] การปรับสภาพเชิงกลก่อนการนำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ช่วยให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous) และเพิ่มพื้นที่ผิว ที่ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ [17] และสำหรับผลจากการทดสอบศักยภาพการทำงานของเครื่องปรับสภาพเชิงกลที่ออกแบบจากงานวิจัยนี้ โดยจากการวิเคราะห์ห่มวลของวัตถุดิบขยะอินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเครื่องปรับสภาพเชิงกลพบว่า จากการทดลองลดขนาดวัตถุดิบขยะอินทรีย์ที่ได้จากชุมชน สามารถลดขนาดอนุภาคของวัตถุดิบให้มีขนาดอยู่ในช่วงความกว้างเท่ากับ 0.1-1.0 cm และมีความยาวอยู่ในช่วง 0.1-1.0 cm แสดงให้เห็นว่าระบบปรับสภาพเชิงกล มีประสิทธิภาพการลดขนาดวัตถุดิบ ซึ่งการลดขนาดวัตถุดิบให้มีขนาด 1.0 cm หรือ 10.0 mm ถือว่าเพียงพอต่อการนำไปป้อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ [8] ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์แล้ว ยังช่วยลดต้นทุนทางพลังงานที่มากเกินความจำเป็นอีกด้วย สำหรับการลดขนาดวัตถุดิบด้วยเชิงกล ซึ่งผลการศึกษาประสิทธิภาพกระบวนการปรับสภาพเชิงกล จากการวิเคราะห์ตัวอย่างวัตถุดิบที่ได้จากการปรับสภาพเชิงกลในปริมาณ 200 g พบว่ามีประสิทธิภาพการลดขนาดเท่ากับ 86.49% ด้วยอัตราการทำงานเท่ากับ 160 kg/h หรือที่อัตราการป้อน 4.0 L/min โดยช่วงของอัตราการทำงานอยู่ในรอบการทำงานที่เหมาะสมกับเครื่องบดย่อยขนาดเล็ก ซึ่งถ้าเพิ่มอัตราการทำงานที่สูงขึ้น โดยไม่สัมพันธ์กับรอบการทำงานของมอเตอร์ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดย่อยลดลง [17] รวมไปถึงประสิทธิภาพการลดขนาดจะลดลงไปด้วยเช่นกัน ทั้งนี้การลดขนาดอนุภาคของวัตถุดิบยังมีส่วนสำคัญสำหรับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจะช่วยเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซมีเทนและก๊าซชีวภาพอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด [7]



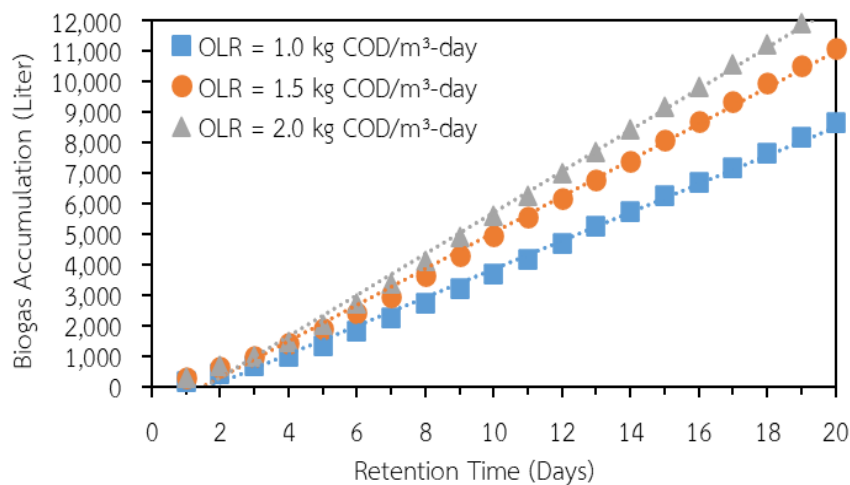
ภาพที่ 5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพเชิงกล

การศึกษาการดำเนินงานวิจัยระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ด้วยการปรับสภาพเชิงกล จากภาพที่ 5 แสดงการตรวจวัดค่า pH จากน้ำตัวอย่างที่ท่อน้ำล้น โดยที่ค่า pH ของวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับเงื่อนไขการทดลอง R1, R2 และ R3 หรือที่ค่า OLR เท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 kg COD/m³-day มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.47–7.84, 6.34–7.68 และ 6.48–7.51 ตามลำดับ ตลอดระยะเวลาการทดลองตามเงื่อนไขภายใน HRT 20 days โดยมีค่าเฉลี่ยของค่า pH สำหรับวัตถุดิบตั้งต้นที่ผ่านการปรับสภาพเชิงกลเรียบร้อยแล้ว ซึ่งก่อนเดิมเข้าสู่ระบบสำหรับเงื่อนไข R1, R2 และ R3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.40, 7.22 และ 7.07 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในช่วง 1 ถึง 4 วันแรก ค่า pH ในระบบมีความเป็นกรดสูง เนื่องจากมีปริมาณของกรดอะซิติกเพิ่มสูงขึ้น [19] ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ให้อยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย โดยถ้าในระบบมีค่า pH ต่ำกว่า 6.2 จะทำให้จุลินทรีย์สร้างมีเทนหยุดการเจริญเติบโตได้ แต่ถ้าระบบมีค่าความเป็นด่างมากเกินไป จะส่งผลให้ระบบเกิดความเข้มข้นของแอมโมเนียมากขึ้นและเป็นพิษต่อจุลินทรีย์สร้างมีเทน ซึ่งทำให้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพล้มเหลวได้ [20] จากผลการศึกษาค่า pH ของทุกเงื่อนไขพบว่า เงื่อนไข R1 หรือ OLR ที่ 1.0 kg COD/m³-day มีค่าของความเป็นด่างสูงมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าการบ่อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยเกินไป ซึ่งไม่สอดคล้องกับปริมาณของถังปฏิกริยา จึงเกิดการเสียสมดุลระหว่างจุลินทรีย์หัวเชื้อกับวัตถุดิบสารอินทรีย์ [21] ซึ่งส่งผลให้ระบบอาจผลิตก๊าซชีวภาพได้น้อยลงหรืออาจเกิดความล้มเหลวต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้ อันเนื่องมาจากระบบสะสมสภาพความเป็นด่างมากเกินไป [20] จากผลการศึกษาพบว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพเชิงกลสามารถรองรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง โดยที่ค่า OLR เท่ากับ 2.0 kg COD/m³-day พบว่ามีสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัยเท่ากับ 7.07 โดยค่า pH ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมควรมีค่า pH เท่ากับ 7.00 [9] เนื่องจากส่งผลดีต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ



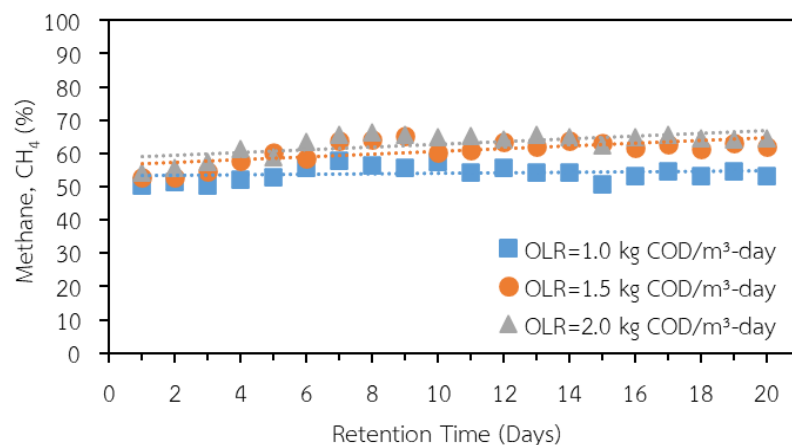
ภาพที่ 6 ปริมาณการกำจัด COD ของระบบ

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต้องใช้ สำหรับการย่อยสลายทางเคมีของสารอินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์ โดยที่มีปริมาณ COD ของวัตถุดิบขาเข้าอยู่ในช่วง 110.67 g/L จากภาพที่ 6 แสดงปริมาณการกำจัดค่า COD จากระบบทั้ง 3 เงื่อนไข ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่า เงื่อนไข R3 หรือ OLR ที่ 2.0 kg COD/m³-day มีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัด COD อยู่ที่ 83.19% ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงสุดเท่ากับ 88.64% รองลงมาได้แก่ R2 และ R1 มีปริมาณการกำจัด COD โดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 81.05% และ 75.89% ของปริมาณสารอินทรีย์ที่กำจัดได้ ตามลำดับ ซึ่งการปรับสภาพมีผลต่อโครงสร้างของวัตถุดิบที่เปลี่ยนไป การที่ขนาดของวัตถุดิบลดลง จะช่วยให้กระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ [22] นอกจากนี้ช่วยให้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างต่อเนื่องแล้ว ยังทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงตามไปด้วย [9] ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ เนื่องด้วยถ้าระบบมีอัตราการป้อน COD ต่อวัน ที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปความเหมาะสมกับปริมาตรของถังปฏิกรณ์ และปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ เช่นนั้นจะส่งผลให้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพการกำจัด COD ที่ลดลงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ [23]



ภาพที่ 7 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมตลอดระยะเวลาการทดลอง

จากภาพที่ 7 ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่า เงื่อนไขที่ R1, R2 และ R3 หรือค่า OLR เท่ากับ 1.0 1.5 และ 2.0 kg COD/m³-day ตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัยเงื่อนไขละ 20 days สรุปได้ว่า ระบบมีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 8.64 11.12 และ 12.52 m³ ตามลำดับ ซึ่งแสดงศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมของระบบทุกเงื่อนไข พบว่าเงื่อนไขที่ OLR 2.0 kg COD/m³ มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมต่อเนื่องสูงสุด ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพในครัวเรือนที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งวัตถุดิบขยะอินทรีย์จากเศษอาหาร มีสารประกอบที่มาจากแหล่งอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตสูง จึงสามารถช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด ส่งผลให้ระบบมีปริมาณก๊าซชีวภาพที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตเจือปนในปริมาณสูง สามารถเร่งอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] นอกจากนี้การปรับสภาพทางเชิงกลส่งผลให้ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบลดลงแล้ว เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์เป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และนอกจากนี้ยังมีมีส่วนช่วยให้เกิดอัตราการสร้างมีเทนของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอีกด้วย [24]



ภาพที่ 8 ปริมาณร้อยละก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบ

องค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดจากวัตถุดิบประเภทขยะอินทรีย์ จะมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนเท่ากับ 50-70% [25] โดยจากการดำเนินงานวิจัยเปรียบเทียบอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ที่วัตถุดิบผ่านกระบวนการปรับสภาพเชิงกล จากภาพที่ 6 แสดงปริมาณของก๊าซมีเทนในรูปแบบร้อยละ โดยจากผลงานวิจัยที่ได้จากเงื่อนไขการทดลองที่ค่า OLR เท่ากับ 1.0 1.5 และ 2.0 kg COD/m³-day ซึ่งมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 52.0, 58.7 และ 59.9% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบก๊าซมีเทนสำหรับค่า OLR เท่ากับ 1.5 และ 2.0 kg COD/m³-day มีค่าใกล้เคียงกัน โดยการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ อย่างไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ให้มีขนาดโครงสร้างโมเลกุลเล็กลงสามารถละลายน้ำได้ เช่น กรดไขมัน กรดอะมิโน กลูโคส เป็นต้น ส่งผลให้จุลินทรีย์นำไปใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนได้มีประสิทธิภาพได้ดียิ่งขึ้น [26] และเศษอาหารที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นสารอินทรีย์ที่มีสารประกอบคาร์โบไฮเดรตสูง มีผลโดยตรงต่อปริมาณการเกิดก๊าซ เนื่องจากแบคทีเรียทำการย่อยสลาย และใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด [5] ทั้งนี้ยังพบว่า การปรับสภาพวัตถุดิบด้วยกระบวนการเชิงกลที่ได้ขนาดวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากจะช่วยให้เพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของจุลินทรีย์แล้ว ยังมีมีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการเกิดก๊าซมีเทนและช่วยให้ก๊าซชีวภาพมีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย [8]

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอัตราการบำบัดทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ด้วยการปรับสภาพเชิงกล โดยใช้ถังปฏิกรณ์ปริมาตรรวมทั้งหมด 1,000 L ทดลองภายใต้สภาวะไร้อากาศ ณ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม รูปแบบของการบ่อนสารอินทรีย์เป็นประเภทกึ่งต่อเนื่อง วัตถุประสงค์ตั้งต้นที่ใช้ คือ ขยะอินทรีย์จากครัวเรือนและหัวเชื้อจุลินทรีย์มูลโค ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ระบบปรับสภาพเชิงกลสามารถลดขนาดของวัตถุดิบให้มีขนาดอยู่ในช่วง 0.1–1.0 cm มีประสิทธิภาพการลดขนาดวัตถุดิบเท่ากับ 86.49% ด้วยอัตราการทำงาน 160 kg/h หรือ 4.0 L/min และจากการทดลองเปรียบเทียบปริมาณการเติมวัตถุดิบที่เหมาะสม พบว่าเงื่อนไขที่มีค่า OLR เท่ากับ 2.0 kg COD/m³-day มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุด เนื่องจากมีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุดเท่ากับ 0.79 m³ และมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงสุดเท่ากับ 88.64% และสามารถกำจัดปริมาณ TS และ VS ได้สูงสุดถึง 89.05% และ 88.36% ของปริมาณของแข็งและของแข็งระเหยที่กำจัดได้ทั้งหมด ทั้งนี้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพเชิงกลสามารถรองรับค่าภาระบตรทุกสารอินทรีย์ได้สูง เนื่องมาจากเป็นระบบการบ่อนสารอินทรีย์เป็นแบบต่อเนื่อง มีการกวนผสมร่วมด้วยในระบบ และปรับสภาพวัตถุดิบด้วยเชิงกลก่อนเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งการปรับสภาพเชิงกลเป็นวิธีการปรับสภาพเบื้องต้นที่สามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็วและมีขั้นตอนการทำงานที่ไม่ซับซ้อน สามารถใช้ได้ทั้งในระดับครัวเรือนและยังประยุกต์ใช้ได้ไปจนถึงระดับอุตสาหกรรม ทั้งนี้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพด้วยการปรับสภาพเชิงกล นอกจากจะช่วยกำจัดปริมาณขยะสะสมที่อาจเกิดขึ้นได้ค่อนข้างมากในชุมชนแล้ว ยังช่วยให้เกิดการนำขยะอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ด้านพลังงานทดแทนในครัวเรือนในรูปแบบของก๊าซหุงต้มได้อย่างยั่งยืนอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจาก “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2561” และขอขอบพระคุณทุนสนับสนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา “ทุนพัฒนาเส้นทางอาชีพนักวิจัยและนวัตกรรม ประเภททุนพัฒนาบัณฑิตศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2563” จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ทุนสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัย ซึ่งช่วยให้งานวิจัยดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] IRENA. (2017). “Biogas for domestic cooking: Technology brief”. International Renewable Energy Agency: Abu Dhabi.
- [2] Pollution Control Department. (2021). “In 2021, Solid Waste will Decrease, While Infectious Waste and Hazardous Waste will Increase”. Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment.
- [3] TDRI. (2019). “Research on Food Waste Management Methods Suitable for Thailand”. Thailand Development Research Institute.
- [4] Srisuwannaket, T., and Liumpetch, C. (2019). “Tackling Thailand's food-waste crisis”. Thailand Development Research Institute (TDRI).
- [5] Markphan, W., Tipruk, U., Sansee, T., Kaewdam S., and Suksong, W. (2020). “Biogas Production from Food Waste by Anaerobic Digestion”. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*. 22 (3), 116-122.

- [6] Montgomery, F.R.L., and Bochmann, G. (2014). **“Pretreatment of feedstock for enhanced biogas production”**. British: IEA Bioenergy Publishers.
- [7] Sebola, M., Tesfagiorgis, H., and Muzenda, E. (2015). “Effect of particle size on anaerobic digestion of different feedstocks”. **South African Journal of Chemical Engineering**. 20 (3), 11-26.
- [8] Józef S., et al. (2018). “Effect of Mechanical Pre-Treatment of the Agricultural Substrates on Yield of Biogas and Kinetics of Anaerobic Digestion”. **Sustainability**. 10 (10), 3669.
- [9] Pongsak, S., Piasai, C., Porndon, T., Boontian, N., and Padri, M. (2020). “Organic Loading Rate for Maximum Biogas Production from Dairy Cattle Manure Wastewater at Suranaree University of Technology”. **KKU Research Journal (Graduate Studies)**. 20 (3), 74-85.
- [10] Chaiprapat, S., and Boonsawang, P. (2017). **“Biogas Production from Banana Waste using High Solid Digestion System for Banana Drying Process”**. Prince of Songkla University, Hat Yai Campus
- [11] Panyadee, S. (2013). “Biogas production from anaerobic co-digestion of food waste and *Phyllanthus emblica* residues”. **Thai Environmental Engineering Journal**. 27 (1-2), 33-42.
- [12] Kittipongpattana, K., Kanchanasuta, S., and Polprasert, S. (2018). “Enhancement of Utilization of Decanter Cake and Crude Glycerol in Biogas Co-fermentation”. **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**. 13 (2), 16-33.
- [13] Intanoo, P., and Tankam, J. (2017). “Anaerobic Digestion of Concentrated Food Waste in Biogas Production System”. **RMUTP Research Journal**, 11 (1), 92-101.
- [14] Aditi, D., et al. (2018). “Thermophilic anaerobic digestion: enhanced and sustainable methane production from co-digestion of food and lignocellulosic wastes”. **Energy**. 11, 2058, 1-13.
- [15] Laikaew, N., Kuster, A. T., Junggoth, R., Pitaksanurat, S., and Claus, R. (2017). “The Effectiveness of Pancreatin Enzyme in Biogas Fermentation from Household Waste”. **The National and International Graduate Research Conference**. 1094-1103.
- [16] Sucipto, A., et al. (2020). “Design and fabrication of multipurpose organic chopper machine”. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering**. 725, 012021.
- [17] FNA, Saragih, et al, (2019). “The effectiveness of anaerobic digestion process by thermal pre-treatment on food waste as a substrate”. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. 251, 012014.
- [18] Khandke G. (2015). **“Design and Development of Kitchen Waste Shredder for Compost Production”**. Master of Technology University of Agricultural Sciences, Bengaluru.
- [19] Piasai, C., Boontian, N., Yingchon, U., Phorndon, T., and Padr, M. (2018). “Optimum Conditions to Produce Acetic Acid from Various Excess Sludge for Using in Biological Phosphorus Removal Processes”. **Thai Science and Technology Journal (TSTJ)**. 28 (2), 274-293.
- [20] Akunna C. Joseph. (2019). **“Anaerobic Waste–Wastewater Treatment and Biogas Plants”**. A Practical Handbook. Taylor and Francis Group, LLC Publishers
- [21] Sutarut, P., Chobbun, S., Witthajitsomboon, N., Deachana, A. (2017). **“The Development of Biogas Generating Tank from Organic Waste”**. Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University.

- [22] Sungkasudi, P., Rachdawong, P., and Nuengjamnong, C. (2016). "Physical Pretreatment of Water Hyacinth for Biogas Production". **Thai Environmental Engineering Journal**. 30 (2), 9-18.
- [23] Kessara S., Twarath S., and Sumaeth C., (2018). "The Effect of Temperature on the Methanogenic Activity in Relation to Micronutrient Availability". **Energies**. 11, 1057.
- [24] Mitraka, G.-C., Kontogiannopoulos, K.N., Batsioulas, M., Baniyas, G.F., Zouboulis, A.I., Kougias, P.G. (2022). "A Comprehensive Review on Pretreatment Methods for Enhanced Biogas Production from Sewage Sludge". **Energies**. 15, 6536.
- [25] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2017). "**Thailand Alternative Energy Situation 2017**". Alternative Energy and Efficiency Information Center: Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy.
- [26] Bumrerpong, P., Penchai, P., and Ongwandee, M. (2013). "Effect of Organic Loading Rate on Methane Production and Methane Production Inhibitors in Food Waste using a Two-stage Digester". **Journal of Science and Technology Maharakham University**. 33 (1), 8-12.

การพัฒนาเครื่องผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารแบบยั่งยืนจากวัสดุธรรมชาติในท้องถิ่น
โดยใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งความร้อน

Development of Sustainable Food Packaging Machine from Local Natural Materials
using Renewable Energy as Heat Source

กังสดาล สกุลพงษ์มาลี^{1*} ปองพล รักการงาน¹ ชลิตล อินยาศรี¹ ชลาลัย วงเวียน² และ อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก²
Kangsadan Sagulpongmalee^{1*} Pongphol Rakkanrane¹ Chaleedol Inyasri¹ Chalalai Wongwian²
and Alongkorn Chatmuangpak²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 38 หมู่ 8 ตำบลนาุ้ง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

² สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 38 หมู่ 8 ตำบลนาุ้ง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

¹Division of Energy Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology
Phetchaburi Rajabhat University 38 Mu.8 Nawung Phetchaburi 76000

²Division of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology
Phetchaburi Rajabhat University 38 Mu.8 Nawung Phetchaburi 76000

¹Corresponding author: Tel.: 032-405502. E-mail address: pongphol.rak@mail.pbru.ac.th

Received: 20 April 2023, Revised: 19 May 2023, Accepted: 14 June 2023, Published online: 30 April 2024

Abstract

This research is to develop and design container forming machine using natural material (Hom Thong banana's leaf). In the design concept, this machine is using renewable energy as a heat source for the molding process. The upper mold is heated an electric heater, which was supplied by a 300 W solar PV panel, and a biomass furnace heated the lower mold. The binder ratio test of container compression found that 200 g of tapioca starch and 500 g of water, was the binder that the molded container had the least deformation. In addition, the appropriate temperature and time test of container compression found that the upper mold temperature was 80°C and the lower mold temperature was 150°C, and the compression time was 4 minutes. The test of the use of compression-molded containers from the change in the diameter of the container found that the container could remain in the original condition for about 3 hours, the average water absorption of the container equal to 13.1% and could twice heat resistance without changing the diameter.

Keywords: Natural food containers, Sustainable packaging, Container forming Machine, Renewable energy

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและออกแบบเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติในท้องถิ่น (ใบตองกล้วยหอมทอง) ซึ่งแนวคิดในการออกแบบเครื่องจะใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งความร้อนสำหรับกระบวนการขึ้นรูป โดยแม่พิมพ์บนจะส่งผ่านความร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์ และแม่พิมพ์ล่างจะได้รับความร้อนจากเตาชีวมวล จากการทดสอบอัตราส่วนตัวประสานของการอัดขึ้นรูปภาชนะ พบว่า แป้งมันสำปะหลัง 200 กรัม กับ น้ำ 500 กรัม เป็นตัวประสานที่ทำให้ภาชนะขึ้นรูปมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยที่สุด นอกจากนี้ จากการทดสอบอุณหภูมิและเวลาของการอัดขึ้นรูปภาชนะที่เหมาะสม เท่ากับ อุณหภูมิแม่พิมพ์บน 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแม่พิมพ์ล่าง 150 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 4 นาที จากการทดสอบการใช้งานของภาชนะที่อัดขึ้นรูปโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะ พบว่า ภาชนะสามารถคงสภาพได้ประมาณ 3 ชั่วโมง ภาชนะมีค่าเฉลี่ยปริมาณการดูดซึมน้ำ เท่ากับ ร้อยละ 13.1 และภาชนะสามารถทนความร้อนได้ไม่เกินสองครั้งโดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลาง

คำสำคัญ: ภาชนะอาหารจากวัสดุธรรมชาติ, บรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืน, เครื่องขึ้นรูปภาชนะ, พลังงานหมุนเวียน

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกมีการขยายตัวของชุมชนเมืองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ประชากรมีความต้องการสินค้าทั้งอุปโภคและบริโภคเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์อาหารที่เป็นพลาสติกอยู่ในประเภทใช้แล้วทิ้ง เพื่ออำนวยความสะดวกและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีบทบาทมากในชีวิตประจำวันของมนุษย์เพราะมีต้นทุนการผลิตต่ำ จึงถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง และมีแนวโน้มการใช้งานในด้านต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอีกทั้งมีเทคโนโลยีหรือนวัตกรรมใหม่ ๆ ที่สามารถผลิตพลาสติกให้มีคุณสมบัติตามความต้องการได้อย่างหลากหลาย แต่ในทางตรงกันข้ามสารประกอบในพลาสติกบางชนิดก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เพราะในกระบวนการผลิตพลาสติกจะมีการเพิ่มสารเติมแต่งบางชนิดลงไป เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก สารคงสภาพพลาสติก สารยับยั้งปฏิกิริยา และสารสีต่าง ๆ เป็นต้น ดังนั้น ภาชนะที่ทำจากวัสดุธรรมชาติจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการแก้ปัญหา เนื่องจากภาชนะจำพวกนี้สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติในเวลาไม่นาน หากสามารถออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ทำจากวัสดุธรรมชาติจะสามารถนำมาใช้ทดแทนพลาสติกได้ก็จะทำให้ประเทศชาติประหยัดเงินในการกำจัดขยะที่เกิดจากพลาสติกได้อีกมากและส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในอนาคต จากการสำรวจของผู้ที่ผลิตภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ [1-2] พบว่า ภาชนะที่ผ่านการขึ้นรูปนั้นสามารถใช้งานได้จริง กระบวนการในการผลิตไม่ซับซ้อน และช่วยในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม แต่เครื่องที่ใช้ในการขึ้นรูปภาชนะนั้นมีราคาเครื่องค่อนข้างสูงและมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการผลิตภาชนะมาก การขึ้นรูปภาชนะเพื่อจำหน่ายทางธุรกิจจะมีระยะเวลาดำเนินการมากอาจไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาและออกแบบเครื่องขึ้นรูปภาชนะโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานชีวมวลเป็นแหล่งความร้อนสำหรับการขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ ศึกษาอัตราส่วนของตัวประสานในการขึ้นรูปภาชนะ ทดสอบสมบัติทางกายภาพของภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ และประยุกต์ใช้ในงานประดิษฐ์ภาชนะสำหรับบรรจุอาหารเพื่อลดปัญหาขยะและลดปัญหาในการย่อยสลายเพราะวัสดุธรรมชาติสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นการลดการใช้พลังงานในรูปแบบฟอสซิล โดยนวัตกรรมนี้ส่งเสริมการใช้ภาชนะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมให้แพร่หลาย ผู้บริโภคมีหลายทางเลือกในการใช้ภาชนะไปไม้แทนจานชามพลาสติก

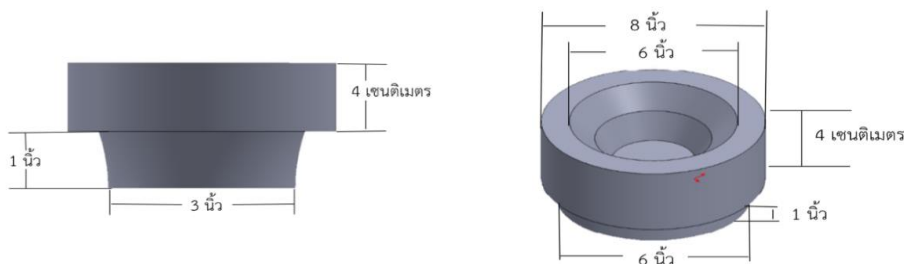
วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากธรรมชาติโดยใช้พลังงานหมุนเวียน [3-6] โดยส่วนประกอบของเครื่องขึ้นรูป คือ แผ่นเหล็กสองชุดทำหน้าที่เป็นแม่พิมพ์ซึ่งแผ่นหนึ่งจะเคลื่อนขึ้นลงได้ อีกแผ่นหนึ่งจะถูกยึดติดอยู่กับที่ให้ ความร้อนโดยขดลวดความร้อน โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนสำหรับแม่พิมพ์บน และความร้อน จากเตาชีวมวลให้แก่แม่พิมพ์ล่าง ซึ่งโครงสร้างของอุปกรณ์ใช้เหล็กกล้าพาโนซ์แบบกล่องขนาดขนาด 1.5 นิ้ว x 1.5 นิ้ว ส่วน ผนังใช้แผ่นสแตนเลส 304 หนา 1.0 มิลลิเมตร ขนาดความกว้าง 0.75 เมตร ความยาว 1.20 เมตร และความสูง 2 เมตร โดย หลังคาใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์ ดังภาพที่ 1

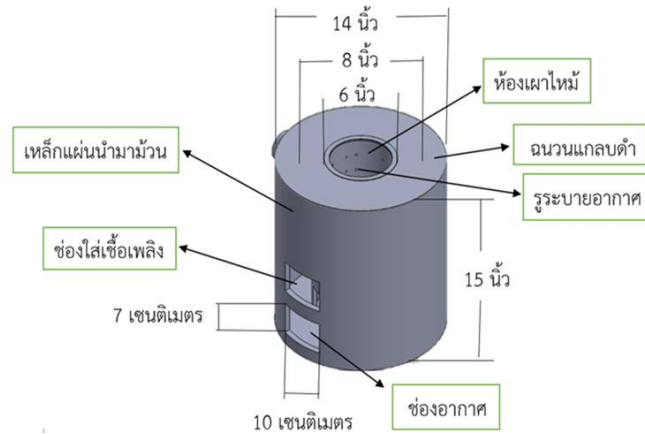


ภาพที่ 1 เครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติโดยใช้พลังงานหมุนเวียน

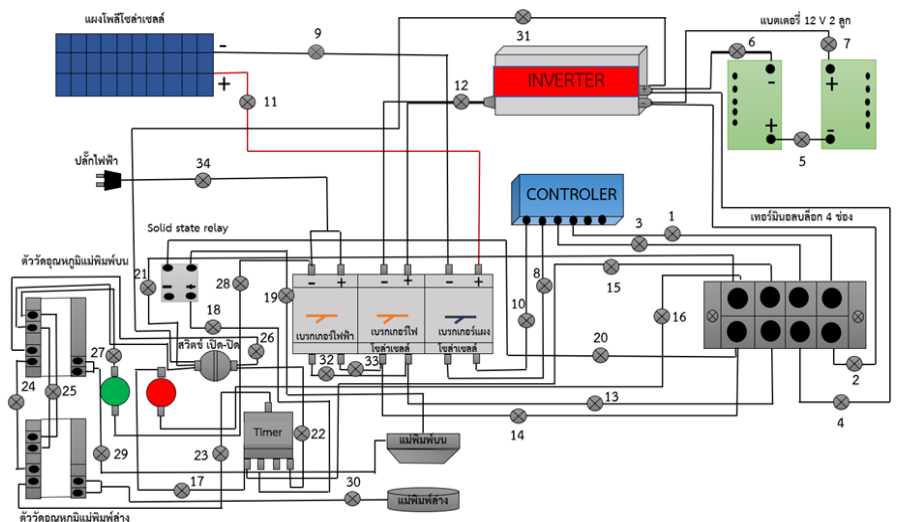
เครื่องขึ้นรูปภาชนะจากธรรมชาติโดยใช้พลังงานหมุนเวียนได้มีการออกแบบแม่พิมพ์บนและแม่พิมพ์ล่างที่มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว โดยได้เลือกใช้วัสดุในการทำแม่พิมพ์เป็นอลูมิเนียมเกรด 6063 ด้านทานการกัดกร่อนได้ดี ดัง ภาพที่ 2 ส่วนการออกแบบเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงแบบใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อเป็นแหล่งความร้อนให้กับแม่พิมพ์ล่าง เป็นเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลขึ้น (Up-draft Gasifier) โดยมีลักษณะเป็นเตาผนัง 2 ชั้น ดังภาพที่ 3 สำหรับแม่พิมพ์บนจะ ได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าซึ่งได้พลังงานไฟฟ้ามาจากเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ ขนาด 300 วัตต์(กำลัง) ผลิตพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงแล้วเข้าอุปกรณ์ที่ควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Charger) ขนาด 24 โวลต์ จากนั้นส่งผ่านเข้า อินเวอร์เตอร์ขนาด 500 วัตต์ เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ลูก ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 2 แม่พิมพ์ล่างและแบบแม่พิมพ์บน



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของเตาชีวมวล



ภาพที่ 4 แบบวงจรระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนของตัวประสานเตรียมแป้ง 3 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพด เพื่อใช้ในการทดสอบตัวประสาน โดยนำแป้งแต่ละชนิดจำนวน 200 กรัม ผสมกับน้ำ 500 กรัม แล้วไปกวนโดยใช้ไฟอ่อน ๆ เป็นเวลา 3.30 นาที [7]
2. วิธีการทดลองการอัดขึ้นรูป
 - 2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป คือ ไบโตนง ซึ่งใช้ในการอัดขึ้นรูปครั้งละ 3 ชั้น
 - 2.2 ทาตัวประสานลงบนไบโตนงแต่ละชั้น เพื่อให้ภาชนะที่อัดขึ้นรูปมีความหนาและแข็งแรงมากขึ้น
 - 2.3 นำไบโตนงที่ทำการทาตัวประสานแล้วมาทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปภาชนะ

3.การทดสอบสมบัติทางกายภาพของภาชนะ

3.1 การทดสอบการดูดซึมน้ำ ทำโดยเตรียมภาชนะที่อัดขึ้นรูปแล้วนำไปชั่งน้ำหนักก่อนนำไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 60 วินาที โดยให้น้ำท่วมขึ้นทดสอบในขณะที่ทำการทดสอบ หลังจากนั้นชั่งน้ำที่เปียกด้วยกระดาษชำระและชั่งน้ำหนักอีกครั้งหา น้ำหนักหลังแช่น้ำ โดยค่าปริมาณการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ISO 535 (1999) ดังสมการที่ (1) [8][9]

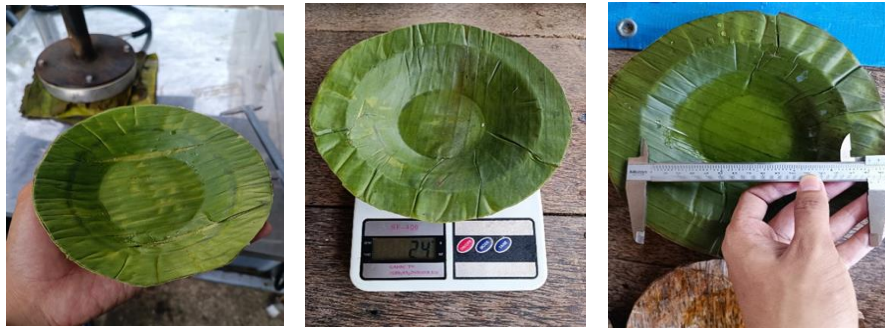
$$\text{ปริมาณการดูดซึมน้ำ} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \quad (1)$$

เมื่อ W_0 คือ น้ำหนักขึ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (กรัม)

W_1 คือ น้ำหนักขึ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (กรัม)

3.2 การทดสอบการทนความร้อน คือ การให้ความร้อนในปริมาณหนึ่งกับสารตัวอย่าง สารนั้นอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ สามารถตรวจสอบด้วยวิธีการแช่ขึ้นทดสอบในน้ำเดือด เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำออกมาไว้ที่ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลง ทำการทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้ง

3.3 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง คือ การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขึ้นทดสอบก่อนและหลังการอัดขึ้นรูปเป็นระยะเวลา 1, 3, 5 และ 24 ชั่วโมง

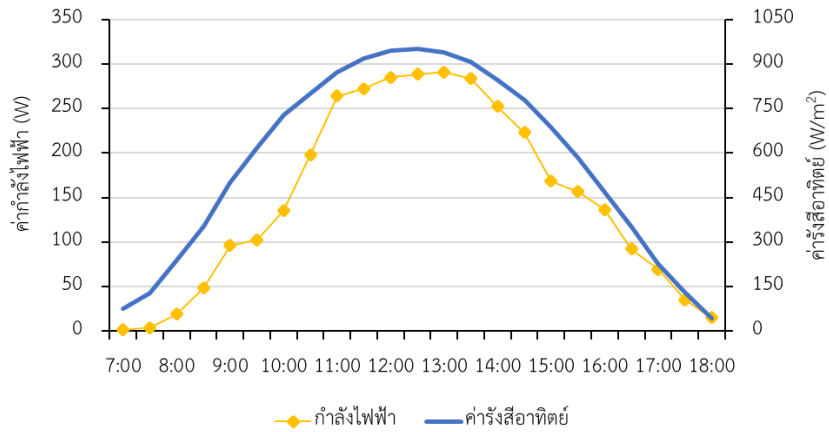


ภาพที่ 5 ภาชนะหลังการอัดขึ้นรูป

ผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติโดยใช้พลังงานหมุนเวียนมาเป็นแหล่งให้ความร้อนแม่พิมพ์ ซึ่งแม่พิมพ์บนใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์ ส่งผ่านความร้อนด้วยฮีตเตอร์ขนาด 250 วัตต์ และแม่พิมพ์ล่างให้ความร้อนจากเตาชีวมวล ซึ่งได้ผลการวิจัยดังนี้

4.1 ค่ารังสีอาทิตย์



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของค่ารังสีอาทิตย์และค่ากำลังไฟฟ้ากับเวลา

จากภาพที่ 6 แสดงค่ารังสีอาทิตย์และค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เทียบกับเวลาจะเห็นได้ว่า ที่เวลา 12.40 น. ค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด เท่ากับ 953.8 วัตต์/ตารางเมตร ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 291.63 วัตต์ โดยมีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งวันมีค่าเท่ากับ 586.17 วัตต์/ตารางเมตร และค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวันมีค่าเท่ากับ 156.15 วัตต์

4.2 ผลการทดสอบอัตราส่วนตัวประสาน

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบอัตราส่วนของตัวประสานกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะ

อัตราส่วน (แป้งมันสำปะหลัง : แป้งข้าวเหนียว : แป้งข้าวโพด)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะหลังการอัดขึ้นรูป (นิ้ว)				
	ทันที	1 ซม.	3 ซม.	5 ซม.	24 ซม.
แป้งมันสำปะหลัง 200 กรัม (1:0:0)	6.00 ●	6.00 ●	6.00 ●	6.05 ▲	6.05 ▲
แป้งข้าวโพด 200 กรัม (0:1:0)	6.00 ●	6.05 ▲	6.11 ▲	6.17 ▲	6.17 ▲
แป้งข้าวเหนียว 200 กรัม (0:0:1)	6.00 ●	6.05 ▲	6.05 ▲	6.23 ▲	5.50 ▲
แป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม : แป้งข้าวเหนียว 100 กรัม (1:0:1)	6.00 ●	6.05 ▲	6.17 ▲	6.17 ▲	6.17 ▲
แป้งมันสำปะหลัง 66.6 กรัม : แป้งข้าวเหนียว 66.6 กรัม : แป้งข้าวโพด 66.6 กรัม (1:1:1)	6.05 ▲	6.17 ▲	6.17 ▲	6.17 ▲	6.17 ▲
แป้งข้าวเหนียว 100 กรัม : แป้งข้าวโพด 100 กรัม (0:1:1)	6.05 ▲	6.11 ▲	6.11 ▲	6.17 ▲	6.17 ▲
แป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม : แป้งข้าวโพด 100 กรัม (1:1:0)	6.11 ▲	6.11 ▲	6.11 ▲	6.23 ▲	6.23 ▲

หมายเหตุ : ● คือ ภาชนะคงสภาพเดิม ▲ คือ ภาชนะเปลี่ยนแปลงสภาพ

จากตารางที่ 1 ตัวประสานที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 3 ชนิด คือแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวโพด ต่อส่วนผสมน้ำ 500 กรัม ผลการทดสอบอัตราส่วนของตัวประสานใบตองในแต่ละชั้นกับเครื่องอัดขึ้นรูปภาชนะเพื่อนำมาอัดขึ้นรูปภาชนะที่อุณหภูมิแม่พิมพ์บน 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแม่พิมพ์ล่าง 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่าอัตราส่วนของตัวประสานสูตร(1:0:0) แป้งมันสำปะหลัง 200 กรัม : น้ำ 500 กรัม มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของภาชนะน้อยที่สุด แสดงว่า เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการนำไปเป็นตัวประสานใบตอง

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบอัตราส่วนตัวประสานกับการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะ

อัตราส่วน	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะทดสอบ (นิ้ว)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
แป้งมันสำปะหลัง 200 กรัม (1:0:0)	6.00 ●	6.05 ▲	6.11 ▲	6.05
แป้งข้าวโพด 200 กรัม (0:1:0)	6.11 ▲	6.11 ▲	6.23 ▲	6.15
แป้งข้าวเหนียว 200 กรัม (0:0:1)	6.11 ▲	6.17 ▲	6.29 ▲	6.19
แป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม : แป้งข้าวเหนียว 100 กรัม (1:0:1)	6.17 ▲	6.17 ▲	6.17 ▲	6.17
แป้งมันสำปะหลัง 66.6 กรัม : แป้งข้าวเหนียว 66.6 กรัม : แป้งข้าวโพด 66.6 กรัม (1:1:1)	6.29 ▲	6.29 ▲	6.35 ▲	6.31
แป้งข้าวเหนียว 100 กรัม : แป้งข้าวโพด 100 กรัม (0:1:1)	6.17 ▲	6.17 ▲	6.23 ▲	6.19
แป้งมันสำปะหลัง 100 กรัม : แป้งข้าวโพด 100 กรัม (1:1:0)	6.17 ▲	6.23 ▲	6.23 ▲	6.21

หมายเหตุ ● คือ ภาชนะคงสภาพเดิม ▲ คือ ภาชนะเปลี่ยนแปลงสภาพ

จากตารางที่ 2 การทดสอบอัตราส่วนการอัดขึ้นรูปภาชนะในการทนความร้อน โดยใช้น้ำร้อนต้มเดือด 100 องศาเซลเซียส ปริมาณ 100 มิลลิเมตร เทลงในภาชนะขึ้นทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว จับเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วเทน้ำออกแล้วจึงทำการวัดขนาดภาชนะเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยทำการทดสอบจำนวนอย่างละ 3 ครั้ง พบว่า แป้งมันสำปะหลัง 200 กรัม : น้ำ 500 กรัม (1:0:0) มีการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 6.05 นิ้ว แสดงว่า อัตราส่วนตัวประสานนี้สามารถทนสภาพการรับความร้อนได้ดีที่สุด

4.3 ผลการทดสอบอุณหภูมิแม่พิมพ์สำหรับการอัดขึ้นรูปภาชนะ

ตารางที่ 3 อุณหภูมิการอัดขึ้นรูปภาชนะกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของภาชนะ

ชนิดแป้ง	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (องศาเซลเซียส)		ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะหลังการอัดขึ้นรูป (นิ้ว)				
	แม่พิมพ์บน	แม่พิมพ์ล่าง	ทันที	1 ชม.	3 ชม.	5 ชม.	24 ชม.
แป้งมัน สำปะหลัง (1:0:0)	80	100	6.00 ●	6.00 ●	6.11 ▲	6.29 ▲	6.17 ▲
	80	150	6.00 ●	6.00 ●	6.00 ●	6.00 ●	6.00 ●
	80	200	6.00 ●	6.00 ●	6.05 ▲	6.05 ▲	6.05 ▲

หมายเหตุ : ● คือ ภาชนะคงสภาพเดิม ▲ คือ ภาชนะเปลี่ยนแปลงสภาพ

จากตารางที่ 3 แสดงการทดสอบอุณหภูมิการอัดขึ้นรูปภาชนะโดยใช้ตัวประสานคือแป้งมันสำปะหลัง 200 กรัม : น้ำ 500 กรัม โดยทำการทดสอบอุณหภูมิแม่พิมพ์บนคองที่ 80 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิแม่พิมพ์ล่างทดสอบที่ 3 ส่วน ได้แก่ 100, 150 และ 200 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบพบว่า อุณหภูมิแม่พิมพ์ล่าง 150 องศาเซลเซียส ภาชนะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอยู่ในสภาพคงเดิมตลอดทุกช่วงเวลาทดสอบ จึงเหมาะสำหรับการขึ้นรูปภาชนะ รองลงมาคือ อุณหภูมิแม่พิมพ์ล่าง 100 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิแม่พิมพ์ล่าง 200 องศาเซลเซียส ไม่เหมาะในการขึ้นรูปภาชนะเพราะภาชนะเกิดการแห้งกรอบเกินไปทำให้แตกหักเสียหายได้ง่าย

4.4 ผลการทดสอบเวลาที่ใช้สำหรับการอัดขึ้นรูปภาชนะ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปภาชนะกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของภาชนะ

ชนิดแป้ง	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (องศาเซลเซียส)		เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปภาชนะ (นาที)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ ภาชนะหลังการอัดขึ้นรูป (นิ้ว)
	แม่พิมพ์บน	แม่พิมพ์ล่าง		
แป้งมัน สำปะหลัง (1:0:0)	80	150	1	6.17 ▲
			2	6.11 ▲
			3	6.05 ▲
			4	6.00 ●
			5	6.05 ▲

หมายเหตุ : ● คือ ภาชนะคงสภาพเดิม ▲ คือ ภาชนะเปลี่ยนแปลงสภาพ

จากตารางที่ 4 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปภาชนะที่ใช้ตัวประสานเป็นแป้งมันสำปะหลัง 200 กรัม : น้ำ 500 กรัม อุณหภูมิแม่พิมพ์บน 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแม่พิมพ์ล่าง 150 องศาเซลเซียส โดยทดสอบเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปภาชนะ ได้แก่ 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะ พบว่า เวลาที่ใช้สำหรับการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสม เท่ากับ 4 นาที โดยภาชนะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลาง

4.5 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภาชนะกับระยะเวลา

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของภาชนะกับระยะเวลา

ชนิดแป้ง	อุณหภูมิแม่พิมพ์ (องศาเซลเซียส)		เวลาที่ใช้ในการ อัดขึ้นรูป (นาที)	จำนวนชั่วโมงหลังอัดขึ้น รูปของภาชนะ (ชั่วโมง)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภาชนะหลังการอัดขึ้นรูป (นิ้ว)
	แม่พิมพ์บน	แม่พิมพ์ล่าง			
แป้งมัน สำปะหลัง (1:0:0)	80	150	4	ทันที	6.00 ●
				1	6.00 ●
				3	6.00 ●
				5	6.05 ▲
				24	5.50 ▲
				48	5.50 ▲

จากตารางที่ 5 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะโดยนำใบตองสดมาอัดขึ้นรูปภาชนะที่อุณหภูมิแม่พิมพ์บน 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแม่พิมพ์ล่าง 150 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัดขึ้นรูป 4 นาที ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะหลังการอัดขึ้นรูปผ่านไป 1, 3, 5, 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่า ภาชนะหลังการอัดขึ้นรูปภาชนะจะสามารถคงรูปร่างได้ไม่เกิน 3 ชั่วโมง

4.6 ผลการทดสอบปริมาณการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบปริมาณการดูดซึมน้ำของภาชนะที่ได้จากการอัดขึ้นรูป

ครั้งที่	น้ำหนักภาชนะก่อนแช่น้ำ W_0 (กรัม)	น้ำหนักภาชนะหลังแช่น้ำ W_1 (กรัม)	การดูดซึมน้ำ $\frac{W_1 - W_0}{W_0}$	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
1	25	28	0.120	12.0
2	25	28	0.120	12.0
3	26	30	0.154	15.4
ค่าเฉลี่ย			0.131	13.1

จากตารางที่ 6 ผลการทดสอบปริมาณการดูดซึมน้ำโดยนำใบตองสดมาอัดขึ้นรูปภาชนะที่อุณหภูมิแม่พิมพ์บน 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแม่พิมพ์ล่าง 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที เตรียมขึ้นทดสอบชั่งน้ำหนักก่อน แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 60 วินาที โดยให้น้ำท่วมขึ้นทดสอบ หลังจากนั้น ชั่งน้ำที่เปียกด้วยกระดาษชำระและชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เพื่อหาน้ำหนักหลังแช่น้ำ โดยค่าปริมาณการดูดซึมน้ำจะคำนวณจากมวลของขึ้นทดสอบหลังแช่น้ำลบน้ำหนักขึ้นทดสอบก่อนแช่น้ำแล้วนำมาหารน้ำหนักขึ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ พบว่า การทดสอบปริมาณการดูดซึมน้ำครั้งที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ ร้อยละ 12.0, ร้อยละ 12.0 และ ร้อยละ 15.4 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยปริมาณการดูดซึมน้ำ เท่ากับ ร้อยละ 13.1 เมื่อเทียบกับค่าการดูดซึมน้ำของโฟมพอลิสไตรีน เท่ากับ ร้อยละ 3 - 10 แสดงว่าภาชนะที่อัดขึ้นรูปจากใบตองยังมีการดูดซึมน้ำมากกว่ากลุ่มภาชนะโฟมพอลิสไตรีน

สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติโดยใช้พลังงานหมุนเวียนมาเป็นแหล่งให้ความร้อนแม่พิมพ์ ซึ่งแม่พิมพ์บนใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์ ส่งผ่านความร้อนด้วยฮีตเตอร์ขนาด 250 วัตต์ และแม่พิมพ์ล่างให้ความร้อนจากเตาชีวมวล ทำการทดสอบขึ้นรูปภาชนะจากใบตองสดจำนวน 3 ชิ้น ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติในท้องถิ่นนำมาขึ้นรูปโดยเครื่องอัดขึ้นรูปเป็นภาชนะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

จากการทดสอบค่ารังสีอาทิตย์และค่ากำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลา จะเห็นได้ว่า ค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด เท่ากับ 953.8 วัตต์/ตารางเมตร และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 291.63 วัตต์ เมื่อเวลา 12:40 น. โดยมีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย เท่ากับ 586.17 วัตต์/ตารางเมตร และค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย เท่ากับ 156.15 วัตต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องขึ้นรูปภาชนะใช้พลังงานหมุนเวียนมาเป็นแหล่งให้ความร้อนแม่พิมพ์มีข้อดีในด้านการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขึ้นรูปภาชนะ

จากการทดสอบอัตราส่วนของตัวประสานสำหรับใบตอง ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และ แป้งข้าวเหนียวกับน้ำ 500 กรัม พบว่า อัตราส่วนของตัวประสาน สูตร (1:0:0) คือ แป้งมันสำปะหลัง 200 กรัม : น้ำ 500 กรัม จะได้ภาชนะที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะน้อยที่สุดและสามารถทนสภาพการรับความร้อนได้ดีที่สุด จากการ

ทดสอบอุณหภูมิของแม่พิมพ์โดยกำหนดอุณหภูมิของแม่พิมพ์บนคองที่ เท่ากับ 80 องศาเซลเซียส และทำการทดสอบอุณหภูมิแม่พิมพ์ล่างจากความร้อนของเตาซีมวอล ได้แก่ 100, 150 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิแม่พิมพ์ล่าง 150 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม และจากการทดสอบเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปภาชนะของแป้งมันสำปะหลัง 200 กรัม : น้ำ 500 กรัม เพื่อนำมาอัดขึ้นรูปภาชนะที่อุณหภูมิแม่พิมพ์บน 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแม่พิมพ์ล่าง 150 องศาเซลเซียส โดยทำการทดสอบเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปภาชนะ ได้แก่ 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที พบว่า เวลาที่ใช้อัดขึ้นรูปภาชนะ เท่ากับ 4 นาที ภาชนะไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

จากการทดสอบการใช้งานของภาชนะที่ได้จากการอัดขึ้นรูป ได้แก่ การทดสอบระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะที่อุณหภูมิแม่พิมพ์บน 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแม่พิมพ์ล่าง 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที โดยทดสอบขนาดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของภาชนะหลังการอัดขึ้นรูปเป็นระยะเวลา 1, 3, 5, 24 และ 48 ชั่วโมง พบว่า หลังอัดขึ้นรูปภาชนะ 1-3 ชั่วโมง ภาชนะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลาง แสดงให้เห็นว่า ภาชนะสามารถงอรูปได้ไม่เกิน 3 ชั่วโมง จากการทดสอบปริมาณการดูดซึมน้ำโดยนำใบตองสดมาอัดขึ้นรูปภาชนะที่อุณหภูมิแม่พิมพ์บน 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแม่พิมพ์ล่าง 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณการดูดซึมน้ำของภาชนะ เท่ากับ ร้อยละ 11.6 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าภาชนะจากโพลีโพรพิลีน (ร้อยละ 3-10)

จากการพัฒนาเครื่องผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารแบบยั่งยืนจากวัสดุธรรมชาติในท้องถิ่นโดยใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งความร้อน ทำให้ได้อุปกรณ์ต้นแบบในการใช้ขึ้นรูปภาชนะที่เป็นการผลิตการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องขึ้นรูปภาชนะโดยปกติ ซึ่งอุปกรณ์สามารถเคลื่อนย้ายเพื่อสะดวกในการใช้งานร่วมกับพลังงานหมุนเวียนและมีแนวทางวิจัยและพัฒนาในด้านการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าเพื่อสะดวกในการใช้งานในทุกสภาวะ และเหมาะสมสำหรับชุมชนหรือวิสาหกิจชุมชนที่มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นผลิตภัณฑ์เชิงสร้างสรรค์และสอดคล้องกับแนวทางเศรษฐกิจ BCG โมเดล ซึ่งเป็นพันธกิจของมหาวิทยาลัยราชภัฏ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริม ววน.) : งบประมาณด้านวิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2565 ที่ให้ความอนุเคราะห์งบประมาณในการทำวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือและสถานที่ในการทำการทดสอบ สหกรณ์การเกษตร ทำยาง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบในท้องถิ่นและการลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลวิจัย จึงทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

เอกสารอ้างอิง

- [1] รัชดาภรณ์ สรขนิษะ. (2555). การพัฒนาภาชนะบรรจุอาหารจากใบตองตามหลักแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต คณะอาชีวศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] สุนทรีย์ เต๋นเทศ. (2557). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์อาหารจากฟางข้าวที่พัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์. 57, 14.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2. ค้นข้อมูล 11 ธันวาคม 2564, จาก https://www.dede.go.th/article_attach/h_solar.pdf/.

- [4] อธิปไตย วัฒนศิริ และ นิตติคุณ พันธุ์ชัย. (2560). การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะแบบย่อยและสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยผักตบชวา. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31. 4-7 กรกฎาคม 2560 จังหวัดนครนายก.
- [5] ชานู แสงคำ และคณะ. (2556). เครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ. ปรินิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและเทคนิคศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- [6] นที ฐานมั่น. (2557). การพัฒนาภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากลำต้นมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [7] นิพนธ์ ตันไพบุลย์กุล และ ธรพร บุศย์น้ำเพชร (2559). ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา. Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University Volume 3 Number 6 November –December 2016 ISSN 2408 -1248.
- [8] นพดล จันทลักษณ์. (2555). การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติ. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2555. 17-19 ตุลาคม 2555 ชะอำเพชรบุรี. 1770-1775.
- [9] จันทิมา ชั่งสิริพร, พงศกระยา พงศ์ยี่หล้า และนิรณา ชัยฤกษ์. 2565, การผลิตบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากฟางข้าวและขานอ้อยโดยใช้ไคโตซานเคลือบผิว. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 27. 20-30.

การศึกษาความสูงที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านแบบตรึงอยู่กับที่
The Study of Optimal Height for Fixed Type Bifacial Solar Panel Installation

เจิมธง ประรณารักษ์^{1*} กังสดาล สกกุลพงษ์มาลี¹ จุติพร อินทะนิน¹

ปองพล รักการงาน¹ และชลีตล อินยาศรี¹

Chermdhong Prattanaruk^{1*} Kangsadan Sagulpongmalee¹ Jutiporn Intanin¹

Pongpol Rakkanrane¹ and Chaleedol Inyasri¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เพชรบุรี 76000

¹ Energy Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,

Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi 76000

*Corresponding Author: Tel 064-965-4192, E-mail Address: chermdhong.pra@mail.pbru.ac.th

Received: 15 March 2024, Revised: 9 April 2024, Accepted 10 April 2024, Published online: 30 April 2024

Abstract

The bifacial solar panel could produce electrical power per surface unit more than general solar panels, but the price is similar. This research aimed to find the optimal height for installing a fixed bifacial solar panel in parallel and perpendicular to the equinoctial line which above the ground and glossy white painted surface. The panel was moved up and down to find the height that produces the most electrical power every 30 minutes from 8.00 a.m. to 16.30 p.m. in both parallel and perpendicular line. The testing was divided into four periods in March, June, September, and December. The height was weighted by a power rating coefficient that varies with the tilts angle and sun path over the year. The results exhibited that the optimal height for installing a bifacial solar panel were 104.70 and 123.28 centimeters. Consequently, electrical power will increase up to 11.98% and 2.83%, respectively. When placing the panel over the white glossy surface, the optimal height were 97.87 centimeters in parallel and 108.58 centimeters in perpendicular to the equator which could produce electrical power up to 19.51% and 14.49%, respectively. Moreover, the light and glossy albedo surface has a lower optimum height for installing solar panels.

Keywords: Bifacial solar panel, Installation height, Albedo

บทคัดย่อ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านสามารถผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ได้มากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปแต่มีราคาใกล้เคียงกัน ความสูงในการติดตั้งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านแบบติดตั้งอยู่กับที่ในแนวขนานและตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรเหนือพื้นดินและพื้นทาสีขาวผิวมัน โดยปรับระดับแผงขึ้นลงเพื่อหาความสูงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุดทุกครึ่งชั่วโมง ตั้งแต่ 8.00-16.30 นาฬิกาทั้งในแนวขนานและตั้งฉาก และแบ่งการทดสอบตลอดปีเป็น 4 ช่วงเวลาในเดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ทำการถ่วงน้ำหนักค่าความสูงที่ได้ด้วยสัมประสิทธิ์การผลิตไฟฟ้าที่แปรผันตามมุมเอียง และทางเดินของดวงอาทิตย์ในรอบปี ผลจากการศึกษาพบว่า ความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านเหนือพื้นดินในแนวขนานและตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตร คือ 104.70 และ 123.28 เซนติเมตร จะผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น 11.98 % และ 2.83 % ตามลำดับ และเมื่อวางแผงเหนือพื้นสีขาวผิวมันจะมีความสูงที่เหมาะสมที่ 97.87 เซนติเมตรในแนวขนาน และ 108.58 เซนติเมตรในแนวตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตร สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น 19.51 % และ 14.49 % ตามลำดับ โดยพื้นผิวสะท้อนใต้แผงที่มีความสว่างและผิวมันเงาจะมีความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง

คำสำคัญ: แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้าน, ความสูงในการติดตั้ง, อัตราส่วนรังสีสะท้อน

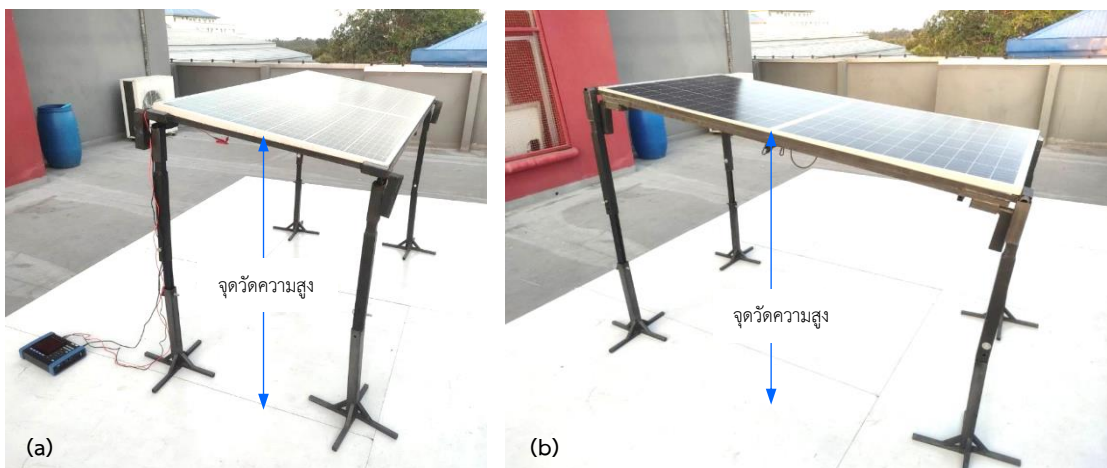
บทนำ

การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ปัจจุบันเป็นที่นิยมแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากเป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถประมาณการลงทุนได้ง่าย ส่วนประกอบของระบบมีน้อย ต้นทุนในการดูแลรักษาต่ำ อายุใช้งานของระบบค่อนข้างยาวนาน ดังจะเห็นได้จากการลงทุนทางพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสิบปีที่ผ่านมา ทั้งนี้เป็นเพราะประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ราคาเซลล์แสงอาทิตย์ต่อหน่วยพลังงานลดลงมาก [1-3] โดยการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้จำกัดอยู่ในภาคครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมเท่านั้น แต่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางทุกภาคส่วน ทั้งภาคธุรกิจ ขนส่ง ครัวเรือนและเกษตร โดยประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ปัจจุบัน (มีนาคม 2567) อยู่ที่ 27.8 % สำหรับเซลล์ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว 23.3 และ 21.2 % สำหรับเซลล์แบบผลึกรวมและฟิล์มบางตามลำดับ [4] และยังคงพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพของ effective cell โดยตลอด ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงานสูงขึ้นเรื่อย ๆ นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีอื่นอีก เช่น cell แบบ Half cut cell ซึ่งช่วยลดความต้านทานและการสูญเสียกำลังทางไฟฟ้า (Power loss) ลดการเกิดจุดร้อน (Hotspot) ที่เกิดขึ้นบนแผงเนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์บางเซลล์ไม่โดนแสง และเทคโนโลยีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้าน (Bifacial solar panel) ซึ่งถูกนำมาใช้แทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปมากขึ้นเรื่อย ๆ [2] เนื่องจากมีราคาใกล้เคียงกัน แต่มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่า จุดเด่นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้าน คือ มี effective cell อยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ด้านบนจะผลิตไฟฟ้าจากรังสีอาทิตย์ที่มากกระทบโดยตรง ส่วนเซลล์ที่อยู่ด้านล่าง (ใต้แผง) จะผลิตไฟฟ้าจากรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนขึ้นมาจากพื้นผิวใต้แผง ซึ่งค่าอัตราส่วนรังสีสะท้อนนี้ เรียกว่า อัลเบโด (Albedo) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านจึงสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปประมาณ 5-30 % [5-6] บนขนาดพื้นที่ติดตั้งที่เท่ากัน ดังนั้น อัลเบโดจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีอาทิตย์และแนวรับรังสี โดยปกติเราจะหันเซลล์แสงอาทิตย์ด้านหน้า (Front panel) ให้อยู่ในแนวตั้งฉาก (Normal) กับรังสีอาทิตย์ ในกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ด้านล่าง (Back panel) นอกจากจะขึ้นอยู่กับองศาสะท้อนของรังสีใต้แผงแล้ว [6-10] ยังขึ้นอยู่กับความสูงในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย [6, 8-11] เนื่องจากความเข้มของรังสีสะท้อนจะแปรผกผันกับระยะห่างกำลังสองของแผงกับพื้นผิวใต้แผง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสูงที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านแบบ
 ตรีงอยู่กึ่งที่ โดยในการดำเนินงานจะใช้อัลเบโดสองแบบ คือ พื้นดินซึ่งเป็นพื้นผิวได้แผงที่พบได้ทั่วไปโดยมีอัลเบโดประมาณ
 0.25 [12] และพื้นทาสีขาวผิวมัน เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน

วิธีการวิจัย

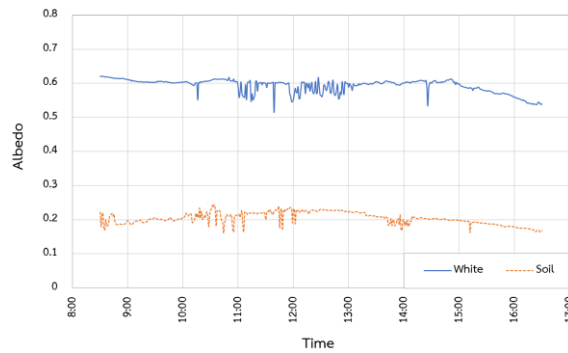
ในการดำเนินงานวิจัยใช้อุปกรณ์วัดรังสีอาทิตย์ชนิดรับรังสีรวม (Pyranometer) ยี่ห้อ Kipp and Zonen รุ่น CMP 11
 มีค่าคงที่การตอบสนอง (Sensitivity) ที่ $8.38 \mu\text{V/W/m}^2$ ต่อกับเครื่องบันทึกสัญญาณยี่ห้อ Hioki รุ่น LR8401-20 ใช้อัตรา
 การสุ่มสัญญาณ (Sampling rate) 1 นาทื แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านชนิด PERC Monocrystalline ในกลุ่ม
 tier 1 แบบ Half cell ขนาด 400 W รุ่น SRP-400-BMA-BG ขนาด 204x101 cm มีพิกัดทางไฟฟ้า คือ แรงดัน V_{oc} ที่ 49.5
 V กระแส I_{sc} ที่ 10.12 A มีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ที่ I_{mpp} เท่ากับ 9.6 A และ V_{mpp} เท่ากับ 41.7 V ติดตั้งแผงเซลล์
 แสงอาทิตย์บนโครงเหล็กที่สามารถปรับระดับความสูงได้ โดยหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาเส้นศูนย์สูตร (หันไปทางทิศใต้
 สำหรับกลุ่มประเทศทางซีกโลกเหนือ) และวางแผงเอียงตามละติจูดที่ตั้ง สำหรับจังหวัดเพชรบุรีวางเอียง 13 องศา (จุด
 ทดสอบมีพิกัดอยู่ที่ 13.07N 99.98E) ขยับแผงขึ้นลงเป็นขั้นที่ระยะ 50, 55, 60,....., 150 cm พร้อมกับวัดกระแสและ
 แรงดันไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Hioki รุ่น PQ3100 ร่วมกับ clamp DC auto zero current รุ่น CT7731 จนได้
 ระดับความสูงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าสูงสุด โดยทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแนว คือ วางแผง
 เซลล์แสงอาทิตย์ในแนวขนานและตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตร ดังแสดงในภาพที่ 1 ทำการวัดระดับความสูงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์
 ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากที่สุดโดยวัดที่กึ่งกลางแผง พร้อมทั้งวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และรังสีอาทิตย์ทุกครึ่งชั่วโมง
 ช่วงเวลาที่ทำการวัดและบันทึกผลจะเริ่มวัดก่อนเที่ยงสุริยะ (Solar noon) 4 ชั่วโมง ถึงหลังเที่ยงสุริยะ 4 ชั่วโมง พื้นที่ทดสอบ
 มีเที่ยงสุริยะอยู่ในช่วงเวลา 12.03 – 12.34 น. จึงตรวจวัดและบันทึกผลในช่วง 8.00-16.30 น. โดยแบ่งการทดสอบเป็น 4
 ช่วงเวลาตามวันอายัน (Solstice) และวันวิษุวัต (Equinox) คือ เดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคม [13] เป็น
 ตัวแทนการสุ่มทดสอบรายปี



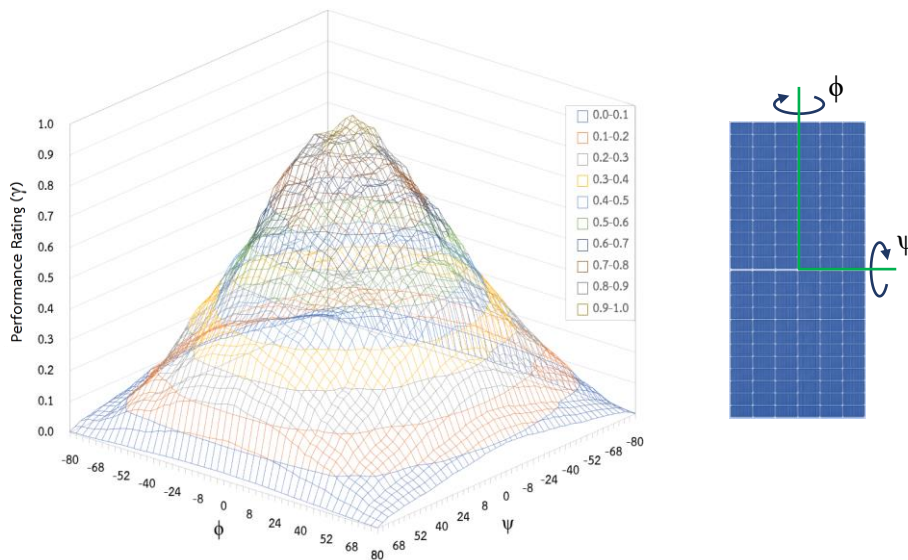
ภาพที่ 1 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านวางแผงเอียงไปทางทิศใต้ในแนว

(a) ขนานเส้นศูนย์สูตร (b) ตั้งฉากเส้นศูนย์สูตร

พื้นผิวได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นพื้นดินและพื้นทาสีขาวมัน โดยใช้สีน้ำมันเคลือบเงา Mandarin เบอร์ M111 การวัดอัตราส่วนรังสีสะท้อนของพื้นผิวจะใช้ pyranometer 2 ตัว ติดเข้าด้วยกันโดยตัวหนึ่งหงายและตัวหนึ่งคว่ำ ใส่ฝาครอบด้านบนเพื่อลดผลกระทบจากรังสีสะท้อนและรังสีกระจาย ติดตั้งอุปกรณ์วัดสูงจากพื้น 1.45 เมตร เก็บสายไฟให้เรียบร้อยและหัน pyranometer เข้าหาเส้นศูนย์สูตรเพื่อป้องกันผลกระทบจากเงาที่เกิดจากขาตั้งและสายสัญญาณ ค่าอัตราส่วนรังสีสะท้อนของพื้นดินและพื้นทาสีขาวมันที่ใช้ทดสอบมีค่าประมาณ 0.16-0.24 และ 0.51-0.62 ตามลำดับ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ค่าอัตราส่วนรังสีสะท้อนของพื้นผิวได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบ



ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมรับรังสีต่าง ๆ

สำหรับการวิเคราะห์ความสูงที่เหมาะสมจะใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักค่าระดับความสูงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้ด้วยฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก (Weighting function) จากประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมเอียงต่างๆ (Y) ดังภาพที่ 3 โดยฟังก์ชันประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่มุมเอียงต่างๆ ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการการสาขาสหวิทยาการพลังงาน มุม ϕ แทนมุมเอียงรอบแกนตามยาว และ ψ แทนมุมเอียงรอบแกนตามขวาง ซึ่งประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่มุมเอียงต่างๆ เป็นฟังก์ชันของมุม ϕ และ ψ ความสูงที่เหมาะสมรายเดือนหาได้จากสมการที่ 1

$$H_m = \sum_{n=1}^{18} \gamma(\phi, \psi) H_n(t) \quad (1)$$

เมื่อ H_m คือ ตัวแทนความสูงที่เหมาะสมรายเดือน (cm)

$H_n(t)$ คือ ความสูงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ดีที่สุดในแต่ละช่วงเวลาของวัน (cm)

$\gamma(\phi, \psi)$ คือ ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เนื่องจากมุมเอียงของรังสีอาทิตย์

สำหรับความสูงที่เหมาะสมรายปีใช้การถ่วงน้ำหนักจากทางเดินของดวงอาทิตย์ (Sun path) ในรอบปี โดยค่าน้ำหนักที่ใช้ในช่วงมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคมอยู่ที่ 0.35 0.15 0.35 และ 0.15 ตามลำดับ ค่าความสูงที่เหมาะสมรายปีหาได้จากสมการที่ 2

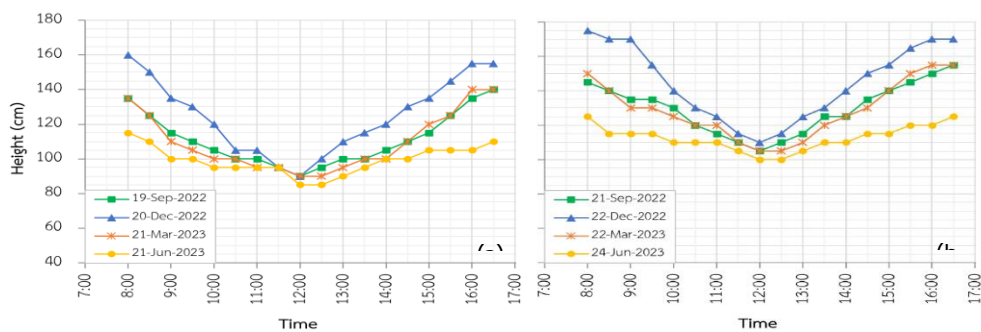
$$\bar{H} = \sum_{m=1}^4 \eta H_m \quad (2)$$

เมื่อ \bar{H} คือ ค่าความสูงที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์รายปี (cm)

η คือ ค่าถ่วงน้ำหนักเนื่องจากทางเดินของดวงอาทิตย์

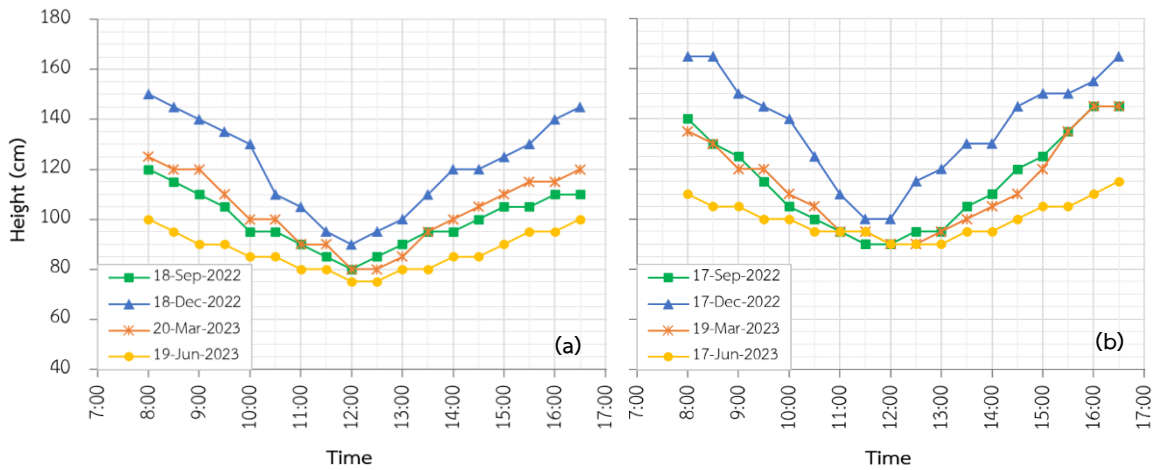
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบหาความสูงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านที่ติดตั้งเหนือพื้นดินโดยวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวขนานและตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตร แสดงดังภาพที่ 4 (a) และ (b) ตามลำดับ พบว่าระดับความสูงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด จะลดลงเมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ขึ้นสูงอย่างมีนัย โดยผลการทดสอบในเดือนธันวาคมจะมีความผลต่างของระดับความสูงตลอดทั้งวันมากที่สุดคือ 70 และ 65 cm เมื่อวางแผงในแนวขนานและตั้งฉากเส้นศูนย์สูตรตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม ผลต่างของระดับความสูงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวันที่ทดสอบในเดือนมิถุนายนน้อยที่สุด โดยมีผลต่างตลอดทั้งวันเพียง 30 และ 25 cm ตามลำดับ ในขณะที่ผลการทดสอบในเดือนกันยายนและมีนาคม มีลักษณะกราฟคล้ายกันและมีความชันของเส้นกราฟรวมถึงผลต่างของระดับความสูงใกล้เคียงกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะทางเดินของดวงอาทิตย์ (Sun path) ในเดือนกันยายนและมีนาคมใกล้เคียงกัน ระดับความสูงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้จึงใกล้เคียงสอดคล้องกัน นอกจากนี้ยังพบว่าการวางแผงในแนวตั้งฉากจะมีความสูงโดยรวมโดยในช่วงเที่ยงอยู่ที่ 100-110 cm สูงกว่าการวางแผงในแนวขนานเล็กน้อยซึ่งอยู่ที่ 85-90 cm



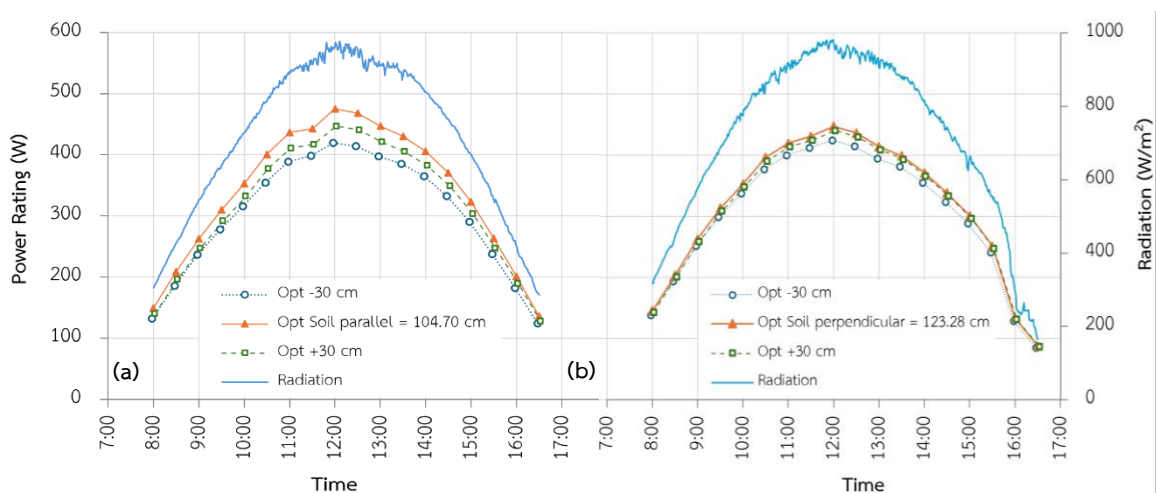
ภาพที่ 4 ความสูงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุดเมื่อติดตั้งเหนือพื้นดิน

(a) วางแผงขนานเส้นศูนย์สูตร (b) วางแผงตั้งฉากเส้นศูนย์สูตร

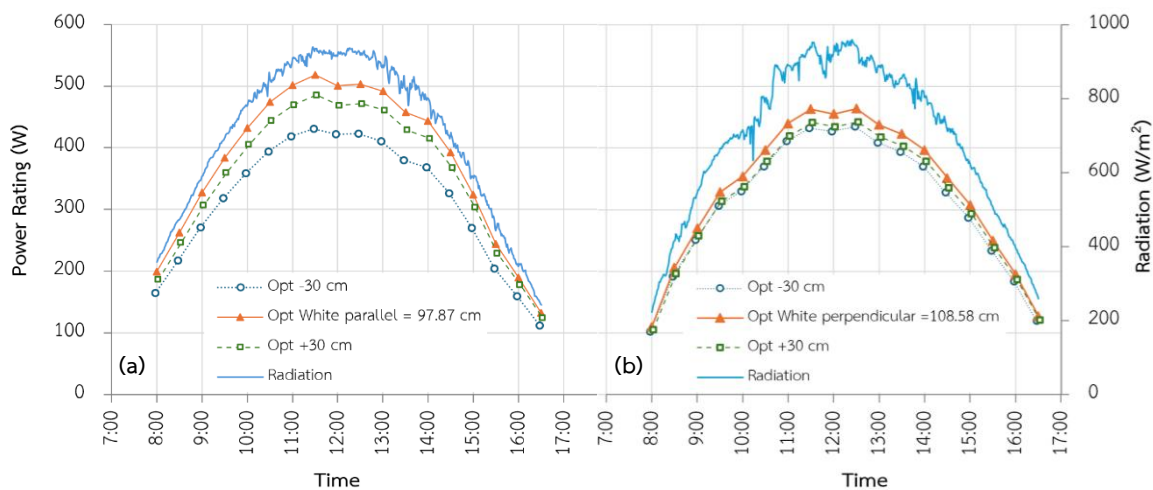


ภาพที่ 5 ความสูงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุดเมื่อติดตั้งเหนือพื้นทาสีขาวมัน
 (a) วางแผงขนานเส้นศูนย์สูตร (b) วางแผงตั้งฉากเส้นศูนย์สูตร

สำหรับความสูงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านที่ติดตั้งเหนือพื้นทาสีขาวมัน พบว่ากราฟความสูงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมตลอดวันมีลักษณะเช่นเดียวกับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เหนือพื้นดิน ผลการวัดสอดคล้องเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 5 การใช้พื้นผิวใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสีขาวมันที่สะท้อนแสงได้มากจะทำให้ความสูงโดยรวมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง โดยความสูงในช่วงเที่ยงเมื่อวางแผงในแนวขนานจะอยู่ที่ 75-90 cm และ 90-100 cm สำหรับแผงที่วางในแนวตั้งฉาก และเมื่อทำการถ่วงน้ำหนักเพื่อหาความสูงที่เหมาะสมรายปีจากสมการที่ 2 จะได้ความสูงที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านเหนือพื้นดินในแนวขนานและตั้งฉาก อยู่ที่ 104.70 และ 123.28 cm ตามลำดับ ส่วนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวขนานและตั้งฉากอยู่เหนือพื้นทาสีขาวมันจะมีความสูงที่เหมาะสมรายปีอยู่ที่ 97.87 และ 108.58 cm ตามลำดับ



ภาพที่ 6 กำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่อติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เหนือพื้นดิน ในแนว (a) ขนาน (b) ตั้งฉาก กับเส้นศูนย์สูตร



ภาพที่ 7 กำลังไฟฟ้าที่ได้เมื่อติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เหนือพื้นทาสีขาวผิวมัน ในแนว (a) ขนาน (b) ตั้งฉาก กับเส้นศูนย์สูตร

ผลการวัดกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความสูงที่เหมาะสมรายปี (Optimum) และที่ความสูง optimum \pm 30 cm ดังกราฟในภาพที่ 6 และ 7 แสดงเห็นว่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แปรผันตามรังสีอาทิตย์ สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเหนือพื้นดิน หากวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวขนานที่ความสูง optimum สามารถผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลา 8.00-16.30 น. ได้ 3,003.82 W (คิดเป็นประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผง 26.85 %) หากใช้ความสูงติดตั้งแผงที่ optimum +30 และ -30 cm กำลังไฟฟ้าจะลดลง ปริมาณไฟฟ้าโดยรวมที่ผลิตได้จะอยู่ที่ 2,826.60 W (25.23 %) และ 2,685.01 W (24.01 %) ตามลำดับ ดังภาพที่ 6 (a) กรณีวางแผงในแนวตั้งฉากพบว่า ที่ความสูง optimum สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด โดยอยู่ที่ 2,816.44 W (25.22 %) ดังภาพที่ 6 (b) และไฟฟ้าที่ได้จะลดลงเป็น 2,777.01 W (24.86 %) และ 2,686.95 W (24.05 %) เมื่อติดตั้งแผงสูงหรือต่ำกว่าจุดที่เหมาะสม +30 และ -30 cm ตามลำดับ

สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เหนือพื้นทาสีขาวผิวมัน เมื่อวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวขนาน ที่ความสูง optimum ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ตั้งแต่ 8.00-16.30 น. เท่ากับ 3,339.83 W (ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเท่ากับ 30.47 %) และจะผลิตไฟฟ้าได้ 3,127.58 W (28.55 %) และ 2,782.64 W (25.40 %) หากติดตั้งแผงที่ความสูง optimum +30 cm และ -30 cm ตามลำดับ กรณีติดตั้งแผงในแนวตั้งฉากสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 2,961.45 W (คิดเป็น 27.20 %) ที่ความสูง optimum และลดลงเหลือ 2,825.27 W (25.94 %) และ 2,765.64 W (25.39 %) ที่ optimum +30 และ -30 cm ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

ความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิวได้แผง สำหรับจังหวัดเพชรบุรีความสูงที่เหมาะสม (optimum) กรณีติดตั้งแผงในแนวขนานเหนือพื้นดินและพื้นทาสีขาวผิวมันจะอยู่ที่ 104.70 cm และ 97.87 cm ตามลำดับ หากวางแผงในแนวตั้งฉากเส้นศูนย์สูตรเหนือพื้นดินและพื้นทาสีขาวผิวมัน จะมีความสูงที่เหมาะสมอยู่ที่ 123.28 และ 108.58 cm ตามลำดับ โดยความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความสว่างและมันเงาจะมีความสูง optimum ลดลงอย่างมีนัย กรณีที่ไม่ทราบความสูงที่เหมาะสม โดยทั่วไปแนะนำให้ติดตั้งที่ความสูงประมาณ 100 cm [12,14] คณะผู้วิจัยแนะนำให้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนไปทางสูง คือ 105 และ 125 cm เมื่อวางแผงเหนือพื้นดินในแนวขนานและตั้งฉากเส้นศูนย์สูตรตามลำดับ โดยอาจลดความสูงของแผงลงมา 5 % เมื่อพื้นได้แผงเป็นคอนกรีตหรือทราย และลดความสูงในการติดตั้งแผงลง 10 % เมื่อพื้นผิวได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหินมะ หรือปูด้วยสแตนเลสหรือพื้นทาสีขาวเพื่อเพิ่ม

ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า การศึกษานี้เป็นการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านจำนวนหนึ่งโมดูล เพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กหนึ่งโมดูลหรือหนึ่งแถว (String) สำหรับระบบขนาดใหญ่ต้องนำระยะ Pitch ระหว่าง String อัตราส่วน GCR (ground coverage ratio) ของระบบ รวมถึง shading จากอุปกรณ์ยึดแผงและโครงสร้างมาพิจารณาด้วย

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านมี effective cell อยู่ด้านล่าง ลักษณะพื้นผิวใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า โดยพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเหนือพื้นดินทั่วไป ซึ่งมีอัลเบโดประมาณ 0.20 ในแนวขนานและตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตร สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น 11.98 % และ 2.83 % ตามลำดับ และหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรับรังสีสองด้านให้สูงขึ้น สามารถใช้พื้นผิวสีสว่างหรือผิวปูใต้แผง โดยคณะผู้วิจัยใช้พื้นทาสีขาวผิวมันซึ่งมีอัลเบโดประมาณ 0.60 รองใต้แผง พบว่าไฟฟ้าที่ผลิตได้ เพิ่มขึ้น 19.51 % และ 14.49 % เมื่อวางแผงในแนวขนานและแนวตั้งฉากตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการวางแผงในแนวขนานจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าวางแผงในแนวตั้งฉาก

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ผู้สนับสนุนเงินวิจัยประจำปีงบประมาณ 2565 และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่อำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงานและดำเนินการทางเอกสารวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Fraas L., and Partain L. (2010). **Solar cells and their applications**. John Wiley & Sons Press.
- [2] VDMA. (2020). **International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV)**. สืบค้นจาก <https://itrpv.vdma.org/en/>
- [3] VDMA. (2019). **International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV)**. สืบค้นจาก <https://itrpv.vdma.org/en/>
- [4] National Renewable Energy Laboratory (NREL). (ม . ป . ป .). **Best Research-Cell Efficiency Chart**. สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2567, จาก <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- [5] Sun, X., Khan, M.R., Deline, C. and Alam, M.A. (2018) Optimization and performance of bifacial solar modules: a global perspective. **Apply Energy**. 212, 1601–10.
- [6] Gu, W., Ma, T., Li, M., Lu, S. and Zhang, Y. (2020). A coupled optical-electrical-thermal model of the bifacial photovoltaic module. **Apply Energy**. 258.
- [7] Wei, Q., Wu, C., Liu, X., Zhang, S., Qian, F., Lu, J., Lian, W. and Ni, P. (2016). The glass-glass module using n-type bifacial solar cell with PERT structure and its performance. **Energy Procedia**. 92, 750–4.
- [8] Asgharzadeh, A., Lubenow, T., Sink, J., Marion, B., Deline, C., Hansen, C., Stein, J. and Toor, F. (2017). **Analysis of the Impact of Installation Parameters and System Size on Bifacial Gain and Energy Yield of PV Systems**. Albuquerque : Sandia National Laboratories.
- [9] Jose, E., Aguilera, C., and Hauser, P.S. (2016). Multi-Variable Bifacial Photovoltaic Module Test Results and Best-Fit Annual Bifacial Energy Yield Model. **IEEE**. 4, 498-506.

- [10] Yusufoglu, U.A., Pletzer, T.M., Koduvelikulathu, L.J., Comparotto, C., Kopecek, R. and Kurz, H. (2015). Analysis of the annual performance of bifacial modules and optimization methods. **IEEE J. Photovolt.** 5 (1), 320-328
- [11] Wang, S., Wilkie, O., Lam, J., Steeman, R., Zhang, W., Khoo, K.S., Siong, S.C. and Rostan, H. (2015). Bifacial photovoltaic systems energy yield modelling. **Energy Procedia.** 77, 428–33.
- [12] LG. **Bifacial Design Guide.** สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2567, จาก https://www.lg.com/global/business/download/resources/solar/Bifacial_design_guide_Full_ver.pdf
- [13] เสริม จันทร์ฉาย. (2560). **รังสีอาทิตย์.** นครปฐม : หน่วยวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [14] Couillard Solar Foundation. (ม.ป.ป.). **Design Tips for Bifacial Solar Arrays.** สืบค้นเมื่อ 11 มีนาคม 2567, จาก <https://couillardsolarfoundation.org/design-tips-for-bifacial-solar-panels/>

การพัฒนาเครื่องปั่นเส้นด้ายใยกล้วยง

Development of a Hemp Fiber Spinning Wheel Machine

เทพ เกื้อทวีกุล^{1*} เอกสิทธิ์ เทียนมาศ² สุรเชษฐ์ ตุ่มมี³ ศักดิ์ศรี แสนยาเจริญกุล⁴ และ ภาคิน มณีโชติ⁵
Thep Kueathaweekun^{1*} Aekasit Thianmas² Surachet Toommee³ Saksri Sanyacharemkul⁴
and Pakin Maneechot⁵

^{1,5} โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

² โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

³ โปรแกรมวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

⁴ โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

^{1,5}Energy Technology Program, Faculty of Industrial Technology,
Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000

²Civil Engineering Technology Program, Faculty of Industrial Technology,
Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000

³Industrial Arts Program, Faculty of Industrial Technology,
Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000

⁴Chemistry program, Faculty of Science and Technology,
Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000

*Corresponding author: Tel.: 055-7065555 E-mail address: thep_k@kpru.ac.th

Received: 16 February 2024, Revised: 28 March 2024, Accepted: 17 April 2024, Published online: 30 April 2024

Abstract

This research presents the development of a hemp fiber spinning wheel machine by developing a hand-thread winder that uses a DC motor speed control circuit to reduce manual rotation. This research has developed a hemp fiber spinning wheel machine. Previously, human labor was used to turn the thread-winding machine. When the thread winder is turned for a long time, it causes pain in the arms and hands, which then causes problems for users. This research developed a hemp fiber spinning wheel machine that can control the motor speed to control the operation of the thread winding machine by adjusting the rotation speed. This research was used to adjust the method of the operating time of the power switch. The experiment results showed the development of a hemp fiber spinning wheel machine with a DC motor

speed control circuit for reducing manual rotation. The rotating speed of the thread winder can be adjusted effectively according to the adjustment of the operating time of the power switch.

Keywords: Spinning wheel machine, Period time, Power switch

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องปั่นเส้นด้ายใยแก้วซึ่งพัฒนาเครื่องกรอด้วยมือหมุนโดยใช้วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือ โดยการวิจัยในครั้งนี้ได้พัฒนาเครื่องกรอด้วยมือจากเดิมที่ใช้แรงงานจากมนุษย์ในการที่จะหมุนเครื่องกรอด้วยมือ ซึ่งเมื่อหมุนเครื่องกรอด้วยมือเป็นเวลานานก็จะทำให้ผู้หมุนมีอาการปวดเมื่อยบริเวณแขนและมือ ทำให้เกิดปัญหาสำหรับผู้ใช้งาน ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้จึงได้พัฒนาเครื่องกรอด้วยมือที่สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องกรอด้วยมือโดยการปรับความเร็วในการหมุน และสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ ได้ใช้วิธีการปรับค่าคาบเวลาการทำงานของสวิตช์กำลัง ทั้งนี้จากผลการทดลองพบว่า การพัฒนาเครื่องกรอด้วยมือด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือ สามารถปรับความเร็วรอบการหมุนของเครื่องกรอด้วยมือตามการปรับค่าคาบเวลาการทำงานของสวิตช์กำลังได้อย่างดี

คำสำคัญ: เครื่องกรอด้วยมือ, คาบเวลา, สวิตช์กำลัง

บทนำ

ปัจจุบันถึงแม้เทคโนโลยียังคงมีการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อกล่าวถึงปัจจัยขั้นพื้นฐานของการดำรงชีวิตของมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เครื่องนุ่งห่มยังคงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ในการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การแต่งตัวเพื่อทำงาน เล่นกีฬา เข้าร่วมสังคม เป็นต้น ทั้งปิดบังร่างกาย ให้ความอบอุ่นแก่ร่างกาย หรือแม้กระทั่งการใช้งานด้านการป้องกันร่างกายต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าเครื่องนุ่งห่มมีความสำคัญกับมนุษย์มาโดยตลอดทั้งอดีตและปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม ถึงแม้เทคโนโลยีจะมีความก้าวหน้ามากมายเพียงใด แต่ด้วยบางพื้นที่ที่ยังคงมีการทำผ้าท้องถิ่นใช้เองยังคงมีการใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นสำหรับการทำผ้าท้องถิ่น เช่น เครื่องกรอด้วยมือ เครื่องปั่นด้าย และเครื่องมือในการทอผ้าแบบต่าง ๆ ซึ่งเครื่องมือเครื่องจักรเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นการใช้แรงงานจากมนุษย์ ซึ่งทำให้หากมีการทำผ้าเป็นจำนวนมาก ๆ ก็จะต้องส่งผลเสียต่อผู้ใช้งานได้ เช่น เกิดความเมื่อยล้า กล้ามเนื้อเกร็ง และอาการปวดข้อมือ เป็นต้น ในปัจจุบันการทำผ้าต่าง ๆ นั้นบุคลากรโดยส่วนใหญ่มักจะเป็นผู้สูงอายุ เนื่องจากคนรุ่นใหม่ ๆ ไม่ได้ให้ความสนใจกับการทำผ้าท้องถิ่นมากนัก อีกทั้งเครื่องนุ่งห่มในปัจจุบันมีความหลากหลายรูปแบบอีกด้วย ให้ผ้าท้องถิ่นที่มีการทำมือได้รับความนิยมตามไปด้วย

ดังนั้นการพัฒนานวัตกรรมเทคโนโลยีมาช่วยในการทำผ้าท้องถิ่นจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก จึงมีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาและพัฒนานวัตกรรมเทคโนโลยีเพื่อมาช่วยในงานดังกล่าว เช่น เอกภาพ บำรุงภูมิ และคณะ ที่ได้จัดทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาเครื่องปั่นเส้นด้ายจากฝ้ายสำหรับกลุ่มผู้ผลิตรายย่อยสำหรับการใช้ระบบการกรอด้วยมือลดการใช้แรงงานจากมนุษย์ที่ต้องใช้แรงในการปั่นด้วยมือมาเป็นการใช้ระบบควบคุมแทน ซึ่งสามารถที่จะลดเวลา ลดความเมื่อยล้า และเพิ่มผลผลิตได้อีกด้วย [1] ศุทธิณี กล่อมแสร์ได้พัฒนาเครื่องกรอด้วยมือแบบดรัมสำหรับทอผ้าพื้นเมือง โดยได้ใช้มอเตอร์เข้ามาช่วยในการหมุนแทน ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าที่สามารถลดความเมื่อยล้าและเพิ่มเวลาสำหรับการปฏิบัติงานด้านอื่น ๆ ได้ [2] และ ภูริพงษ์ อักษรพิมพ์ และคณะ ได้พัฒนาเครื่องสร้างไหมและเครื่องตีเกลียวเส้นไหมสำหรับไหมออร์แกนิก โดยการสรุปผลได้ว่าสามารถเพิ่มผลผลิตเส้นไหมออร์แกนิกได้อย่างดี [3] จะเห็นได้ว่าการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยงานทางเครื่องมือเกี่ยวกับระบบงานทอผ้าหรืองานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำผ้าพื้นเมืองนั้นช่วยให้ประสิทธิภาพของการทำงานดีขึ้น ผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้น ยังช่วยลดเวลาการทำงาน ลด

การเมื่อล้าจากการทำงานเกี่ยวกับเครื่องมือ ทำให้มีเวลาเพิ่มขึ้นในการทำงานด้านอื่น ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้ทำงานด้านนี้ต่อไป อย่างไรก็ตาม จะเห็นได้ว่าการหมุนแกนปั่นด้ายนั้นจะใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ามาเป็นตัวขับเคลื่อน โดยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อนและการควบคุมที่ง่าย ดังนั้นการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะสามารถควบคุมได้ด้วยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ตัวมอเตอร์ได้ โดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ตัวมอเตอร์นั้นใช้วิธีการควบคุมคาบเวลาของการทำงานสวิตช์กำลังสำหรับการควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่ตัวมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง นอกจากนี้ อัญญาต์ บุญศรี และคณะ ได้ทำการออกแบบและสร้างชุดควบคุมการปรับแรงดันแบบ PWM สำหรับการรดน้ำทางการเกษตร ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยผลการทดลองพบว่าการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ด้วยการปรับสัญญาณ PWM นั้น สามารถควบคุมการปรับรอบของปั้มน้ำไฟฟ้าด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับรดน้ำทางการเกษตรได้อย่างดี [4] นอกจากนี้ยังได้พัฒนาเครื่องตีเกลียวเส้นด้าย [5] เครื่องคั้นหูกเส้นไหมด้วยเทคนิค ECRS [6] และการพัฒนาชุดปรับระยะเส้นไหมยีนในกระบวนการทอผ้าไหมด้วยเทคนิค ECRS [7] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดกระบวนการในการผลิตให้เร็วขึ้น ง่ายขึ้น และลดการใช้แรงงานได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการเครื่องจักรที่สามารถผ่อนแรงหรือลดการใช้แรงต่างๆ ในกระบวนการผลิตผ้าท้องถิ่น

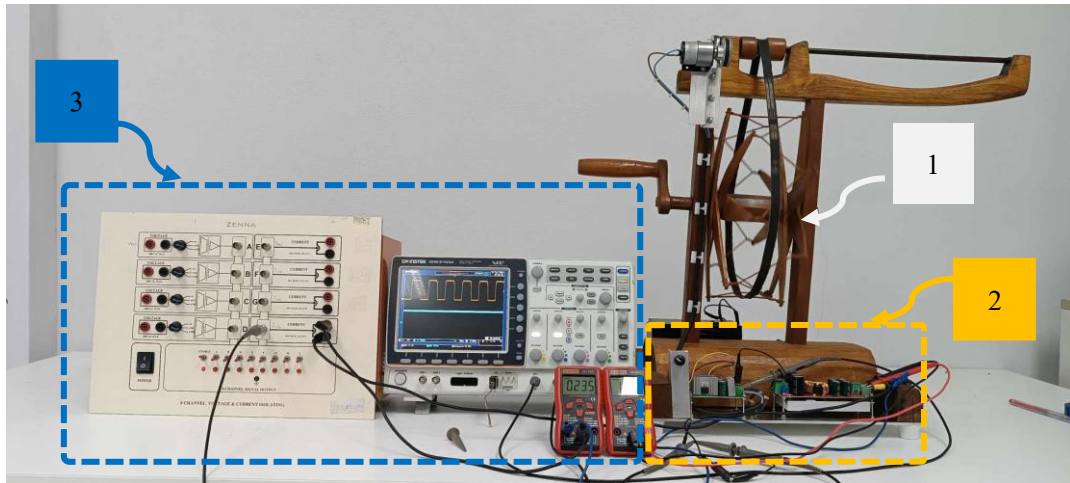
จากที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องกรอด้ายมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือสำหรับช่วยผ่อนแรงในการกรอเส้นด้ายของคน หรือผู้สูงอายุที่กรอหรือปั่นเส้นด้ายเพื่อลดอาการเมื่อยล้าที่อาจเกิดกับการใช้งานเครื่องกรอด้ายเป็นระยะเวลานาน และยังช่วยให้การทำผ้าท้องถิ่นง่ายและสะดวกมากขึ้น นอกจากนี้ยังคงรักษาการทำผ้าท้องถิ่นให้อยู่คู่กับชุมชนต่อไป

วิธีการวิจัย

ในการศึกษาและการพัฒนาเครื่องกรอด้ายมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือครั้งนี้ คณะผู้วิจัยมีวิธีการกำหนดรูปแบบการวิจัยเพื่อให้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ สมมติฐานและขอบเขตของการวิจัย โดยสามารถเรียงเป็นลำดับขั้นตอนได้ดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลงานวิจัยและเอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบการพัฒนาเครื่องกรอด้ายมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือ
3. สร้างการพัฒนาเครื่องกรอด้ายมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือ
4. เก็บผลข้อมูลการพัฒนาเครื่องกรอด้ายมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือ
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองงานวิจัย

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องกรอด้ายมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือ โดยการนำเครื่องกรอด้ายเดิมจากผู้ใช้มาพัฒนาให้มีระบบการควบคุมความเร็วของแกนหมุนแกนกรอด้าย โดยติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 15 วัตต์ จำนวน 1 ตัว โดยมีอัตราทดรอบเหลือเพียง 40 รอบต่อนาที จาก 3000 รอบต่อนาที ทำให้ได้แรงบิดที่เพียงพอต่อการใช้งานสำหรับแกนหมุนของเครื่องกรอด้าย ทั้งนี้ผู้วิจัยยังคงภูมิปัญญาดั้งเดิมของท้องถิ่นสำหรับการทำเครื่องกรอด้ายไว้ เพื่อเป็นองค์ความรู้เดิมแก่ผู้ศึกษาว่าเครื่องกรอด้ายแบบดั้งเดิมนั้นมีการสร้างขึ้นมาอย่างไร โดยที่เครื่องกรอด้ายที่ทำการพัฒนานั้นสามารถออกแบบได้ดังภาพที่ 1

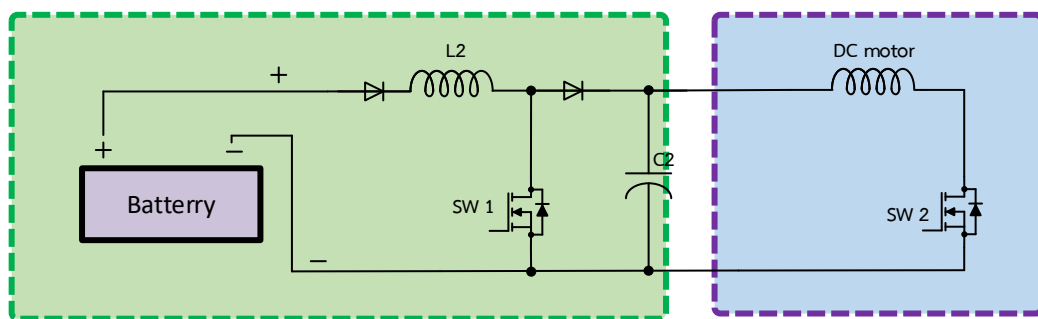


ภาพที่ 1 แสดงการพัฒนาเครื่องกรอด้วยมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับการลดการหมุนด้วยมือขณะทำการเก็บผลการทดลอง

จากภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างเครื่องกรอด้วยมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือ โดยในภาพประกอบเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสำหรับวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ใช้งาน และวงจรควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงร่วมกับวงจรประกอบอื่น ๆ โดยส่วนประกอบต่างของภาพที่ 1 สามารถแสดงตามหมายเลขที่กำหนดได้ดังนี้

1. เครื่องกรอด้วยมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือ
2. วงจรควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงร่วมกับวงจรประกอบอื่น ๆ
3. เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสำหรับวัดค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ใช้งาน

ซึ่งสำหรับวงจรภาคกำลังของเครื่องกรอด้วยมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือนั้น สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 วงจรภาคกำลังที่ใช้สำหรับการทำงานของเครื่องกรอด้วยมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือ

จากภาพที่ 2 จะประกอบไปด้วยวงจรหลัก 2 วงจรคือ วงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้าและวงจรควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีการทำงานดังนี้คือ ในส่วนภาคแรกเป็นวงจรทบทระดับแรงดันไฟฟ้า โดยจะรับแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ 12 โวลต์ จากนั้นจะทำการทบทระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ 24 โวลต์ สำหรับจ่ายกำลังไฟฟ้าไปต่อยังชุดควบคุม

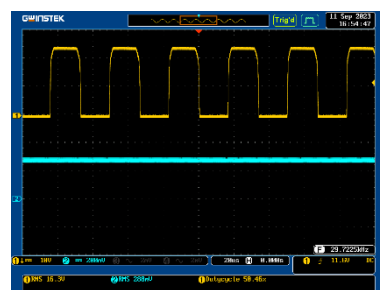
ความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอีกที หลังจากวงจรระดับแรงดันไฟฟ้าสร้างแรงดันไฟฟ้าตามแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการแล้ว แรงดันไฟฟ้าส่วนนี้จะถูกจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังมอเตอร์ไฟฟ้าผ่านวงจรในส่วนที่สอง คือ วงจรควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับควบคุมความเร็วการหมุนของมอเตอร์แกนหมุนเพื่อป้องกันการหมุนของแกนกรอด้ายให้มีความเร็วตามที่ต้องการ โดยวิธีการปรับความเร็วสามารถปรับสัญญาณขับสวิทซ์กำลังที่ตัวต้านทานปรับค่าได้บริเวณฐานด้านขวามือของเครื่อง โดยการหมุนตัวต้านทานนั้นจะเป็นการปรับค่าคาบเวลาการทำงานของสวิทซ์กำลังอีกที เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้มีการทำงานตามความเร็วที่ต้องการ ซึ่งสามารถแสดงผลได้จากภาพที่ 3 – 6 ในผลการวิจัยและอภิปรายผลต่อไป

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

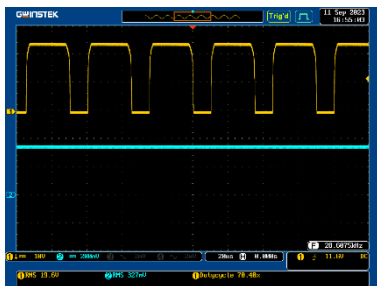
การพัฒนาเครื่องกรอด้ายมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือครั้งนี้เพื่อช่วยลดใช้แรงในการกรอเส้นด้าย โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะช่วยให้สามารถลดแรง หรือผ่อนแรงในการปั่นเพื่อกรอเส้นด้ายทำให้สามารถกรอด้ายอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้สูงอายุไม่ปวดเมื่อยในการกรอเส้นด้าย โดยในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบการทำงานของเครื่องกรอด้ายมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยทำการทดลอง ด้วยการปรับสัญญาณขับสวิทซ์กำลัง ณ คาบเวลาการสวิทซ์ที่เปอร์เซ็นต์การทำงานที่น้อยไปจนถึงการทำงานที่ 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการวัดสัญญาณขับสวิทซ์กำลัง กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าใช้งานที่ตกคร่อมมอเตอร์ขณะนั้น โดยจะทำการแสดงผลการเก็บข้อมูลของสัญญาณสวิทซ์ทำงานที่ 3.16 เปอร์เซ็นต์ 50.46 เปอร์เซ็นต์ 70.40 เปอร์เซ็นต์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงตามภาพที่ 3-6 ตามลำดับ



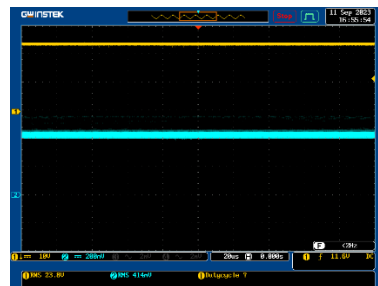
ภาพที่ 3 แสดงผลการเก็บข้อมูลของสัญญาณสวิทซ์ทำงานที่ 3.16 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4 แสดงผลการเก็บข้อมูลของสัญญาณสวิทซ์ทำงานที่ 50.46 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 5 แสดงผลการเก็บข้อมูลของสัญญาณสวิทซ์ทำงานที่ 70.40 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 6 แสดงผลการเก็บข้อมูลของสัญญาณสวิทซ์ทำงานที่ 100 เปอร์เซ็นต์

จากภาพที่ 3 แสดงผลการเก็บข้อมูลของสัญญาณสวิตซ์ทำงานที่ 3.16 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีแรงดันไฟฟ้าใช้งานตกคร่อมที่มอเตอร์ 2.7 โวลต์ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ 141 มิลลิแอมป์ ซึ่งตอนนี้มอเตอร์ยังไม่หมุน

จากภาพที่ 4 แสดงผลการเก็บข้อมูลของสัญญาณสวิตซ์ทำงานที่ 50.46 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีแรงดันไฟฟ้าใช้งานตกคร่อมที่มอเตอร์ 16.3 โวลต์ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ 288 มิลลิแอมป์ โดยพบว่ามอเตอร์ได้มีการหมุนก่อนหน้าที่สัญญาณสวิตซ์ทำงานที่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์แล้ว โดยการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้ามีความเร็วที่เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 5 แสดงผลการเก็บข้อมูลของสัญญาณสวิตซ์ทำงานที่ 70.40 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีแรงดันไฟฟ้าใช้งานตกคร่อมที่มอเตอร์ 19.6 โวลต์ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ 327 มิลลิแอมป์ โดยพบว่ามอเตอร์มีความเร็วที่เพิ่มขึ้นจากเดิม

จากภาพที่ 6 แสดงผลการเก็บข้อมูลของสัญญาณสวิตซ์ทำงานที่ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีแรงดันไฟฟ้าใช้งานตกคร่อมที่มอเตอร์ 23.8 โวลต์ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมอเตอร์ 414 มิลลิแอมป์ โดยพบว่ามอเตอร์มีความเร็วที่เพิ่มขึ้นจากเดิม

จากผลการทดสอบการทำงานของเครื่องกรอด้วยมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจากภาพที่ 3-6 ในการเก็บผลข้อมูลพบว่าเครื่องกรอด้วยมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือ ที่ได้รับการพัฒนานั้นสามารถปรับความเร็วรอบแกนกรอได้ ตามความต้องการของผู้ใช้งานได้ดี

จากภาพที่ 3-6 ในการเก็บผลข้อมูลพบว่าเครื่องกรอด้วยมือหมุนด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือ ที่ได้รับการพัฒนานั้นสามารถปรับความเร็วรอบแกนกรอได้ ตามความต้องการของผู้ใช้งานได้ดี โดยการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสมการที่ 1 ดังนี้คือ

$$\omega = \frac{Vt - IaRa}{k\phi} \quad (1)$$

โดยที่	ω	คือ ความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
	Vt	คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว
	Ia	คือ กระแสไฟฟ้าของขดลวดอาร์เมเจอร์
	Ra	คือ ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์
	k	คือ ค่าที่ของมอเตอร์
	ϕ	คือ เส้นแรงแม่เหล็ก

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลการเก็บข้อมูลของของสัญญาณขับสวิตช์ แรงดันตกคร่อมมอเตอร์ และความเร็วมอเตอร์

สัญญาณขับสวิตช์ (เปอร์เซ็นต์)	แรงดันตกคร่อมมอเตอร์ (โวลต์)	ความเร็วรอบมอเตอร์ (รอบต่อนาที)
10	4	0
20	8	0
30	12	80
40	14	90
50	16	120
60	18	130
70	19	150
80	20	170
90	22	180
100	24	200

จากตารางที่ 1 พบว่า เมื่อปรับแรงดันตกคร่อมมอเตอร์มากขึ้นแรงดันก็จะเพิ่มมากขึ้น เช่น เมื่อปรับแรงดันตกคร่อมมอเตอร์ 16 โวลต์ หรือ สัญญาณขับสวิตช์ 50% ความเร็วรอบจะมีความเร็วอยู่ที่ 120 รอบต่อนาที และปรับแรงดันตกคร่อมมอเตอร์ 24 โวลต์ หรือ สัญญาณขับสวิตช์ 100% ความเร็วรอบจะมีความเร็วอยู่ที่ 200 รอบต่อนาที ในทำนองเดียวกัน เมื่อปรับแรงดันตกคร่อมมอเตอร์ลดลงก็ทำให้ความเร็วรอบลดลงเช่นกัน

สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองของการพัฒนาเครื่องกรอด้วยวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการลดการหมุนด้วยมือเพื่อช่วยลดใช้แรงในการกรอเส้นด้าย โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในการขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะช่วยให้สามารถลดแรง หรือผ่อนแรงในการปั่นเพื่อกรอเส้นด้ายทำให้สามารถกรอได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้สูงอายุไม่ปวดเมื่อยในการกรอเส้นด้าย จากผลการทดลองพบว่า การควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์สำหรับควบคุมความเร็วการหมุนของแกนหมุนของเครื่องกรอได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ โดยการปรับคาบเวลาการสวิตช์ของสัญญาณขับสวิตช์กำลัง ซึ่งสามารถปรับเปอร์เซ็นต์การปรับคาบเวลาการสวิตช์ได้ตั้งแต่ 0-100 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้จะให้ความเร็วการหมุนของมอเตอร์ขับแกนหมุนของเครื่องกรอเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณการทำงานของสวิตช์กำลังได้ โดยเครื่องกรอที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถลดการใช้แรงงาน ช่วยผ่อนแรงในการกรอเส้นด้าย ซึ่งเหมาะสำหรับผู้สูงอายุ ซึ่งสามารถนำเครื่องนี้ไปใช้สำหรับชุมชนที่ผลิตเสื้อผ้าจากใยกล้วยงได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ทุนสนับสนุนทุนงานวิจัย และขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อทำการทดสอบ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกภาพ ป้านภูมิ และคณะ. (2560). “การวิจัยและพัฒนาเครื่องปั่นเส้นด้ายจากฝ้ายสำหรับกลุ่มผู้ผลิตรายย่อย”, ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 18 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2560, วันที่ 7-9 กันยายน 2560 ณ อิมแพ็ค เอ็กซิบิชั่น เซ็นเตอร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.
- [2] ศุภินี กล่อมแสร้ เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ และศิริลักษณ์ วงศ์เกษม. (2561). การพัฒนาเครื่องกรอด้วยแบบดรัมสำหรับทอผ้าพื้นเมือง. วารสารเทสตรี้ I-TECH. 13(2), 91-101.
- [3] ภูริพงศ์ อักษรพิมพ์ เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ และเกษร วงศ์เกษม. (2556). “การพัฒนาเครื่องสร้างไหมและเครื่องตีเกลียวเส้นไหมสำหรับไหมอีรี่. ใน การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ครั้งที่ 9 ประจำปี 2556, วันที่ 12-13 กันยายน 2556 ณ คณะสาธาณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [4] อัษฎางค์ บุญศรี และคณะ. (2564). “การออกแบบและสร้างชุดควบคุมการปรับแรงดันแบบ PWM สำหรับการรดน้ำทางการเกษตร ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์”. ใน การประชุมสัมมนาวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (TREC-14), วันที่ 10-12 พฤศจิกายน 2564 ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [5] จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร และมาโนช ริทินโย. (2558). การออกแบบและสร้างเครื่องตีเกลียวเส้นด้าย. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., 8(2). 116-123.
- [6] มาโนช ริทินโย นิคม ลนขุนทด อรุณ อุ๋นโรสง และวิทยา อินทร์สอน. (2560). การพัฒนาเครื่องคันทุกเส้นไหมด้วยเทคนิค ECRS. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 10(2). 52-61.
- [7] มาโนช ริทินโย กัมปนาท ถ่ายสูงเนิน จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร อนุชิต คงฤทธิ์ และ ภรณ์ หลาวทอง. (2563). การพัฒนาชุดปรับระยะเส้นไหมยืนในกระบวนการทอผ้าไหมด้วยเทคนิค ECRS. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 13(1). 173-183.

การฟื้นฟูแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เสื่อมสภาพนำกลับมาใช้งานใหม่โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก

Restoring dilapidated lead-acid batteries using ultrasonic.

อดิศร ทยมา^{1*} นิวัตติ กิจไพศาลสกุล² สกล จิโนสวัสดิ์¹ เอกรัฐ อินท๊ะวงศา² สมพร ตีบซัด² และ วินัย ติะแสง¹
Adisorn Thomya^{1*} Niwat Kitphaisansakul² Skol Jinoswad¹ Aekkarat Intawongsa²
Sompond Tipkod² and Winai Tasang¹

¹สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

²สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

¹Department of Energy Technology, Faculty of Industry Technology, Lampang Rajabhat University

²Department of Industrial Technology, Faculty of Industry Technology, Lampang Rajabhat University.

*Corresponding author: Tel.: 0804965738. E-mail address: adisorn2@hotmail.com

Received: 15 February 2024, Revised: 10 April 2024, Accepted: 24 April 2024, Published online: 30 April 2024

Abstract

This research article describes a method for restoring dead lead batteries so that they can be used again by focusing on testing and evaluating battery performance and efficiency. Battery deterioration is caused by some main factors: Sulfation is the formation of excessive lead sulfate on the plate or lattice, resulting in a reduced chemical reaction area and a decrease in electrical current. The sulfuric acid substance used in the electrochemical reaction has a reduced concentration. Lead batteries used for a long time will accumulate lead sulfate on the plates or mesh panels, causing the performance and efficiency of the battery to decrease. The researcher has a process for reviving the battery using two methods: washing the battery with hot water and cleaning it with an ultrasonic machine in order to reduce the accumulation of lead sulfate. In the results, batteries washed with hot water had a voltage of 1.18% more than before washing, and batteries washed with ultrasonics had a pressure of 1.65% higher than before washing. The results of the discharge test at a constant current of 0.5 - 3.5 amperes showed that ultrasonic cleaning helped to increase the duration of the discharge at various currents, demonstrating the performance of the battery. Discharging at a constant current of 0.5 was not much different from washing with hot water than washing with ultrasonic, but more than 35.90 percent, compared to before washing. Later, the results of the test of discharging at a constant current of 1 - 3.5 amperes found that washing with ultrasonic gave a longer time to discharge the electric charge. Before rinsing with hot water, it was as high as 100 percent. The results of testing to determine the efficiency of battery discharging found that washing with ultrasonic had a maximum power value of 44.23 watts at a potential difference of 12.64 volts, 4.11 percent more than washing with hot water and 8.84 percent more than before washing with a maximum power value of 42.48 watts at a potential difference of 12.14 volts, and before washing it had a maximum power value of 40.63

watts at a potential difference of 11.61 volts. Therefore, based on the results of testing the performance and efficiency of batteries, it can be concluded that ultrasonic cleaning is the best method to help restore lead-acid batteries to new use as ultrasonic cleaning increases the reaction area because lead sulfate is removed from the surface of the battery terminals better than other methods.

Keywords: Battery, Repairing, Ultra-sonic washing, Lead-acid

บทคัดย่อ

บทความงานวิจัยนี้วิธีการฟื้นฟูแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วที่เสื่อมสภาพสามารถนำกลับมาใช้งานได้อีกครั้ง โดยมุ่งเน้นทดสอบประเมินสมรรถนะและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่มีสาเหตุมาจากปัจจัยหลักคือ การเกิดสภาพซัลเฟชั่น คือ การก่อตัวของตะกั่วซัลเฟตบนแผ่นธาตุหรือแผงตาข่ายที่มากเกินไปส่งผลให้พื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาที่ลดลงส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าลดลง และความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกลดลง แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วใช้เวลานานจะมีการสะสมตะกั่วซัลเฟตบนแผ่นธาตุหรือแผงตาข่ายมากทำให้สมรรถนะและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง ผู้วิจัยมีกระบวนการฟื้นฟูสภาพแบตเตอรี่ขึ้นมา ด้วยวิธีการ 2 วิธี คือ การล้างด้วยน้ำร้อน และการล้างด้วยอัลตราโซนิก เพื่อเป็นการลดการสะสมตะกั่วซัลเฟต ผลทดสอบการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่ทำการล้างด้วยน้ำร้อนมีแรงดันมากกว่าก่อนทำการล้างร้อยละ 1.18 และแบตเตอรี่ที่ทำการล้างด้วยอัลตราโซนิกมีแรงดันมากกว่าก่อนทำการล้างร้อยละ 1.65 ผลการทดสอบการคายประจุที่กระแสคงที่ 0.5 – 3.5 แอมแปร์ พบว่าการล้างด้วยอัลตราโซนิกช่วยในการเพิ่มระยะเวลาในการคายประจุไฟฟ้าที่กระแสต่างๆ แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะการทำงานของแบตเตอรี่ การคายประจุที่กระแสคงที่ 0.5 คือการล้างด้วยน้ำร้อนมากกว่าการล้างด้วยอัลตราโซนิกไม่ต่างกันมาก แต่เมื่อเทียบกับก่อนทำการล้างมากกว่าร้อยละ 35.90 ต่อมาผลการทดสอบการคายประจุที่กระแสคงที่ 1 – 3.5 แอมแปร์ พบว่าการล้างด้วยอัลตราโซนิกช่วยให้เวลาในการคายประจุไฟฟ้ามากกว่า การล้างด้วยน้ำร้อนและก่อนทำการล้างมีค่ามากที่สุดถึงร้อยละ 100 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่การคายประจุพบว่าการล้างด้วยอัลตราโซนิกจะมีค่ากำลังไฟสูงสุดเท่ากับ 44.23 วัตต์ ที่ความต่างศักย์ 12.64 โวลต์ มากกว่าการล้างด้วยน้ำร้อนร้อยละ 4.11 และมากกว่าก่อนทำการล้างร้อยละ 8.84 การล้างด้วยน้ำร้อนมีค่ากำลังไฟสูงสุดเท่ากับ 42.48 วัตต์ ที่ความต่างศักย์ 12.14 โวลต์ และก่อนทำการล้างมีค่ากำลังไฟสูงสุดเท่ากับ 40.63 วัตต์ ที่ความต่างศักย์ 11.61 โวลต์ ดังนั้นผลทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สรุปได้ว่าการล้างด้วยอัลตราโซนิกจะเป็นวิธีการที่จะช่วยให้การฟื้นฟูแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดกลับมาใช้งานใหม่ที่ดีที่สุดเนื่องจาก การล้างด้วยอัลตราโซนิกช่วยเพิ่มพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาเนื่องจากตะกั่วซัลเฟตหลุดออกไปจากผิวของขั้วแบตเตอรี่ได้ดีกว่าวิธีอื่น

คำสำคัญ: แบตเตอรี่, การฟื้นฟู, การล้างด้วยอัลตราโซนิก, ตะกั่วกรด

บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันการใช้งานแบตเตอรี่มีการใช้งานกันเป็นจำนวนมาก และทุกคันต้องมีแบตเตอรี่สำหรับใช้งานจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ต่างๆ จึงมีความสำคัญมากต่อระบบการทำงาน เมื่อมีความสำคัญมากจึงต้องมีการบำรุงรักษาให้มีสภาพการใช้งานให้คงสมบูรณ์ตลอดเวลา เป็นผลให้มีการใช้งานแบตเตอรี่แล้วต้องเปลี่ยนใหม่อยู่ทุกๆ 3-5 ปี ทำให้มีขยะมีพิษเพิ่มขึ้นเป็นปริมาณมาก ซึ่งยากต่อการกำจัดให้หมดไปหรือมีการกำจัดได้อย่างปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม จึงคิดทำการวิจัยซ่อมบำรุง และปรับปรุงแบตเตอรี่เก่าให้กลับมาใช้งานได้อีกครั้ง แม้จะไม่เต็มประสิทธิภาพเช่นเดิมแต่ช่วยลดปริมาณขยะที่ปนเปื้อนสารพิษได้ไปในตัว [1-5]

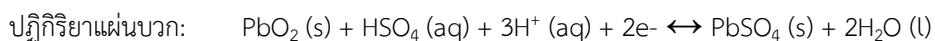
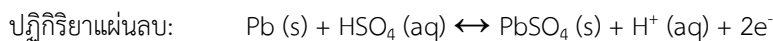
จากปัญหาดังกล่าวได้มีการพัฒนากระบวนการฟื้นฟูแบตเตอรี่เก่าให้กลับมาใช้งานใหม่ได้และลดปัญหาขยะที่เกิดจากสารเคมีในแบตเตอรี่ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นภาระประหยัดค่าใช้จ่ายในการที่ต้องซื้อแบตเตอรี่ใหม่บ่อยๆ โดยมีการวิจัยเครื่องฟื้นฟูแบตเตอรี่ต่างๆ อย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันแต่เครื่องฟื้นฟูแบตเตอรี่ยังมีราคาค่อนข้างแพงและนำเข้าจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ [6-7]

การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่มีสาเหตุมาจากปัจจัยหลักคือ การเกิดสภาพซัลเฟชัน คือ การก่อตัวของตะกั่วซัลเฟต บนแผ่นธาตุหรือแผงตาข่ายที่มากเกินไปส่งผลให้พื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาที่ลดลงส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าลดลงและความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกลดลง แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วใช้เวลานานจะมีการสะสมตะกั่วซัลเฟตบนแผ่นธาตุหรือแผงตาข่ายมากทำให้สมรรถนะและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง คณะผู้วิจัยแนวคิดในการฟื้นฟูแบตเตอรี่ขึ้นโดยการศึกษาการเปรียบเทียบการใช้งานแบตเตอรี่ในแบบทั้ง 3 ชนิดได้แก่ แบตเตอรี่เก่า การล้างแบตเตอรี่ด้วยน้ำร้อน การล้างแบตเตอรี่ด้วยอัลตราโซนิค เพื่อหาวิธีที่จะช่วยให้การฟื้นฟูแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดกลับมาใช้งานใหม่ที่ดีที่สุดเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพฟื้นฟูแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มีกระบวนการทำวิจัยและการดำเนินงานแสดงรูปที่ 1 โดยเริ่มจากศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการออกแบบการทดลองโดย ทำการทดลองอยู่ 3 แบบได้แก่ ทดสอบคุณภาพแบตเตอรี่แบบเดิม แบบการล้างด้วยน้ำร้อน และแบบทำการล้างด้วยอัลตราโซนิค ทำการบันทึกผลการทดสอบโดยเก็บค่า ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และเวลาที่ใช้ในการดีดกระแส แล้วนำผลที่ได้มาใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพและสมรรถนะของแบตเตอรี่ 2 วิธีการคือ 1. วิธีการอัดประจุ (Charge) 2. วิธีการคายประจุ (Discharge) ทำการเปรียบเทียบการใช้งานแบตเตอรี่ในแบบทั้ง 3 แบบ จากนั้นนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลต่อไป

ปฏิกิริยาเคมีในแบตเตอรี่ [2,9]



รูปที่ 1 กระบวนการทำวิจัยและการดำเนินงาน

การทดสอบการอัดประจุ (Charge) [10] การชาร์จจะอยู่ในกระแสคงที่ 6 แอมป์ และการคำนวณดังนี้
 เนื่องจากน้ำกรดซัลฟิวริก 1.348 mol/L ปริมาณ 650 ซีซี 650 cc. = 0.65 C = 1.348 mol/L V = 650 ml
 โดยการใช้สูตร

$$n = CV/1000$$

เมื่อ n คือ จำนวนโมลของตัวละลาย
 C คือ ความเข้มข้น หน่วย mol/dm³
 V คือ ปริมาตรของสารละลาย หน่วย cm³

ดังนั้น

$$n = 1.348 * 650/1000$$

$$= 0.85762 \text{ โมล}$$

การหาค่าประจุ Q

$$Q = nF$$

$$= 0.85762 * 96,485$$

$$= 84,540.157 \text{ คุลอมป์}$$

การหาเวลาในการชาร์จ จากสมการ

$$Q = IT$$

เมื่อ Q คือ ประจุ หน่วย คุลอมป์ C
 I คือ กระแส หน่วย แอมป์ A
 T คือ เวลาในการประจุ หน่วย S
 ดังนั้นจะได้เวลาในการประจุเท่ากับ 3.91 ชั่วโมง

การทดสอบสมรรถนะ

อุปกรณ์ใช้ในการทดสอบ

- 1) น้ำกลั่น/น้ำร้อน
- 2) ที่ชาร์จไฟสำหรับแบตเตอรี่ 6 แอมแปร์
- 3) เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 6-12 โวลต์ ขนาด 6 แอมแปร์
- 4) แบตเตอรี่ขนาด 5 แอมแปร์
- 5) DC ELECTRONICS LOAD 400 W Low Voltage Operating 0.4 Volt Max Current at 80 A Mainframe Max. 2,000 Watt
- 6) มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ CHAUVIN ARNOUX GROUP รุ่น F405
- 7) เครื่องล้างอัลตราโซนิค Model: SM-2005 100 Watt 1 Phrase ความจุ 5 L
- 8) น้ำกรด/กรดซัลฟิวริก 1.348 mol/L

ขั้นตอนที่ 1 การตรวจสอบความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าของแบตเตอรี่เก่า

- 1) ตรวจสอบแบตเตอรี่ ดูลักษณะภายนอก ต้องลักษณะดีไม่บวม
- 2) ตรวจสอบดูลักษณะแผ่นธาตุและขั้วว่าบวม แฉกหรือไม่ พร้อมกับวัดแรงดันที่ตกค้างในแบตเตอรี่
- 3) นำไปชาร์จไฟ ด้วยเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ 6 A
- 4) ตรวจวัดไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ ต้องมีแรงดันไม่น้อยกว่า 12.5 Volt จึงจะถือว่ายังสามารถนำกลับมาใช้งานได้
- 5) ทดสอบดึงกระแสไฟฟ้า จาก 0.5, 1, 2, 3.5 A ตามลำดับ
- 6) จัดทำตารางข้อมูลผลการทดสอบและจัดทำกราฟแสดงค่าแรงดัน กำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 2 การล้างด้วยน้ำร้อนของแบตเตอรี่

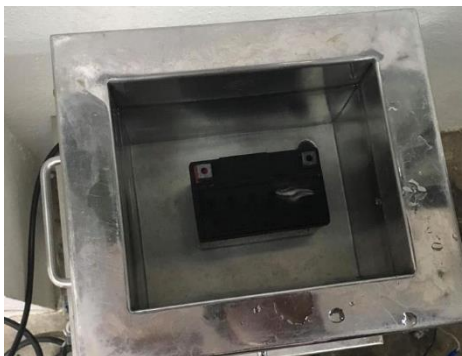
- 1) ทำการล้างแบตเตอรี่ด้วยน้ำอุณหภูมิสูง (ระหว่าง 70 ถึง 90 องศาเซลเซียส) และวัดค่า pH ของน้ำร้อน
- 2) รอให้น้ำร้อนซึมเข้าไปในแผ่นธาตุที่มีตะกั่วซัลเฟตเกาะอยู่ ประมาณ 30 นาที เขย่าเป็นระยะทุกๆ 10 นาที
- 3) เทน้ำกลั่นทิ้ง เช็ดแบตเตอรี่ให้แห้งและนำไปตากให้แบตเตอรี่แห้ง
- 4) เติมน้ำกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 1.348 mol/L ความถ่วงจำเพาะที่ 1,250 จำนวน 9 cc. ลงไปในแบตเตอรี่แต่ละช่อง
- 5) สังเกตถึงปฏิกิริยา ต้องพบว่าไม่มีกลิ่นฉุนหรือฟอง วัดแรงดันที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ทำให้ทราบถึง ผลของปฏิกิริยาเคมีที่มีต่อแบตเตอรี่เมื่อเติมน้ำกรดลงไปก่อนการชาร์จ
- 6) ประจุไฟฟ้าเข้าไปในแบตเตอรี่และตรวจวัดกระแสจากเครื่องชาร์จที่ไหลเข้าแบตเตอรี่
- 7) ทดสอบดึงกระแสไฟฟ้า จาก 0.5, 1, 2, 3, 3.5 A ตามลำดับ เพื่อทดสอบความสามารถในการจ่ายประจุ
- 8) จัดทำตารางข้อมูลผลการทดสอบและจัดทำกราฟแสดงค่าแรงดัน กำลังไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2 วัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าไปในแบตเตอรี่

ขั้นตอนที่ 3 การล้างด้วยเครื่องอัลตราโซนิก

- 1) ตูดและเทน้ำกรดทิ้ง พร้อมกับทำความสะอาดแบตเตอรี่ด้วยน้ำกลั่นจนไม่มีกลิ่นน้ำกรดซัลฟิวริก
- 2) ใส่ น้ำกลั่นลงไปในแบตเตอรี่ให้ท่วมแผ่นธาตุแล้วนำไปเข้าเครื่องอัลตราโซนิก นาน 30 นาที



รูปที่ 3 เครื่องล้างอัลตราโซนิก Model:SM-2005 100 Watt 1 Phase ความจุ 5 L

- 3) เทน้ำกลั่นในแบตเตอรี่ออกแล้วล้างแบตเตอรี่ จากนั้น ทำซ้ำข้อ 2. อีก 2 ครั้ง
- 4) เติมน้ำกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 1.348 mol/L จำนวน 9 cc. ลงไปในแบตเตอรี่แต่ละช่อง
- 5) สังเกตถึงปฏิกิริยา ต้องพบว่าไม่มีกลิ่นฉุนหรือฟอง วัดแรงดันที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ทำให้ทราบถึง ผลของปฏิกิริยาเคมีที่มีต่อแบตเตอรี่เมื่อเติมน้ำกรดลงไปก่อนการชาร์จ
- 6) .ประจุไฟฟ้าเข้าไปในแบตเตอรี่และตรวจวัดกระแสจากเครื่องชาร์จที่ไหลเข้าแบตเตอรี่
- 7) ทดสอบดึงกระแสไฟฟ้า จาก 0.5, 1, 2, 3, 3.5 A ตามลำดับ เพื่อทดสอบความสามารถในการจ่ายประจุ
- 8) จัดทำตารางข้อมูลผลการทดสอบและจัดทำกราฟแสดงค่าแรงดัน กำลังไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 (ก) แบตเตอรี่ก่อนการดึงโหลด

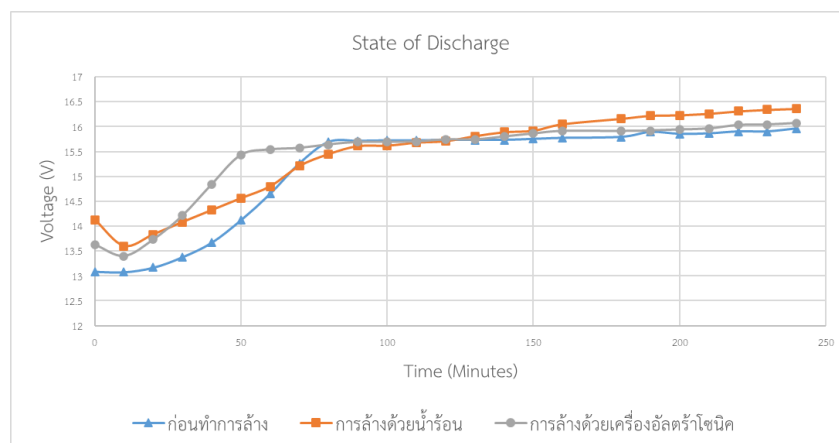
(ข) การทดสอบความสามารถในการจ่ายประจุ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การประจุแบตเตอรี่

ตารางที่ 1 การประจุแบตเตอรี่

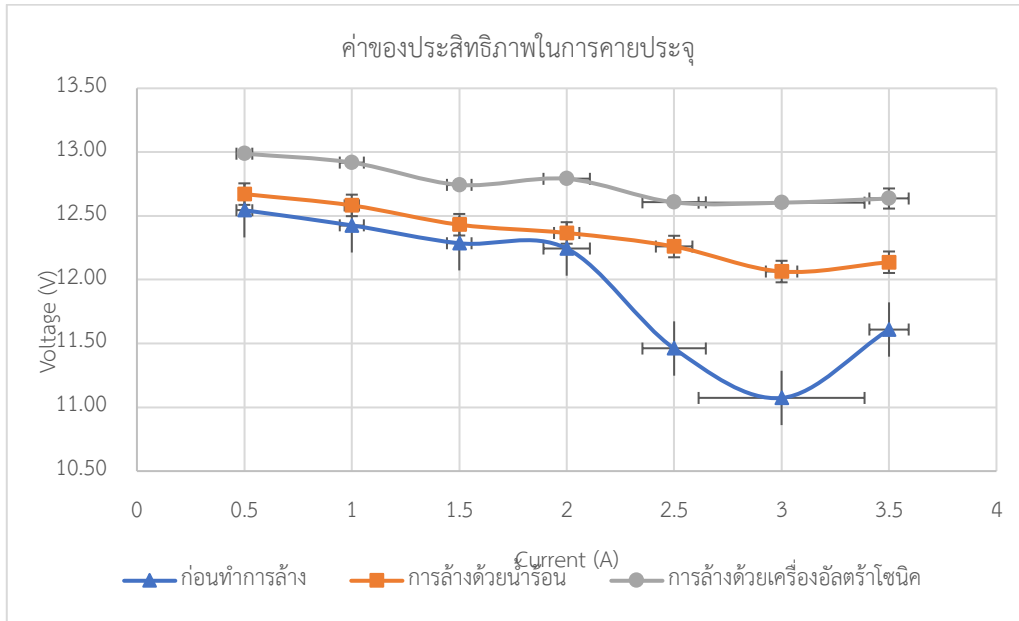
สถานะของแบตเตอรี่	ความต่างศักย์(V)ก่อนทำการประจุแบตเตอรี่
แบตเตอรี่ก่อนทำการล้าง	13.09
ล้างด้วยน้ำร้อน	14.13
ล้างด้วยเครื่องอัลตราโซนิค	13.63



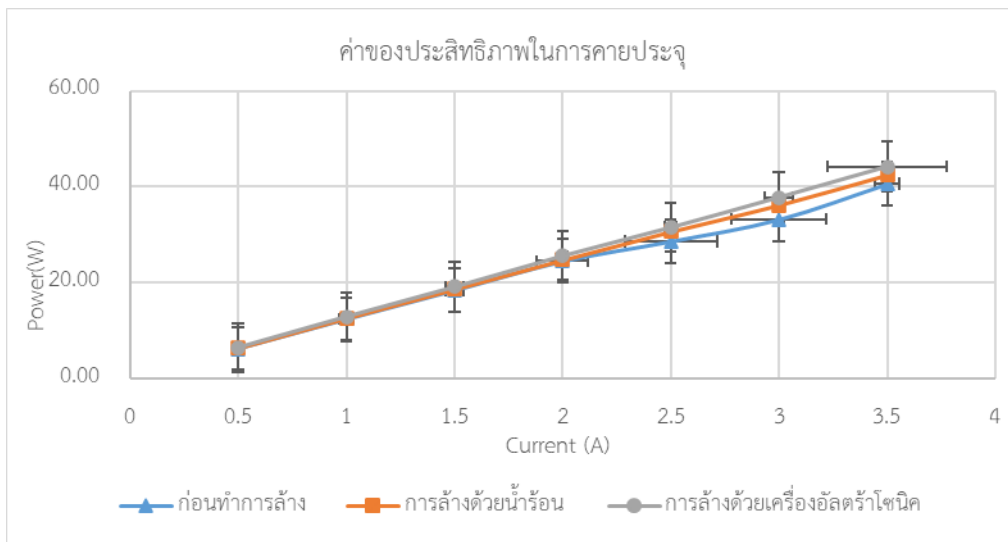
รูปที่ 5 กราฟแสดงสถานะภาพการชาร์จแบตเตอรี่

จากผลทดสอบการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่ทำการล้างด้วยน้ำร้อนมีแรงดันมากกว่าก่อนทำการล้างร้อยละ 1.18 และ แบตเตอรี่ที่ทำการล้างด้วยเครื่องอัลตราโซนิคมีแรงดันมากกว่าก่อนทำการล้างร้อยละ 1.65

ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ของการคายประจุ



(ก)



(ข)

รูปที่ 6 กราฟแสดงประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

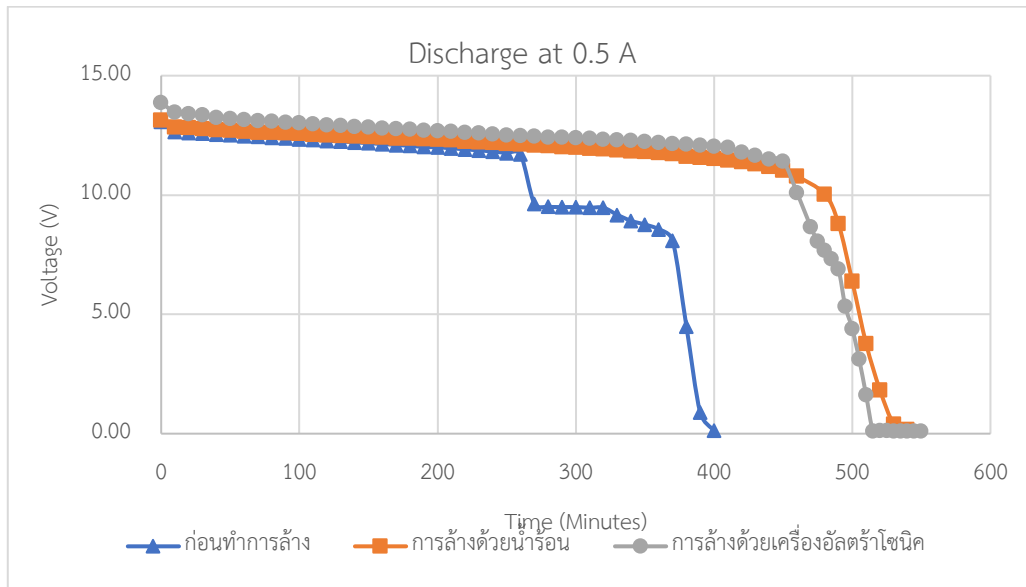
(ก) กราฟแสดงการเปรียบเทียบความต่างศักย์ไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าต่างๆ

(ข) กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้าต่างๆ

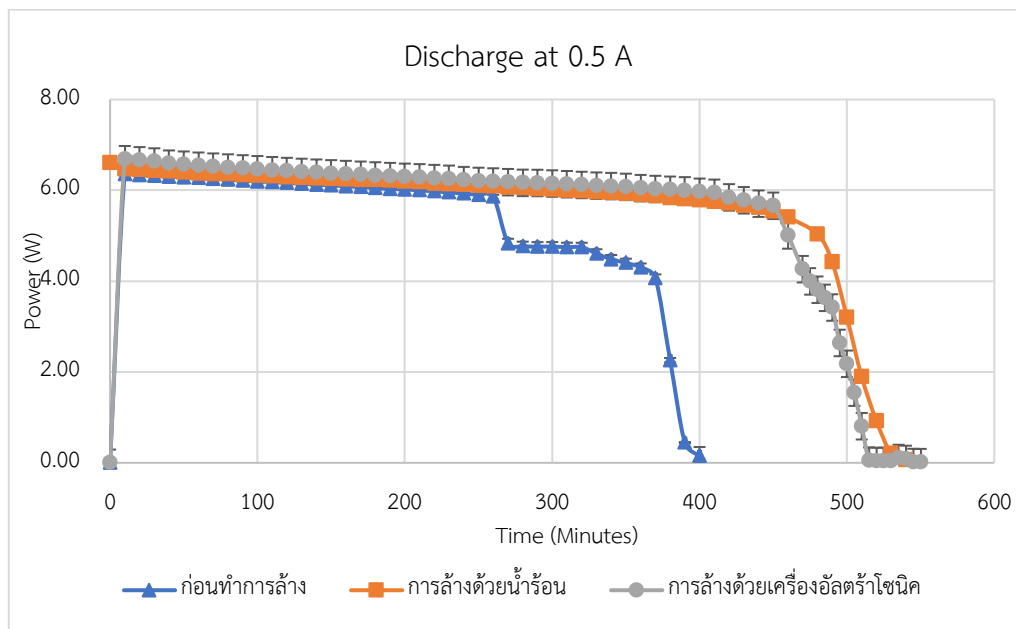
จากรูปที่ 6 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่การคายประจุพบว่าหลังจากการล้างด้วยอัลตราโซนิคจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 44.23 วัตต์ ที่ความต่างศักย์ 12.64 โวลต์ มากกว่าการล้างด้วยน้ำร้อนร้อยละ 4.11 และมากกว่าก่อนทำการล้างร้อยละ 8.84 การล้างด้วยน้ำร้อนมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 42.48 วัตต์ ที่ความต่างศักย์ 12.14 โวลต์ และก่อนทำการล้างมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 40.63 วัตต์ ที่ความต่างศักย์ 11.61 โวลต์

ผลการทดสอบสมรรถนะแบตเตอรี่

ทำการทดสอบคายประจุโดยใช้กระแสไฟฟ้าคงที่ 0.5 - 3.5 แอมแปร์



(ก)



(ข)

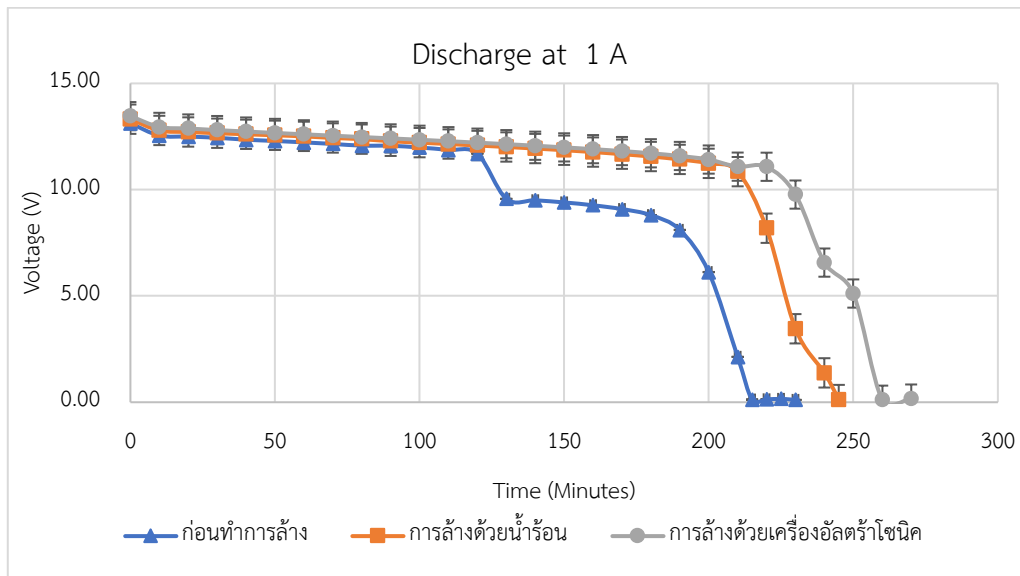
รูปที่ 7 กราฟแสดงค่ากระแสและเวลาเมื่อคายประจุที่กระแสคงที่ 0.5 แอมแปร์

(ก) กราฟแสดงการเปรียบเทียบความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ

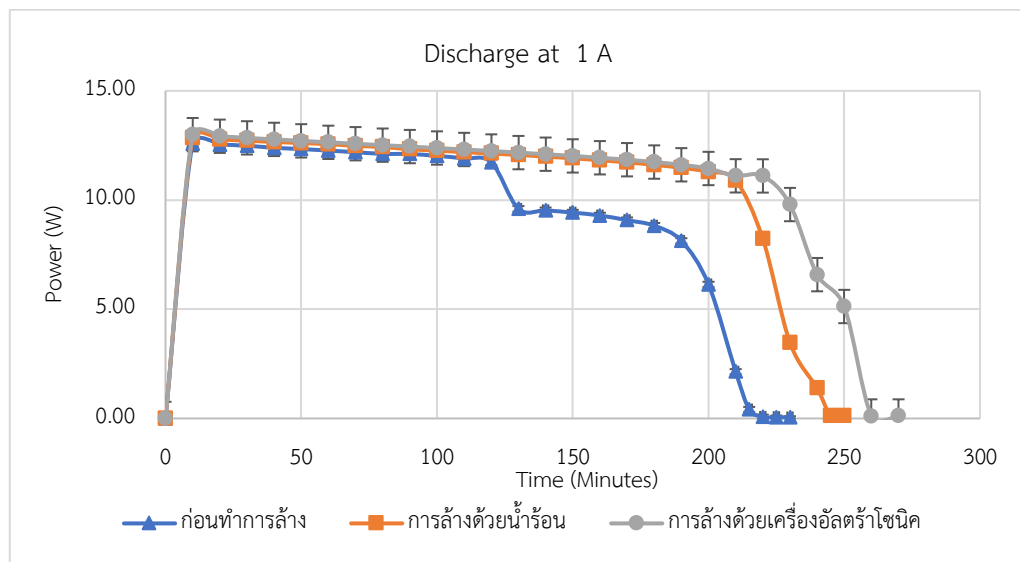
(ข) กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ

จากรูปที่ 7 แสดงผลการคายประจุที่กระแสคงที่ 0.5 แอมแปร์ ดังนี้ ก่อนทำการล้างแรงดันที่เวลาเริ่มต้น คือ 13.08 โวลต์ ใช้เวลาทั้งหมด 390 นาที การล้างด้วยน้ำร้อนมีแรงดันที่เวลาเริ่มต้น คือ 13.15 โวลต์ ใช้เวลาทั้งหมด 530 นาที และการล้างด้วยอัลตราโซนิกมีแรงดันที่เวลาเริ่มต้น คือ 13.87 โวลต์ การล้างด้วยอัลตราโซนิกถึงกระแสคงที่ได้ถึง 510 นาที ดังนั้นการ

คายประจุที่กระแสคงที่ 0.5 แอมแปร์พบว่า วิธีการล้างด้วยน้ำร้อนให้เวลามากกว่าการล้างด้วยอัลตราโซนิกร้อยละ 3.92 และมากกว่าก่อนทำการล้างร้อยละ 35.90



(ก)



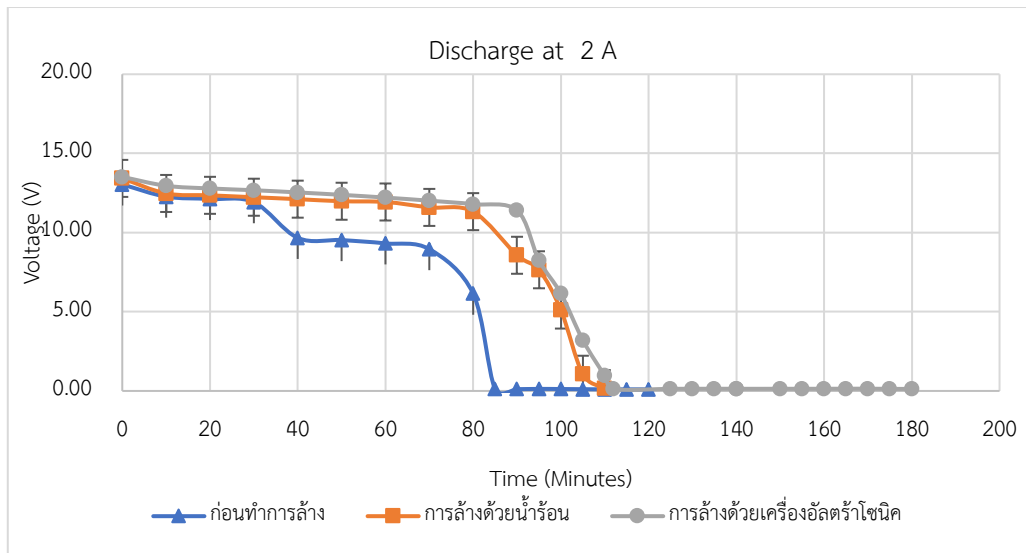
(ข)

รูปที่ 8 กราฟแสดงค่ากระแสและเวลาเมื่อคายประจุที่กระแสคงที่ 1 แอมแปร์

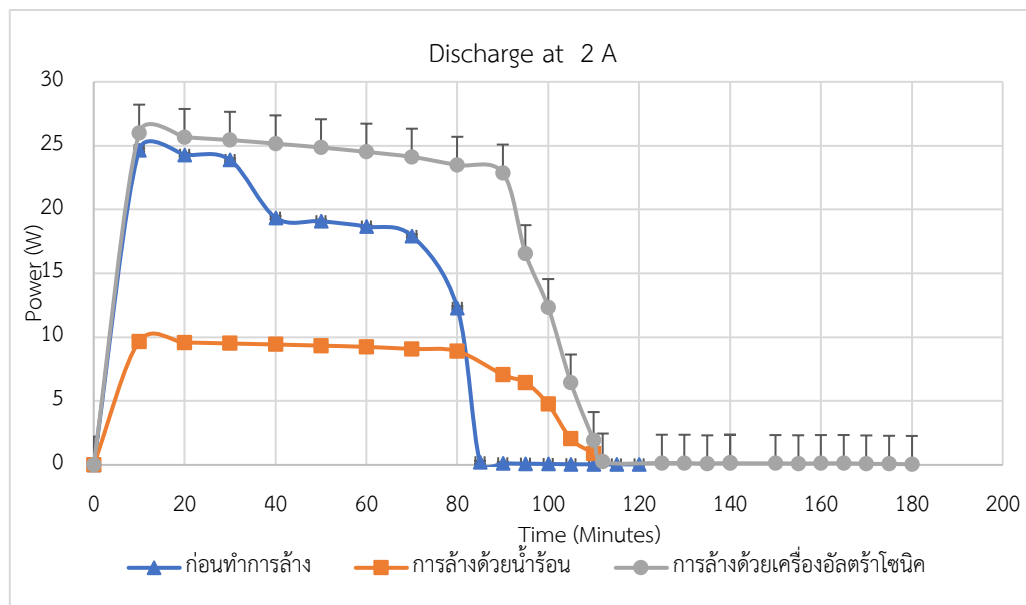
(ก) กราฟแสดงการเปรียบเทียบความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ

(ข) กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ

จากรูปที่ 8 แสดงผลการทดสอบการคายประจุที่กระแสคงที่ 1 แอมแปร์ ดังนี้ ก่อนทำการล้างแรงดันที่เวลาเริ่มต้น คือ 13.12 โวลต์ ใช้เวลาทั้งหมด 210 นาที การล้างด้วยน้ำร้อนแรงดันที่เวลาเริ่มต้น คือ 13.31 โวลต์ ใช้เวลาทั้งหมด 250 นาที และการล้างด้วยอัลตราโซนิกแรงดันที่เวลาเริ่มต้น คือ 13.46 โวลต์ การล้างด้วยอัลตราโซนิกถึงกระแสคงที่ได้ถึง 260 นาที ดังนั้นการคายประจุที่กระแสคงที่ 1 แอมแปร์พบว่า วิธีการล้างด้วยอัลตราโซนิกให้เวลามากกว่าการล้างด้วยน้ำร้อนร้อยละ 4.00 และมากกว่าก่อนทำการล้างร้อยละ 23.81



(ก)



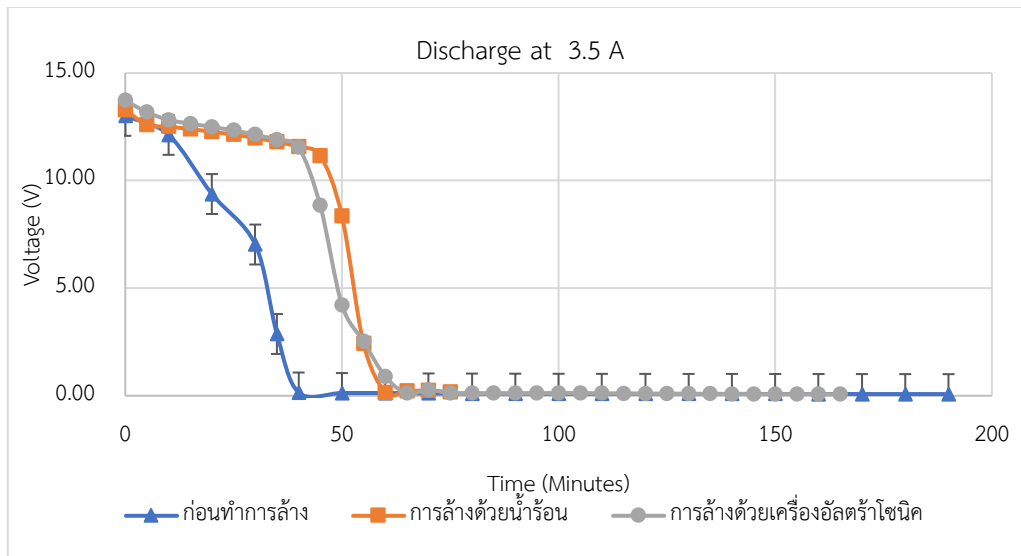
(ข)

รูปที่ 9 กราฟแสดงค่ากระแสและเวลาเมื่อคายประจุที่กระแสคงที่ 2 แอมแปร์

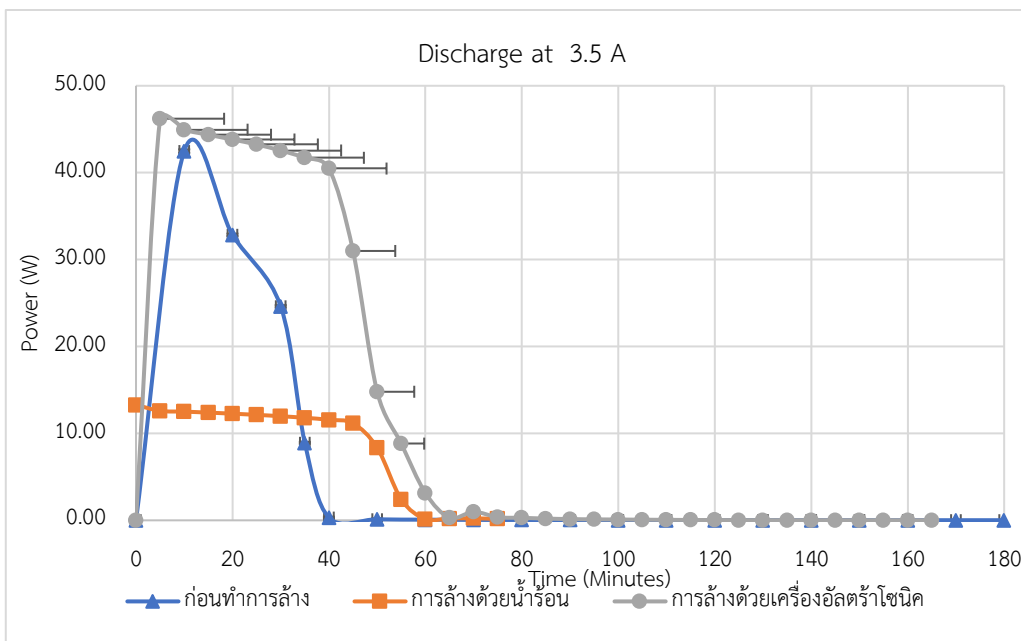
(ก) กราฟแสดงการเปรียบเทียบความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ

(ข) กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ

จากรูปที่ 9 ผลการทดสอบการคายประจุที่กระแสคงที่ 2 แอมแปร์ ดังนี้ ก่อนทำการล้างแรงดันที่เวลาเริ่มต้น คือ 13.04 โวลต์ ใช้เวลาทั้งหมด 75 นาที การล้างด้วยน้ำร้อนแรงดันที่เวลาเริ่มต้น คือ 13.42 โวลต์ ใช้เวลาทั้งหมด 110 นาที และการล้างด้วยอัลตราโซนิกแรงดันที่เวลาเริ่มต้น คือ 13.49 โวลต์ การล้างด้วยอัลตราโซนิกถึงกระแสคงที่ได้ถึง 120 นาที ดังนั้นการคายประจุที่กระแสคงที่ 2 แอมแปร์พบว่า วิธีการล้างด้วยอัลตราโซนิกให้เวลามากกว่าการล้างด้วยน้ำร้อนร้อยละ 9.09 และ มากกว่าก่อนทำการล้างร้อยละ 60



(ก)



(ข)

รูปที่ 10 กราฟแสดงค่ากระแสและเวลาเมื่อคายประจุที่กระแสคงที่ 1 แอมแปร์

(ก) กราฟแสดงการเปรียบเทียบความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ

(ข) กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ

จากรูปที่ 10 ผลการทดสอบการคายประจุที่กระแสคงที่ 3.5 แอมแปร์ ดังนี้ ก่อนทำการล้างแรงดันที่เวลาเริ่มต้น คือ 13.01 โวลต์ ใช้เวลาทั้งหมด 30 นาที การล้างด้วยน้ำร้อนแรงดันที่เวลาเริ่มต้น คือ 13.28 โวลต์ ใช้เวลาทั้งหมด 55 นาที และการล้างด้วยอัลตราโซนิกแรงดันที่เวลาเริ่มต้น คือ 13.72 โวลต์ การล้างด้วยอัลตราโซนิกถึงกระแสคงที่ได้ถึง 60 นาที ดังนั้นการคายประจุที่กระแสคงที่ 3.5 แอมแปร์พบว่า วิธีการล้างด้วยอัลตราโซนิกให้เวลามากกว่าการล้างด้วยน้ำร้อนร้อยละ 9.09 และ มากกว่าก่อนทำการล้างร้อยละ 100

สรุปผลการวิจัย

จากผลทดสอบการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่ทำการล้างด้วยน้ำร้อนมีแรงดันมากกว่าก่อนทำการล้างร้อยละ 1.18 และแบตเตอรี่ที่ทำการล้างด้วยอัลตราโซนิคมีแรงดันมากกว่าก่อนทำการล้างร้อยละ 1.65

จากผลการทดสอบการคายประจุที่กระแสคงที่ 0.5 – 3.5 แอมแปร์ พบว่าการล้างด้วยอัลตราโซนิคช่วยในการเพิ่มระยะเวลาในการคายประจุไฟฟ้าที่กระแสต่างๆแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะการทำงานของแบตเตอรี่ การคายประจุที่กระแสคงที่ 0.5 คือการล้างด้วยน้ำร้อนมากกว่าการล้างด้วยอัลตราโซนิคไม่ต่างกันมาก แต่เมื่อเทียบกับก่อนทำการล้างมากกว่าร้อยละ 35.90 ต่อมาผลการทดสอบการคายประจุที่กระแสคงที่ 1 – 3.5 แอมแปร์ พบว่าการล้างด้วยอัลตราโซนิค ช่วยให้เวลาในการคายประจุไฟฟ้ามากกว่า การล้างด้วยน้ำร้อนและก่อนทำการล้างมีค่ามากที่สุดถึงร้อยละ 100

จากผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่การคายประจุพบว่าการล้างด้วยอัลตราโซนิคจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 44.23 วัตต์ ที่ความต่างศักย์ 12.64 โวลต์ มากกว่าการล้างด้วยน้ำร้อนร้อยละ 4.11 และมากกว่าก่อนทำการล้างร้อยละ 8.84 การล้างด้วยน้ำร้อนมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 42.48 วัตต์ ที่ความต่างศักย์ 12.14 โวลต์ และก่อนทำการล้างมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 40.63 วัตต์ ที่ความต่างศักย์ 11.61 โวลต์

ดังนั้นผลทดสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สรุปได้ว่าการล้างด้วยอัลตราโซนิคจะเป็นวิธีการที่จะช่วยให้การฟื้นฟูแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดกลับมาใช้งานใหม่ดีที่สุดเนื่องจาก การล้างด้วยอัลตราโซนิคช่วยเพิ่มพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาเนื่องจากตะกั่วซัลเฟตหลุดออกไปจากผิวของขั้วแบตเตอรี่ได้ดีกว่าวิธีอื่น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ที่ให้เงินสนับสนุนในงานวิจัยนี้จนเป็นผลสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปลอดภัยไว้ก่อนกับแบตเตอรี่ มอก.(2555) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม สมอ.สาร ปีที่ 38 ฉบับที่ 449 พฤศจิกายน
- [2] David Linden, Thomas B. Reddy. (2002). "Handbook of batteries 3d ed" p. cm. Rev. ed. index. ISBN 0-07-135978-8
- [3] Sandhya Prajapati. (2015). Lead Acid Battery Recycling In India. Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) Volume 10, Issue 6 Ver. I (Nov – Dec. 2015).
- [4] ปรีชา สาครรงค์. (2552). "วงจรประจุแบตเตอรี่ที่ใช้หลักการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดสำหรับระบบจักรยานผลิตไฟฟ้า", ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
- [5] เอกรัฐ อินต๊ะวงศา. (2558). "ผลของคลื่นความถี่อัลตราโซนิคและเวลาต่อประสิทธิภาพในการล้างใบเสลี่ยงลันดา", วารสารวิชาการวิทยาสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์, สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, Vol. 8 No. 2 (2015): กรกฎาคม – ธันวาคม 2558.
- [6] บุญเสริม เวชการ. (2550). "การจัดการสิ่งแวดล้อมของแบตเตอรี่รถยนต์ใช้แล้วประเภทตะกั่ว-กรด", สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [7] ฉันทยาภรณ์ ฮอมณี และนางลักขณ์ มีทอง. (2558). "แบตเตอรี่แบบใหม่ในอนาคต", วารสารวิทยาศาสตร์ มข, ปีที่ : 43 ฉบับที่ 1 หน้า 19-27 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- [8] นพรุจ ฤทธานนท์. (2554). “การศึกษาแบบจำลองพลวัตของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด”, ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [9] สมศักดิ์ มีนคร. (2561). “การพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบการคายประจุสูงสำหรับภารกิจทางทหาร”, วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน 2561
- [10] Moseley PT, Nelson RF, Hollenkamp AF. (2006). “The role of carbon in valve-regulated lead-acid battery technology”, J Power S 2006;157:3-10.

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานของต้นแบบยานยนต์ไฟฟ้าประเภท 3 ล้อ

Analysis of the Energy-Saving Efficiency of a Three-Wheeled Electric Vehicle Model

พรหมพักตร์ บุญรักษา¹ วารุณี ศรีสงคราม² วิทยา วงศ์กลาง³ สมมาตร ทองคำ⁴ ยูติ ฉัตรวรานนท์⁴
ธีระพงษ์ บุญรักษา⁵ และบุญเรือง มะรังศรี^{6*}
Promphak Boonraksa¹ Warunee Srisongkram² Wittaya Wongklang³ Sommart Thongkom⁴
Yutti Chatwaranon⁴ Terapong Boonraksa⁵ and Boonruang Marungsri^{6*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 11000

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 11000

³สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช นครศรีธรรมราช 80280

⁴คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี 10170

⁵สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

⁶สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 30000

¹Bachelor of Engineering Program in Mechatronics Engineering Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi 11000

²Engineering Program in Electrical Engineering Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi 11000

³Engineering Program in Mechanical Engineering Technology Nakhon Si Thammarat Rajabhat University Nakhon Si Thammarat 80280

⁴Bangkokthonburi University 10170

⁵Electrical Engineering Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Rattanakosin Nakhon Pathom 73170

⁶Electrical Engineering Faculty of Engineering Suranaree University of Technology 30000

¹Corresponding author: E-mail address: bmsshvee@sut.ac.th

Received: 14 March 2024, Revised: 17 April 2024, Accepted: 24 April 2024, Published online: 30 April 2024

Abstract

This paper aims to analyze the performance of a prototype energy-saving electric vehicle built as a prototype of a 3-wheel energy-saving electric vehicle. It is designed to carry one driver and uses a brushless direct current electric motor (BLDC) with a lithium-ion phosphate battery. The vehicle weighed 35 kilograms in testing, and the driver weighed 55 kilograms. The test run distance is set to be 12 kilometers. Tests were performed using battery input voltages of 24 Vdc and 36 Vdc, and the test results were compared. It was found that during the vehicle's speed of less than 35 km/hr, the power was similar to the simulation, but if

the speed was higher than 35 km/hr, the power was highly inaccurate. The simulation results of the vehicle's acceleration show that the energy consumption will also increase if the acceleration is increased. A comparison of the voltage input results of 24 Vdc and 36 Vdc shows that the energy consumption is not significantly different at 692.50 km/kWh and 690.10 km/kWh, respectively.

Keywords: Acceleration force, Energy consumption, Small electric vehicle

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของต้นแบบยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงานที่ได้สร้างขึ้นเป็นต้นแบบยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงานประเภท 3 ล้อ โดยทำการออกแบบให้สามารถบรรทุกคนขับได้ 1 คน ใช้ต้นกำลังในการขับเคลื่อนเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor: BLDC) ใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต ตัวรถมีน้ำหนักอยู่ที่ 35 กิโลกรัม ในการทดสอบใช้คนขับ น้ำหนัก 55 กิโลกรัม โดยกำหนดระยะทางในการวิ่งทดสอบ 12 กิโลเมตร ทำการทดสอบโดยใช้แรงดันขาเข้าจากแบตเตอรี่ ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 24 Vdc และ 36 Vdc จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลจากการทดสอบ พบว่า ในช่วงที่รถมีความเร็วต่ำกว่า 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่ใช้มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณ แต่ถ้าความเร็วสูงกว่า 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่ใช้มีความคลาดเคลื่อนสูง ผลการจำลองค่าอัตราเร่งของรถแสดงให้เห็นว่าหากมีอัตราเร่งมากขึ้นการใช้พลังงานก็จะมากขึ้นตามไปด้วย การเปรียบเทียบผลการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่ 24 Vdc และ 36 Vdc แสดงให้เห็นว่าค่าความต้องการพลังงานไม่แตกต่างกันที่ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า 692.50 กิโลเมตร/กิโลวัตต์-ชั่วโมง และ 690.10 กิโลเมตร/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ

คำสำคัญ: แรงจากการเร่งความเร็ว, ค่าความต้องการพลังงาน, ยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

บทนำ

ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) มีการใช้งานเพิ่มมากขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากปัจจุบันประชาคมโลกได้มีมาตรการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นประชากรโลกจึงหันมาใช้ยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า และมีการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้ากันอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถทดแทนยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์สันดาปและที่ใช้น้ำมันเบนซิน [1-3] ยานยนต์ไฟฟ้า มีข้อดีหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง ยานยนต์ไฟฟ้าไม่ต้องใช้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันดีเซลหรือเบนซิน แต่ใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งสามารถผลิตจากแหล่งพลังงานหลายแห่ง เช่น พลังงานทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานลม การใช้พลังงานที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิลทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น ก๊าซเรือนกระจกและฝุ่นละออง ดังนั้นการหันมาใช้ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ [4] ยานยนต์ไฟฟ้ามีเสียงเครื่องยนต์ที่น้อยกว่ายานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง ซึ่งทำให้มีเสียงรบกวนต่ำลงในการขับขี่ และช่วยลดมลพิษที่เกิดจากเสียงดัง การใช้งานยานยนต์ไฟฟ้านอกจากนี้ยังมีผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจ เช่น การลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าน้ำมันดิบ รวมถึงส่งเสริมการพัฒนาและการสร้างงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า ความก้าวหน้าของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า ทำให้มีการพัฒนาเป็นยานยนต์ต้นแบบประเภทต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นประเภทยานยนต์ 2 ล้อ 3 ล้อ หรือ 4 ล้อ การออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานนั้น ต้องคำนึงถึงค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ อากาศพลศาสตร์ การกระจายน้ำหนัก ระยะทางการขับเคลื่อน ความเร็ว เวลาในการประจุไฟฟ้า และประสิทธิภาพโดยรวมของระบบขับเคลื่อน เมื่อทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการออกแบบเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนการสร้างต้นแบบยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน ซึ่งมีส่วนประกอบ ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า

ชุดแบตเตอรี่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับการขับเคลื่อน และระบบควบคุม อย่างไรก็ตาม ยังต้องคำนึงถึงคุณสมบัติด้านความปลอดภัยของยานยนต์ไฟฟ้าด้วย [5-7]

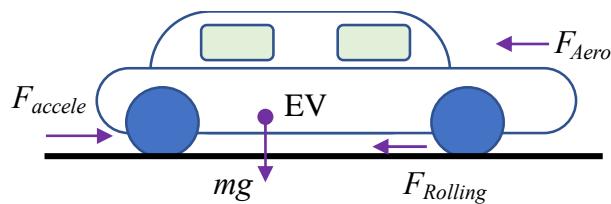
ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน 3 ล้อต้นแบบ ด้วยการประเมินจากผลการจำลองเปรียบเทียบกับ การทดสอบศึกษาอัตราเร่งที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า และศึกษาแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์สองระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อที่จะสามารถนำผลไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงานและมีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้า ประเภท 3 ล้อ
2. เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน 3 ล้อต้นแบบ
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงานเมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนแตกต่างกัน

วิธีการวิจัย

การออกแบบระบบยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน จำเป็นที่จะต้องระบุพารามิเตอร์ที่ในการออกแบบ ความต้องการพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าพื้นฐาน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากแรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่โดยการประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน สามารถแบ่งออกเป็นแรงต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย แรงต้านอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic drag: F_{Aero}) แรงต้านทานการหมุนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานของล้อรถบนถนน (Rolling resistance force: $F_{Rolling}$) แรงที่ต้องการเพื่อขับเคลื่อนขึ้นทางที่ลาดชัน (F_{Hill}) เนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้นมีขอบเขตใช้วิ่งเฉพาะบนทางเรียบจึงใช้ค่า $F_{Hill}=0$ และแรงของการเร่งความเร็ว (Acceleration force: F_{accele}) [8] ดังนั้น เมื่อนำแรงทุกแรงมารวมกัน จะได้แรงทั้งหมดที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบที่ทำการสร้างดังแสดงในสมการที่ (4)



ภาพที่ 1 แรงสำหรับการเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน

1) แรงต้านทานการหมุน (Rolling resistance force: $F_{Rolling}$) แรงต้านทานการหมุนเกิดขึ้นจากแรงเสียดทานของล้อรถบนถนน รวมถึงแรงเสียดทานการเบรกและระบบเกียร์ ความต้านทานการหมุนคือการประมาณเป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความเร็วของรถ ซึ่งเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักของรถ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$F_{Rolling} = \mu_r mg \tag{1}$$

เมื่อ μ_r คือ ประสิทธิภาพความต้านทานการหมุน ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานการหมุนคือชนิดของยาง และความดันลม ในบทความนี้กำหนดให้ค่าของ $\mu_r = 0.0022$ น้ำหนักของรถ 35 kg และ g คือ แรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2 และ m คือ มวล

2) แรงต้านอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic drag: F_{Aero}) แรงต้านอากาศพลศาสตร์ คือ ส่วนของแรงเนื่องจากความเสียดทานของอากาศ กับโครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็น Nm มันคือค่าความเสียดทานของพื้นที่ด้านหน้ารถกับอากาศขณะ รถวิ่ง สามารถคำนวณได้โดยสมการที่ (2)

$$F_{Aero} = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 \quad (2)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ มีค่า 1.25 kg/m^3 A คือ พื้นที่ ด้านหน้าของรถ (m^2) มีค่า $= 0.240 \text{ m}^2$ C_d คือ สัมประสิทธิ์แรงดึง (Drag coefficient) มีค่า 0.2 kg และ v คือ ความเร็ว (m/s) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามกรณีศึกษา

3) แรงของการเร่งความเร็ว (Acceleration force: F_{accele}) แรงของการเร่งความเร็ว คือ การเปลี่ยนแปลงตามความเร็วของยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งแรงนี้จะให้ความเร่งที่เป็นเชิงเส้นตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน คำนวณได้ตามสมการที่ (3) โดยที่ a คือ อัตราเร่งของยานยนต์ไฟฟ้า

$$F_{Accele} = ma \quad (3)$$

ดังนั้น แรงทั้งหมด (F_{total}) ที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบสามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ (4)

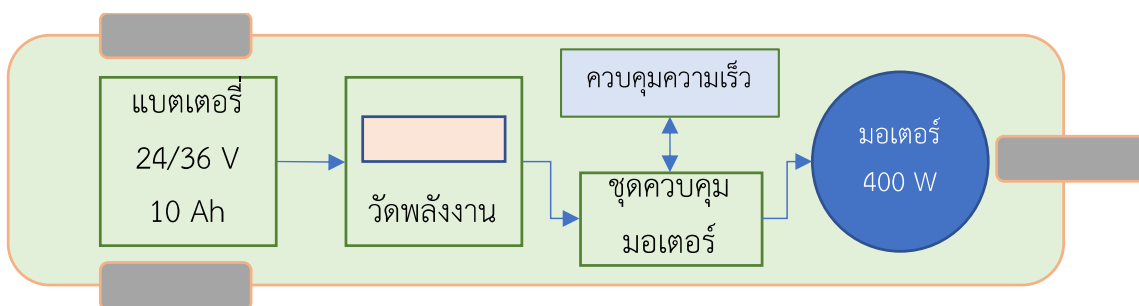
$$F_{total} = F_{Rolling} + F_{Aero} + F_{accele} \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้า (P_{total}) ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้าได้ตามสมการที่ (6)

$$P_{total} = F_{total} \times v \quad (5)$$

$$P_{total} = v(m_r mg + 0.5rAC_d v^2 + ma) \quad (6)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ มีค่า 1.25 kg/m^3 A คือ พื้นที่ ด้านหน้าของรถ (m^2) มีค่า $= 0.240 \text{ m}^2$ C_d คือ สัมประสิทธิ์แรงดึง (Drag coefficient) มีค่า 0.2 kg และ v คือ ความเร็ว (m/s) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามกรณีศึกษา



ภาพที่ 2 ไดอะแกรมการเชื่อมต่อระบบควบคุมมอเตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน

4) เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการจำลองและการทดสอบจริง เมื่อทำการจำลองหาค่าความต้องการพลังงานทั้งหมดของยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบเบื้องต้นแล้ว จึงนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริง [9] เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังแสดงในสมการที่ (8)

$$Relative\ error = \left| \frac{x_{mea} - x_t}{x_t} \right| \tag{7}$$

$$\%Error = Relative\ error \times 100 \tag{8}$$

โดย x_t คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณ (True value)

x_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัดทดสอบ (Measure value)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานคณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงานประเภท 3 ล้อ ดังแสดงในภาพที่ 2 ออกแบบให้สามารถบรรทุกผู้โดยสารได้ 1 คน และทำการทดสอบการขับเคลื่อน ซึ่งมีการบันทึกผลการทดสอบและนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง รวมถึงทำการเปรียบเทียบผลการทดลองและหาข้อสรุปผล ระยะทางที่ทำการทดลองอยู่ที่ 12 กิโลเมตร และกำหนดความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ในช่วง 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง ถึง 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง เพิ่มความเร็วขึ้นทีละ 5 กิโลเมตร/ชั่วโมง นำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อทำการหาค่าอัตราการประหยัดพลังงานในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 1 แสดงผลการจำลองและผลการทดสอบการใช้กำลังไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน ทำการทดสอบการขับเคลื่อนที่ความเร็วค่าต่างๆ จากผลการจำลองค่ากำลังไฟฟ้าที่ยานยนต์ใช้เคลื่อนที่เปลี่ยนไปตามความเร็วรถ โดยเฉพาะค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการต้านทานการหมุนของล้อที่มีค่าสูงขึ้นตามความเร็วกำลังสอง เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองในช่วงความเร็ว 20-35 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะมีกำลังไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงความเร็ว 40-60 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะมีค่าความเร็วค่อนข้างแตกต่างกัน เนื่องจากสภาวะการทดลองอาจมีความสม่ำเสมอของความเร็วรถ แต่ในการจำลองจะมีการเร่งเพื่อให้ได้ความเร็วพิกัดซึ่งใช้กำลังไฟฟ้าตลอดเวลา ค่าความแตกต่างของกำลังไฟฟ้ามียุคค่าต่ำสุดที่ความเร็ว 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง หากความเร็วของรถเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 1 ผลการจำลองและผลการทดสอบการใช้กำลังไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน

ความเร็ว รถ (km/hr)	กำลังไฟฟ้า (W)			กำลังไฟฟ้า รวมจากการ จำลอง (W)	กำลังไฟฟ้า		ค่าความแตกต่างของ	
	แรงจาก การ เร่ง ความเร็ว	แรง ต้านทาน การหมุน	แรงต้าน อากาศ		จากการทดลอง (W)		กำลังไฟฟ้า (%)	
					24 Vdc	36 Vdc	24 Vdc	36 Vdc
20	0.95	5.14	19.64	25.74	28.50	34.10	10.72	32.48
25	1.19	10.05	22.51	33.74	37.10	40.30	9.96	19.44
30	1.43	17.36	25.58	44.38	45.00	43.80	1.40	1.31
35	1.67	27.57	28.77	58.01	54.20	46.10	6.57	20.53
40	1.91	41.15	32.01	75.07	59.30	53.90	21.01	28.20
45	2.15	58.59	35.28	96.02	84.30	74.10	12.21	22.83

ความเร็ว รถ (km/hr)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวมจาก การจำลอง (W)	กำลังไฟฟ้า จากการ ทดลอง (W)	ค่าความ แตกต่าง ของ กำลังไฟฟ้า (%)	ความเร็ว รถ (km/hr)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้า รวมจาก การจำลอง (W)	กำลังไฟฟ้า จากการ ทดลอง (W)
50	2.38	80.38	38.58	121.34	96.00	97.00	20.88	20.06
55	2.62	106.98	41.89	151.50	100.30	103.00	33.80	32.01
60	2.86	138.89	45.22	186.97	113.00	117.00	39.56	37.42

ตารางที่ 2 ผลการจำลองอัตราเร่งต่อการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน ที่ความเร็ว 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง

ระยะเวลาการเร่ง (s)	อัตราเร่ง (m/s ²)	กำลังไฟฟ้ารวม (W)	พลังงานไฟฟ้า (Wh)	ความต้องการพลังงานไฟฟ้า (km/kWh)
20	0.41667	140.32	56.13	213.80
30	0.27778	99.81	39.92	300.57
40	0.20833	79.56	31.82	377.09
50	0.16667	67.40	26.96	445.09
60	0.13889	59.30	23.72	505.89
70	0.11905	53.51	21.41	560.60
80	0.10417	49.17	19.67	610.08
90	0.09259	45.80	18.32	655.05
100	0.08333	43.10	17.24	696.10
110	0.07576	40.89	16.36	733.72

จากผลการจำลองในตารางที่ 2 สามารถคำนวณค่าของพลังงานที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็ว 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง ระยะทาง 12 กิโลเมตร ที่อัตราเร่ง 0.08333 เมตร/วินาที มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 17.24 วัตต์-ชั่วโมง ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า 696 กิโลเมตร/กิโลวัตต์-ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาการเร่งความเร็วเพิ่มมากขึ้น ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีค่าน้อยลง

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน ที่ความเร็ว 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง

จำนวนรอบ การทดสอบ	ระยะทาง (km)	การทดลองที่แรงดันไฟฟ้า 24 Vdc		การทดลองที่แรงดันไฟฟ้า 36 Vdc	
		พลังงานไฟฟ้า (Wh)	ความต้องการพลังงาน ไฟฟ้า (km/kWh)	พลังงานไฟฟ้า (Wh)	ความต้องการพลังงาน ไฟฟ้า (km/kWh)
1	1.2	1.9	632	2.2	630
2	2.4	3.6	667	3.9	665
3	3.6	5.2	692	5.5	691
4	4.8	7.0	686	7.3	684
5	6.0	8.6	698	8.9	696
6	7.2	10.3	699	10.6	695
7	8.4	11.9	706	12.2	701
8	9.6	13.5	711	13.8	709
9	10.8	15.1	715	15.4	713
10	12.0	16.7	719	17	717
ความต้องการพลังงานเฉลี่ย		-	692.50	-	690.10

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบการใช้พลังงานของยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน ที่ความเร็ว 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง การทดลองที่แรงดันไฟฟ้า 24 Vdc และ 36 Vdc ยานยนต์ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า 26.7 วัตต์-ชั่วโมง และ 17 วัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ และค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า 692.50 กิโลเมตร/กิโลวัตต์-ชั่วโมง และ 690.10 กิโลเมตร/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า 24 Vdc และ 36 Vdc มีค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกัน

สรุปผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะของยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงานประเภท 3 ล้อ มีมอเตอร์ขนาด 400 วัตต์ ทำการจำลองและทดสอบที่ระยะทาง 12 กิโลเมตร เปรียบเทียบผลจากการจำลองและการทดลอง รวมถึงศึกษาผลของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าแบตเตอรี่ต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในช่วงที่ยานยนต์ไฟฟ้ามีความเร็วต่ำกว่า 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่ใช้มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณ แต่ถ้าความเร็วสูงกว่า 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่ใช้มีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากผลของการเร่งความเร็วของการจำลองและการทดสอบมีความคลาดเคลื่อน ผลของระยะเวลาในการเร่งความเร็วและอัตราเร่งของรถแสดงให้เห็นว่าหากมีระยะเวลาเร่งความเร็วมากขึ้นจะส่งผลต่อการใช้กำลังไฟฟ้าที่ลดลง ทำให้ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย การเปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ระดับแรงดันไฟฟ้า แบตเตอรี่ 24 Vdc และ 36 Vdc ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า 692.50 กิโลเมตร/กิโลวัตต์-ชั่วโมง และ 690.10 กิโลเมตร/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกัน ดังนั้น หากต้องการประหยัดพลังงานควรเร่งความเร็วที่ละน้อย การเปรียบเทียบผลของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์แสดงให้เห็นว่าระดับแรงดันไฟฟ้าทั้งสองระดับส่งผลต่อการใช้พลังงานของมอเตอร์ค่อนข้างน้อย การศึกษาวิจัยนี้เป็นแนวทางสำหรับผู้ต้องการออกแบบและสร้างยานยนต์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน อย่างไรก็ตาม มีพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ต้องพิจารณา เพื่อให้ผลการจำลองและการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจะมีการศึกษาวิจัยในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุน เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบและบันทึกผลการวิจัย รวมถึงสนับสนุนเวลาและงบประมาณการวิจัยมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สองข้อดี-ข้อเสีย “รถยนต์ไฟฟ้า” ขับลุยน้ำท่วมได้นานแค่ไหน ควรดูแลแบตเตอรี่อย่างไร. (n.d.). สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2566,จาก <https://tu.ac.th/thammasat-030865-tse-expert-talk-electric-vehicle>.
- [2] รายงานการศึกษา เรื่อง “อุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า.” (n.d.). สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2566,จาก <https://waa.inter.nstda.or.th/prs/pub/EV.pdf>.
- [3] ชีระพงษ์ บุญรักษา พรหมพักตร์ ดาวัลด์ Richard Joseph Mushi Ashok Paudel และบุญเรือง มะรังศรี. “การศึกษาการใช้พลังงานสำหรับการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้าและขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม” , การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12. วันที่ 6 - 8 พฤศจิกายน 2562. จังหวัดพิษณุโลก.
- [4] เตชาวุธ กาญจนกรัณย์กุล และวารุณี เตีย. การวิเคราะห์การใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งไปรษณีย์ภัณฑ์ในเขตนครหลวง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2017. 24(3). 98-111.
- [5] Olsen, Erik & Lemu, Hirpa. (2016). Mechanical Testing of Composite Materials for Monocoque Design in Formula Student Car. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**. 10.
- [6] มงคล ลาดชุย ภาคิน ขบขัน วสุพล กุลเกลี้ยง และ ณัฐชัย โปธิ. การออกแบบและพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ. **วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี**. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2564.
- [7] Sayed, K., Kassem, A., Saleeb, H., Alghamdi, A. S., and Abo-Khalil, A. G. (2020). Energy-saving of battery electric vehicle powertrain and efficiency improvement during different standard driving cycles. **Sustainability**, 12(24), 10466.
- [8] Boonraksa, T., Boonraksa, P., Sakulphaisan, G., and Marungsri, B. (2020). Strategic planning of charging stations for Electric Public Transportation Bus Systems: A case study. **International Review of Electrical Engineering (IREE)**, 15(6), 512.
- [9] พัชรินทร์ อินทมาส, วีรพล ปานศรีนวล, กันตินันท์ สกกุลไพศาล, กริธา สุขทั้ง, ศรัณย์ ฉัตรธัญญกิจ และพรหมพักตร์ บุญรักษา. (2565). **วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**.ปีที่ 14 ฉบับที่ 1. 169-183

การศึกษาขนาดของท่อทางดูดระบบสูบน้ำแบบแพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือน
A Study of the Suction Pipe Size in Floating Solar Pumping System
at Household Level

ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล^{1*} กฤษณะ จันทสิทธิ์² และปัญญา วงศ์ต่าย²
Sarayut Chitphutthanakul^{1*} Kritsana Chantasit² and Panya Wongtai²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000

²สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี 22000

¹Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology,
Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

²Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi 22000

*Corresponding author: Tel.: +66 82 469 4797. E-mail address: sarayut.c@rbru.ac.th

Received: 25 April 2023, Revised: 19 May 2023, Accepted: 8 September 2023, Published online: 30 April 2024

Abstract

The purpose of this research was to study of the suction pipe size in floating solar pumping system at household level. The water volume flow through the 3 different suction pipe sizes at each period were recorded. The system consisted of a DC motor pump with a 550-watt control box working with two of 400 watt solar panels, installed on a floating raft structure which had 1,520 mm width, 1,520 mm length and 200 mm height, setting up on 4 containers (each of 60 liters). The internal control cabinet equipped with a DC circuit breaker, surge protector and a monitor showing the voltage, electric current, electric power, and water flow through the meter according to the 3 different suction pipe sizes (1, 1.5 and 2 inches) during the period from 8:00 a.m. to 5:00 p.m. were built. The data collection was done 6 times per hour with 3 replications. It was found that floating raft stayed balance on water surface. The period of the highest water volume flow from 1, 1.5 and 2 inches of pipes sizes was found from 12:00 to 1:00 p.m. with the highest water volume of 2,259.16, 4,021.89 and 5,116.21 liters, respectively. The suction pipe size of 2 inches showed the highest amount of accumulated water per day of 38,008.30 liters with the maximum flow rate of 85.27 liters per minute.

Keywords: Suction Pipe, Pumping System, Solar Energy, Floating Rafts, Household

บทคัดย่อ

การทำวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขนาดของท่อทางดูดระบบสูบน้ำแบบแพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือน และวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาตามขนาดท่อทางดูดที่แตกต่างกัน 3 ขนาด ประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำมอเตอร์กระแสตรงพร้อมกล่องควบคุมขนาด 550 วัตต์ ทำงานร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 400 วัตต์ จำนวน 2 แผง โครงสร้างแพลอยน้ำขนาดความกว้าง 1,520 มิลลิเมตร ยาว 1,520 มิลลิเมตร และสูง 200 มิลลิเมตร ติดตั้งบนถังพลาสติก ลอยน้ำขนาด 60 ลิตร จำนวน 4 ใบ ตู้ควบคุมภายในติดตั้งอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรง อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้า (Surge Protector) และมาตรวัดแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ปริมาณน้ำจะไหลผ่านมาตรวัดอัตราการไหลที่ผ่านขนาดท่อทางดูดที่แตกต่างกัน 3 ขนาด (1.5 และ 2 นิ้ว) ในช่วงระยะเวลา 08:00 น. ถึง 17:00 น. โดยเฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง จำนวน 3 ครั้ง ผลการทดสอบ พบว่า แพลอยน้ำที่นำไปติดตั้ง มีความสมดุลขณะลอยบนผิวน้ำ ช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำสูงสุดทั้ง 3 ขนาด คือ ช่วงเวลา 12:00 น. ถึง 13:00 น. ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 2,259.16 4,021.89 และ 5,116.21 ลิตร ตามลำดับ โดยท่อทางดูดขนาด 2 นิ้ว ได้ปริมาณน้ำสะสมต่อวันมากที่สุด 38,008.30 ลิตร อัตราการไหลสูงสุดที่ระดับ 85.27 ลิตรต่อนาที

คำสำคัญ: ท่อทางดูด ระบบสูบน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ แพลอยน้ำ ครัวเรือน

บทนำ

การติดตั้งเครื่องสูบน้ำของเกษตรกรชาวสวนผลไม้ในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี ส่วนใหญ่จะติดตั้งมอเตอร์สูบน้ำแบบแพลอยน้ำภายในแหล่งน้ำตามพื้นที่ต่างๆ ภายในสวน หรืออาจจะติดตั้งในบริเวณบนพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ โดยติดตั้งให้มีระยะดูดน้ำสั้นที่สุด เพื่อลดการสูญเสียในระบบสูบน้ำ (Head Loss) ซึ่งอาจจะใช้มอเตอร์เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (Centrifugal Pump) หรืออาจใช้เครื่องสูบน้ำแบบเพลาลอย (Water Pump Floating Shaft) มาเป็นเครื่องสูบน้ำ ซึ่งปัญหาที่เกษตรกรพบโดยส่วนใหญ่ของการวางระบบสูบน้ำ มาจากปริมาณน้ำที่ได้ไม่เป็นไปตามคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำที่เลือกมา โดยมีสาเหตุมาจากปริมาณน้ำที่เข้าสู่ภายในท่อทางดูดไม่เพียงพอ ทั้งนี้ [1] ได้เสนอการติดตั้งเครื่องสูบน้ำเพื่อเป็นแนวทางไว้ดังนี้ ขนาดท่อทางดูดควรมีขนาดโตกว่าขนาดของท่อด้านดูดของเครื่องสูบน้ำ ความยาวของท่อทางดูดควรจะสั้นที่สุด โดยการขยายท่อทางดูดควรเป็นข้อลดแบบคางหมู (Eccentric Reducer) ต่อร่วมกับข้องอ 90 องศา ความยาวน้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ลดจำนวนจุดเชื่อมต่อระหว่างท่อทางดูด เพื่อให้การไหลในท่อสม่ำเสมอ เพราะอาจเกิดโพรงอากาศ (Cavitations) ส่งผลเสียต่อใบพัด ทำให้เกิดการสึกกร่อนของเนื้อโลหะในส่วนของใบพัดหรือห้องสูบเอง จึงต้องมีการขยายขนาดท่อทางดูดเพื่อให้ปริมาณน้ำเข้าสู่ระบบสูบน้ำทางด้านดูดมากขึ้น โดย [2] ได้ศึกษาความเป็นไปได้และการออกแบบประยุกต์ใช้ระบบโซลาร์เซลล์แบบทุ่นลอยน้ำในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก พบว่า การออกแบบใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 380 วัตต์ จำนวน 4 แผง ติดตั้งอยู่บนทุ่นลอยน้ำที่ทำจากถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร สามารถผลิตพลังงานได้ประมาณ 2,000 กิโลวัตต์/ชั่วโมง/ตารางเมตร ระยะเวลาในการผลิตพลังงานประมาณ 5 ชั่วโมงต่อวัน และ[3] ได้อธิบายเกี่ยวกับแรงลอยตัว (Buoyant Force) เพื่อให้แพลอยได้ในของไหล จะต้องคำนึงถึงความมีเสถียรภาพการออกแบบโครงสร้างด้วย เพราะอาจเกิดการพลิกคว่ำได้ โดยการที่วัตถุจมลงในของไหลบางส่วน หรือจมลงทั้งหมด จะเกิดแรงมากระทำที่วัตถุ ในแนวตั้งฉากกับผิว ลักษณะพยายามพยุงหรือยกให้วัตถุลอยขึ้น ทิศทางการเคลื่อนที่สวนทางกับแรงดึงดูดของโลกนั่นเอง ทั้งนี้ได้นำหลักการดังกล่าวมาเพื่อศึกษาวิจัยสามารถเป็นแนวทางในการติดตั้งระบบสูบน้ำของเกษตรกร ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเกษตรกรในพื้นที่สูง และยังเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำให้เป็นไปตามคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังเป็นการสนับสนุนการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในภาคเกษตรกรรมลงได้

ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาที่จะศึกษาขนาดของท่อทางดูดระบบสูบน้ำแบบแพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือน โดยติดตั้งเครื่องสูบน้ำอยู่บนโครงสร้างที่มีถังพลาสติกขนาด 60 ลิตร เป็นทุนสำหรับลอยน้ำ นำไปวางบนผิวน้ำภายในพื้นที่ของเกษตรกร โดยเครื่องสูบน้ำที่ใช้เป็นแบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 550 วัตต์ ทำงานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 400 วัตต์ จำนวน 2 แผง และวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ได้ตามขนาดท่อทางดูดที่แตกต่างกันจำนวน 3 ขนาด (1 1.5 และ 2 นิ้ว) โดยหลังจากทดสอบจะสามารถทราบแนวทางการออกแบบการติดตั้งเครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งอยู่บนแพลอยน้ำ ส่งเสริมการเทคโนโลยีการนำพลังงานที่มาจากแหล่งธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อจะสามารถพึ่งพาตนเอง ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านกระแสไฟฟ้าในระดับครัวเรือน

วิธีการวิจัย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลอุปกรณ์สำหรับการศึกษาขนาดของท่อทางดูดระบบสูบน้ำแบบแพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือน

1. เครื่องสูบน้ำหอยโข่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องสูบน้ำหอยโข่ง (Centrifugal Pump) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้สำหรับโครงการวิจัย มีขนาดกำลังมอเตอร์ 550 วัตต์ ยี่ห้อ Handuro รุ่น HD-SCPM6-30-48-550 ดังภาพที่ 1 ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถต่อเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1x144 Cells หรือขนาด 340-400 วัตต์ จำนวน 2 แผง โดยมีคุณลักษณะของอุปกรณ์โดยทั่วไปดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 550 วัตต์

ฐานส่วนล่าง (1) สำหรับยึดเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง สามารถยึดให้ติดกับโครงสร้างฐานยึดได้ทั้ง 2 จุด เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของเครื่องสูบน้ำ พร้อมกับขาตั้งสำหรับพวงมอเตอร์ ทางน้ำเข้าขนาด 1 นิ้ว (2) สำหรับเชื่อมต่อกับท่อทางดูด (PVC) สำหรับสูบน้ำติดตั้งในแหล่งน้ำ ซึ่งสามารถขยายท่อทางดูดด้วยข้อลดแบบคางหมู เพื่อป้องกันการเกิดโพรงอากาศได้ โดยปริมาณความลึกไม่ควรเกิน 8 เมตร จุดเติมน้ำ (3) เข้าไปในระบบท่อทางดูด ปิดด้วยนอตตัวผู้ (เกลียวนอก)ผู้ทำจากวัสดุทองเหลือง เพื่อป้องกันการเกิดสนิม ทางน้ำออกขนาด 1 นิ้ว (4) ทำจากเหล็กหล่อภายในมีใบพัดทองเหลือง สามารถต่อร่วมกับท่อประปา มาตรฐานอัตราการไหล หรืออุปกรณ์ใช้ควาส้ว กล่องควบคุมตัวมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ (5) ภายในกล่องมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการทำงานประกอบด้วย จุดเชื่อมต่อสำหรับต่ออุปกรณ์ตรวจสอบปริมาณน้ำ เพื่อตรวจสอบปริมาณน้ำที่อยู่ในภาชนะบรรจุน้ำ พัฒนาระบายความร้อนขณะมอเตอร์ทำงาน (6) ลักษณะของพัดลมทำจากใบพัดพลาสติกทนความร้อน ทำให้ช่วยยืดอายุมอเตอร์ให้ยาวนาน มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 550 วัตต์ (7) ปริมาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในช่วงทำงานอยู่ระหว่าง 30-100 โวลต์ แรงดันขณะทำงาน 48 โวลต์ และสามารถรับกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 15 แอมแปร์ เสื่อมอเตอร์ทำจากวัสดุอะลูมิเนียมมีครีบบเพื่อช่วยระบายความร้อน สายไฟแบบ VCT (8) ภายในมีจำนวน 3 สายย่อย (U V W) สำหรับต่อเข้ากับกล่องควบคุม โดยจะควบคุมระดับแรงดัน และกระแสไฟฟ้าให้คงที่

ซึ่งยังสามารถปรับระดับรอบความเร็วของมอเตอร์ให้ช้าลง สอดคล้องกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ โดยจะมีระบบป้องกันน้ำแห้ง (Dry-run Protection) ระบบป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน (High Voltage Protection) และระบบป้องกันแรงดันต่ำ (Low Voltage Protection) เพื่อช่วยให้มอเตอร์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells)

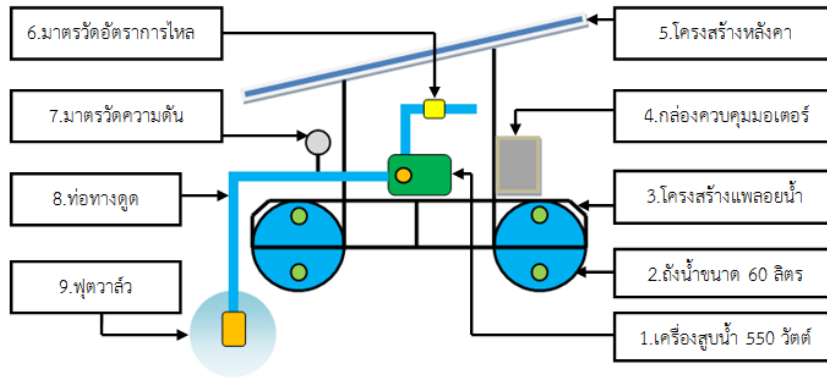
เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Mono Half Cut Cell Crystalline) ยี่ห้อ Sunfree รุ่น SFP400S – 24H จำนวน 2 แผง กำลังวัตต์สูงสุดที่ผลิตได้ 400 วัตต์ ปริมาณเซลล์เท่ากับ 144 Cells ขนาดความกว้าง 1,133 มิลลิเมตร ยาว 1,707 มิลลิเมตร และสูง 35 มิลลิเมตร น้ำหนัก 21 กิโลกรัม สามารถติดตั้งบนหลังคาด้วยอุปกรณ์จับยึดตามลักษณะของหลังคา สำหรับประเทศไทยควรติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมลาดเอียงประมาณ 15-20 องศา กับพื้นดิน (ขึ้นอยู่กับพื้นที่ติดตั้ง) จะทำให้แสงอาทิตย์กระทบตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงตอนเที่ยงวันมากที่สุด [4] โดยหันหน้าแผงไปทางทิศใต้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวนั้นให้กำลังไฟฟ้าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับพื้นที่ในการติดตั้ง โดยจะมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 15 ถึง 20 เนื่องจากการเรียงตัวของผลึกในแต่ละเซลล์ที่ดีกว่า โดยจะมีประสิทธิภาพการทำงานลดลงอย่างมาก เมื่อทำงานในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูง โดยปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นไปทำให้พื้นที่การติดตั้งลดลง [5]

3. มาตรวัดอัตราการไหล (Flow Meter)

มาตรวัดอัตราการไหล เป็นมาตรวัดอัตราการไหลแบบกังหัน (Turbine Flow Meter) แสดงผลด้วยจอแสดงภาพแบบอิเล็กทรอนิกส์ ขนาดท่อทางเข้าและท่อทางออก 1 นิ้ว ผลิตจากวัสดุอะลูมิเนียม โดยสามารถวัดอัตราการไหลของเหลวที่เป็นน้ำ หรือน้ำมัน ระหว่างช่วง 20-120 ลิตรต่อนาที ภายในมีใบพัดที่วางขวางอยู่ในท่อ ซึ่งใบพัดนี้จะติดตั้งอยู่บนเพลลาหรือแบริงที่เป็นศูนย์กลางของทิศทางการไหล ขนานกับเส้นทางการไหลในขณะที่มีของไหลไหลผ่าน ทำให้ใบพัดหมุนด้วยแรงจากของไหล ความเร็วในการหมุนของใบพัดนั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของไหลที่ไหลผ่าน จากนั้นจะใช้วิธีการวัดความเร็วของการหมุนของใบพัดเพื่อหาความเร็วของของเหลว โดยอาศัยตัวเซ็นเซอร์ที่ต่ออยู่กับตัวโครงสร้าง ซึ่งมีอุปกรณ์เซ็นเซอร์ในการตรวจจับ เช่น ตัวเซ็นเซอร์แม่เหล็ก โดยใช้หลักการหาค่าเฉลี่ยความเร็วในเส้นจุดศูนย์กลางของท่อ สามารถแสดงหน่วยการวัด 4 แบบ Liters (L) Gallons (GAL) Pint (PT) และ Quarts (QT) บำรุงรักษาโดยการตรวจสอบให้กังหันหมุนได้อย่างคล่องตัว สะอาด และปลอดภัย ควรนำน้ำมันหล่อลื่นหยอดที่กังหัน และส่วนของแบริง [6]

ส่วนที่ 2 ระบบสูบน้ำแบบเปลียนน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษา

1. ระบบสูบน้ำแบบเปลียนน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ มีส่วนประกอบหลักดังภาพที่ 2 ประกอบด้วย เครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบหอยโข่งขนาด 550 วัตต์ (1) ท่อน้ำขาเข้า และขาออกมีขนาด 1 นิ้ว โดยทำการติดตั้งในส่วนกลางของเปลียนน้ำ เพื่อให้ น้ำหนักไม่ถ่ายเทไปด้านใดด้านหนึ่ง ถังน้ำขนาด 60 ลิตร (2) จำนวน 4 ใบ สามารถรองรับน้ำหนักเมื่อน้ำไปเปลียนน้ำ และยังช่วยเรื่องการถ่ายเทน้ำหนักไม่ให้พุ่งลอยเอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง โครงสร้างเปลียนน้ำ (3) ทำจากเหล็กกล่อง โดยนำมาตัดต่อเชื่อมกันให้สามารถนำถังขนาด 60 ลิตร เข้าไปวางรองรับโครงสร้างเปลียนน้ำได้ รวมทั้งส่วนของโครงสร้างหลังคาที่สามารถเป็นกำบังให้กับเครื่องสูบน้ำ กล่องควบคุมมอเตอร์ (4) ใช้กล่องกันน้ำ เพื่อป้องกันละอองน้ำ และฝุ่นเข้าไปในกล่องควบคุม โครงสร้างหลังคา (5) สร้างจากเหล็กกล่อง ติดตั้งแผ่นเมทัลชีทสำหรับกันแสงแดด และน้ำฝน



ภาพที่ 2 แบบจำลองระบบสูบน้ำแบบพลาอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

มาตรวัดอัตราการไหล (6) สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำ และปริมาณน้ำที่ได้ตลอดวัน มาตรวัดความดันสูญญากาศขณะเครื่องสูบน้ำทำงาน (7) สำหรับตรวจสอบค่าความดันภายในท่อทางด้านดูด โดยติดตั้งบริเวณฝั่งท่อทางด้านดูดก่อนน้ำเข้าไปที่เครื่องสูบน้ำ ท่อทางดูด (8) สำหรับหย่อนลงไปในแหล่งน้ำ โดยสามารถขยายท่อทางดูดเพื่อป้องกันการเกิดโพรงอากาศภายในระบบท่อทางดูดได้ ฟุตวาล์ว (9) (ลื่นกันกลับหรือวาล์วหัวกะโหลก) สำหรับเชื่อมต่อกับท่อทางด้านดูด โดยมีขนาดตามท่อทางดูด ทำหน้าที่เปิดให้น้ำไหลเข้า และปิดไม่ให้น้ำไหลกลับลงในแหล่งน้ำ มีทั้งวัสดุที่เป็นทองเหลือง และพลาสติก โดยสามารถติดตั้งวัสดุป้องกันเศษขยะไม่ให้เข้าไปในระบบทางดูดเพิ่มเติมได้

2. การศึกษาและออกแบบชุดควบคุมกระแสไฟฟ้าระบบสูบน้ำแบบพลาอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

1. ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากความต้องการของเครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบหอยโข่งขนาด 550 วัตต์ เริ่มทำงานตามคุณลักษณะที่ระบุไว้มีความต้องการแรงดันไฟฟ้าขณะทำงานอยู่ระหว่าง 30-100 โวลต์ โดยเริ่มทำงานที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 30 โวลต์ โดยในงานวิจัยนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 400 วัตต์ ยี่ห้อ Sunfree รุ่น SFP400S – 24H ซึ่งมีลักษณะ ดังนี้

ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (Open-Circuit Voltage : VOC) = 49.60 โวลต์ (±ร้อยละ 5)

ค่ากระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร (Short Circuit Current : ISC) = 10.16 แอมแปร์ (±ร้อยละ 5)

ดังนั้น ขนาดของแรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อในลักษณะวงจรอนุกรม 2 แผง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 99.20 โวลต์ (ไม่เกินคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ) และค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 10.16 แอมแปร์

2. ปริมาณค่าแรงดัน และกระแสไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ ขณะทำงานอยู่ในช่วง 30-100 โวลต์ และปริมาณค่ากระแสไฟฟ้าไม่เกิน 15 แอมแปร์ ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 400 วัตต์ จำนวน 2 แผง รวม 800 วัตต์ จึงมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้งาน เนื่องจากไม่เกินคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ โดยสามารถคำนวณหาค่าผลผลิตไฟฟ้า (E) ของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อวัน จากค่าระยะเวลาการมีแสงที่ 1 kW/m²/day โดยพื้นที่จังหวัดจันทบุรีมีค่า Peak Sun Hour (PSH) เฉลี่ยอยู่ที่ 5 ชั่วโมง [7] ได้ดังต่อไปนี้

$$E = \text{กำลังการผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W)} \times \text{ค่า Peak Sun Hour (Hr)}$$

เมื่อ

E คือ ผลผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อวัน

เมื่อต้องการหาผลผลิตไฟฟ้าใน 1 วัน สามารถคำนวณได้ดังนี้

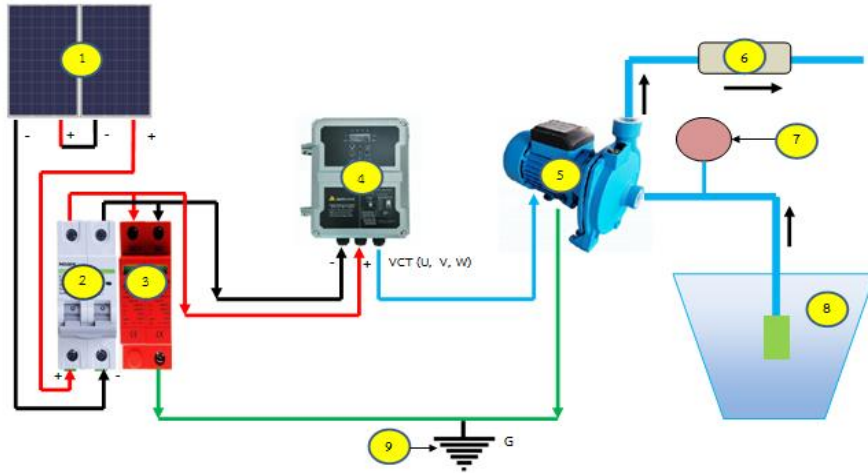
$$E = (400 \text{ W} \times 2) \times 5 \text{ hr}$$

$$= 4,000 \text{ Wh หรือ } 4 \text{ kWh}$$

ดังนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 400 วัตต์ จำนวน 2 แผง สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าใน 1 วัน ได้เท่ากับ 4,000 วัตต์-ชั่วโมง หรือ 4 ยูนิิตต่อวัน

ส่วนที่ 3 แผนผังการเชื่อมต่อระบบสูบน้ำแบบแฟลลายน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

แผนผังการเชื่อมต่อระบบสูบน้ำแบบแฟลลายน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 3 ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 400 วัตต์ 2 แผง เครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 550 วัตต์ นอกจากนี้ยังได้มีติดตั้งอุปกรณ์อื่น ๆ ประกอบด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรง อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้า (Surge Protector) และวัตต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



ภาพที่ 3 แผนผังระบบสูบน้ำแบบแฟลลายน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

แผนผังการเชื่อมต่อมีรายละเอียดดังนี้ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ (1) ขนาด 400 วัตต์ จำนวน 2 แผง ที่ต่ออนุกรมกัน ทำให้เกิดแรงดัน และกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าระบบ โดยผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (2) สำหรับตัดต่อวงจร ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งขั้วบวก (+) และขั้วลบ (-) ผ่านอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้ากระแสตรง (3) ก่อนเข้าระบบ เพื่อเชื่อมต่อไปยังกล่องควบคุมการทำงาน (4) เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 550 วัตต์ (5) ทำให้เกิดแรงดันน้ำผ่านท่อทางออกไปยังมาตรวัดอัตราการไหล (6) เพื่ออ่านค่าปริมาณน้ำและอัตราการไหลมาตรวัดความดัน (7) โดยปกติแล้วจะมีค่าความดันเป็นลบ เนื่องจากเป็นภายในท่อจะเป็นสุญญากาศ พุดวาล์วหรือวาล์วหัวกะโหลก (8) สำหรับช่องทางผ่านให้น้ำเข้ามาในระบบท่อ และกันน้ำไหลย้อนกลับ โดยสามารถขยายท่อทางดูดเพื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ ข้อควรคำนึงถึงสำหรับการติดตั้ง และควรได้รับการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าผ่านระบบกราวด์ (9) เนื่องจากเป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรงอาจจะมีการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าตามอุปกรณ์ต่าง ๆ จึงควรเชื่อมต่อระบบกราวด์ตั้งแต่เซลล์แสงอาทิตย์ และอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมเพื่อป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่ว

ส่วนที่ 4 การศึกษาวิเคราะห์ขนาดของท่อทางดูดระบบสูบน้ำแบบแฟลลายน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับ

ครัวเรือน

การทดสอบใช้งาน เพื่อวัดปริมาณน้ำที่ได้ในแต่ละชั่วโมงตลอดวัน โดยการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำที่สูบได้ในแต่ละช่วงเวลาตั้งแต่เวลา 08:00 น.-17:00 น. ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2566 โดยการเก็บข้อมูลตามขนาดท่อทางดูด 3 ขนาดที่แตกต่างกัน (1 1.5 และ 2 นิ้ว) เพื่อหาผลรวมปริมาณน้ำที่ได้ใน 1 วัน บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ วัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า โดยเฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง อ่านค่าอัตราการไหล และปริมาณแรงดันทางด้านดูดจากเกจวัดความดัน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการจัดสร้างระบบสูบน้ำแบบแพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

โครงสร้างระบบสูบน้ำแบบแพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดความกว้าง 1,520 มิลลิเมตร ยาว 1,520 มิลลิเมตร และสูง 200 มิลลิเมตร เมื่อทำการติดตั้งเครื่องสูบน้ำบนแท่นชั้นบนที่มีขนาดความกว้าง 800 มิลลิเมตร และความยาว 800 มิลลิเมตร ลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ส่วนครอบถังลอยน้ำขนาด 60 ลิตร ดังภาพที่ 4 มีขนาดยื่นออกมาจากโครงสร้างหลักในระยะที่ 1 ขนาด 260 มิลลิเมตร ระยะที่ 2 เอียงทำมุม 45 องศา ขนาด 150 มิลลิเมตร และระยะที่ 3 ขนาดความสูงตั้งรับกับโครงสร้างหลักด้านล่างทางแนวตั้งสูง 100 มิลลิเมตร โดยมีขนาดเท่ากันทั้ง 4 ด้าน โดยโครงสร้างของแพลอยน้ำ สร้างด้วยเหล็กกล่องชุบซิงค์ป้องกันการกัดกร่อนขนาด 1x1 นิ้ว ตลอดทั้งโครงสร้าง

ส่วนโครงสร้างหลังคามีขนาดความกว้าง 1,400 มิลลิเมตร ยาว 1,600 มิลลิเมตร และขนาดความสูงในส่วนหน้ามีขนาด 1,000 มิลลิเมตร ความสูงส่วนหลังมีขนาด 1,200 มิลลิเมตร โดยทำมุมเอียงที่ระดับ 20 องศา ส่วนหลังคาติดตั้งแผ่นเมทัลชีทหนา 35 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น ป้องกันการกัดกร่อนของโลหะด้วยสีกันสนิม และปกปิดรอยเชื่อมด้วยสีบรอนซ์เงินชนิดกันน้ำ ซึ่งสามารถลดโอกาสที่จะเกิดสนิมได้



ภาพที่ 4 โครงสร้างระบบสูบน้ำแบบแพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

อุปกรณ์ที่ควบคุมระบบการทำงานจะถูกติดตั้งลงในกล่องเหล็กกันน้ำแบบติดตั้งในอาคาร ขนาดความกว้าง 35 เซนติเมตร ยาว 52 เซนติเมตร และลึก 17 เซนติเมตร โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 32 แอมแปร์ 500 โวลต์ อุปกรณ์ป้องกันการกระชอกทางไฟฟ้า (Surge Protector) ขนาด 20 กิโลแอมแปร์ 1,000 โวลต์ ชุดเทอร์มินอลขนาด 25 แอมแปร์ 600 โวลต์ มาตรการค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าขนาด 100 แอมแปร์ 100 โวลต์ สวิตช์แบบปรับหมุนขนาด 6 แอมแปร์ 250 โวลต์ และไฟแสดงสถานะในตำแหน่งปิด และตำแหน่งเปิดขนาด 27 มิลลิแอมแปร์ 24 โวลต์

เมื่อนำโครงสร้างระบบสูบน้ำแบบแพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ไปทำการติดตั้งในพื้นที่แหล่งน้ำดังภาพที่ 5 ทดสอบการลอยของโครงสร้างแพลอยน้ำที่ติดตั้งอยู่บนถังน้ำขนาด 60 ลิตร จำนวน 4 ใบ พร้อมกับติดตั้งเครื่องสูบน้ำบริเวณตำแหน่งกลางของโครงสร้าง ฯ โดยลักษณะการลอยน้ำมีความสมดุลกัน สามารถรักษาเสถียรภาพการลอยน้ำได้ทั้ง 4 ด้าน ทั้งนี้ต้องทำการผูกเชือกระหว่างแพลอยน้ำกับหลักที่ตอกไว้กับพื้นดิน เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่เมื่อมีแรงลมมาปะทะ และลดระดับความสูงของหลังคาให้ต่ำลงตามความเหมาะสม เพื่อป้องกันการพลิกคว่ำของแพลอยน้ำ ทั้งนี้ปริมาณน้ำหนักของแพลอยน้ำที่สามารถรองรับการติดตั้งเครื่องสูบน้ำได้ อยู่ระหว่างขนาดมอเตอร์ 1-2 แรงม้า ซึ่งจะพอดีกับขนาดแพลอยน้ำที่ออกแบบ



ภาพที่ 5 การติดตั้งแพลอยน้ำในพื้นที่แหล่งน้ำ

2. ผลการศึกษาขนาดของท่อทางดูดระบบสูบน้ำแบบแพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือน

1. การใช้งานระบบสูบน้ำแบบแพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 6 สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 การต่อท่อทางดูดน้ำด้วยท่อ PVC พร้อมฟุตวาล์ว (วาล์วหัวกะโหลก) ผ่านเกจวัดแรงดันท่อทางดูด ขนาด 1 นิ้ว (ตามขนาดทางน้ำเข้าเครื่องสูบน้ำ) และขยายท่อทางดูดด้วยท่อต่อรูปทรงคางหมู (Eccentric Reducer) ขนาด 1.5 2 นิ้ว เข้ากับเครื่องสูบน้ำ ทั้งนี้ขนาดท่อทางดูดควรจะโตกว่าขนาดถัดไปจากขนาดของท่อด้านดูด [8] ส่วนที่ 2 การต่อท่อทางส่งน้ำขนาด 1 นิ้ว พร้อมติดตั้งมาตรวัดอัตราการไหล เพื่อตรวจสอบปริมาณน้ำที่สูบได้ตามขนาดท่อทางดูดที่แตกต่างกัน ทำการเชื่อมต่อสายไฟเข้ากับขั้วต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ตรงขั้ว (+,-) ด้านข้างของกล่องควบคุม โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารด้วยอุปกรณ์จับยึด หันไปทางทิศใต้ ทำมุมเอียง 15 องศา



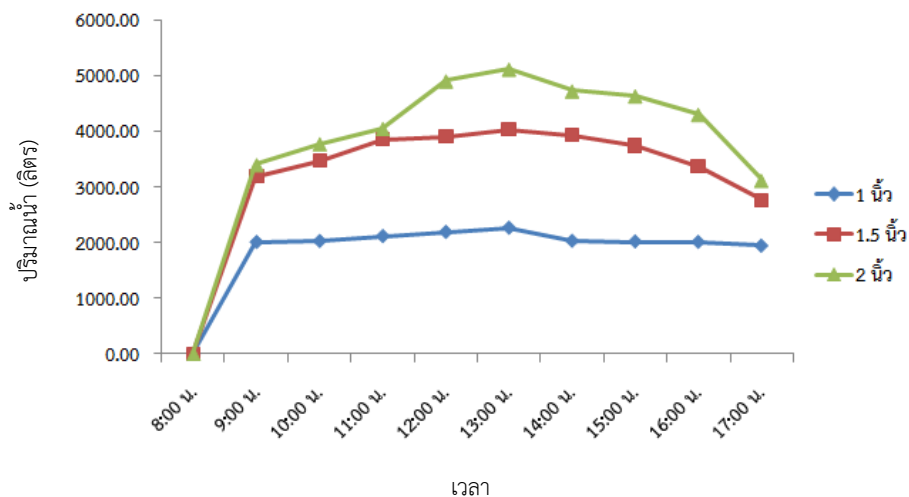
ภาพที่ 6 การใช้งานระบบสูบน้ำแบบแพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

2. การทดสอบระบบสูบน้ำแบบแพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ตามขนาดท่อทางดูดที่แตกต่างกัน 3 ขนาด (1.5 และ 2 นิ้ว) เริ่มเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 08:00 น. ถึง 17:00 น. (ระหว่างวันที่ 4-15 เมษายน พ.ศ. 2566) โดยเฉลี่ย 6 ครั้ง ใน 1 ชั่วโมง จำนวน 3 ครั้ง อ่านข้อมูลจากมาตรวัดอัตราการไหล ข้อมูลปริมาณน้ำตามขนาดท่อทางดูด (ลิตร) บันทึกผลที่ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบระบบสูบน้ำแบบเปลียนน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ตามขนาดท่อทางดูดที่แตกต่างกัน 3 ขนาด

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตามขนาดท่อทางดูด (ลิตร/นาที่)		
	1 นิ้ว	1.5 นิ้ว	2 นิ้ว
08:00-09:00 น.	2,004.58	3,177.76	3,396.22
09:00-10:00 น.	2,022.46	3,466.18	3,772.88
10:00-11:00 น.	2,110.27	3,845.65	4,049.51
11:00-12:00 น.	2,184.89	3,901.38	4,905.41
12:00-13:00 น.	2,259.16	4,021.89	5,116.21
13:00-14:00 น.	2,025.96	3,928.25	4,724.65
14:00-15:00 น.	2,014.94	3,735.77	4,626.36
15:00-16:00 น.	2,006.46	3,362.48	4,301.32
16:00-17:00 น.	1,938.43	2,754.88	3,115.74
ปริมาณน้ำรวม (ลิตร)	18,567.15	32,194.24	38,008.30

ผลการทดสอบขนาดของท่อทางดูด 1 นิ้ว พบว่า ปริมาณน้ำเริ่มต้นช่วงเวลา 08:00 น. มีค่าเท่ากับ 0 ลิตรเนื่องจากความเข้มแสงยังไม่เพียงพอให้มอเตอร์เครื่องสูบน้ำทำงาน โดยสามารถวัดปริมาณค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าได้เท่ากับ 77.36 โวลต์ 2.47 แอมแปร์ และ 191.24 วัตต์ ตามลำดับ ปริมาณค่าอัตราการไหลเริ่มต้นเท่ากับ 35.48 ลิตรต่อนาที รอบมอเตอร์ขณะเริ่มทำงานเท่ากับ 1,923 รอบต่อนาที แรงดันด้านดูดเท่ากับ -0.75 บาร์ เมื่อระยะเวลาผ่านไป ปริมาณความเข้มแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สามารถวัดปริมาณน้ำสูงสุดที่เวลา 12:00-13:00 น. เท่ากับ 2,259.16 ลิตร ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 454.02 วัตต์ ปริมาณรอบมอเตอร์ทำงานสูงสุดเท่ากับ 2,840 รอบต่อนาที อัตราการไหลสูงสุดเฉลี่ย 37.65 ลิตรต่อนาที แรงดันด้านดูดเท่ากับ -0.90 บาร์ และเมื่อเวลา 16:00-17:00 น. ปริมาณค่ากำลังไฟฟาลดลงเท่ากับ 222.54 วัตต์ ได้ปริมาณน้ำเท่ากับ 1,938.43 ลิตร ที่อัตราการไหลเฉลี่ย 32.31 ลิตรต่อนาที รอบมอเตอร์หมุนจำนวน 2006 รอบต่อนาที ค่าระดับแรงดันเท่ากับ -0.82 บาร์ ทั้งนี้ระดับปริมาณน้ำที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาดังภาพที่ 7 จะมีค่าปริมาณน้ำที่ได้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากน้ำที่เข้าไปยังท่อทางดูดมีปริมาณน้อย ส่งผลให้มีอัตราการไหลภายในท่อทางส่งน้อย โดยปริมาณน้ำเฉลี่ยสะสมรวมตลอดทั้งวันเท่ากับ 18,567.15 ลิตร



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของระยะเวลา และปริมาณน้ำตามขนาดท่อทางด้านดูด

ผลการทดสอบขนาดของท่อทางดูด 1.5 นิ้ว พบว่า ปริมาณค่าอัตราการไหลเริ่มต้นเท่ากับ 51.24 ลิตรต่อนาที รอบมอเตอร์หมุน 1,691 รอบต่อนาที ค่าระดับแรงดันภายในท่อทางดูดเริ่มต้นเท่ากับ -0.20 บาร์ เมื่อระยะเวลาผ่านไป สามารถวัดค่าปริมาณน้ำสูงสุดได้สูงสุดในเวลาช่วง 12:00-13:00 น. ที่ระดับ 4,021.89 ลิตรต่อชั่วโมง เนื่องมาจากการขยายท่อทางดูด ส่งผลให้มีปริมาณอัตราการไหลสูงขึ้นเฉลี่ย 67.03 ลิตรต่อนาที รอบมอเตอร์หมุนสูงสุดที่ระดับ 2,479 รอบต่อนาที ค่าระดับแรงดันเท่ากับ -0.65 บาร์ ดังภาพที่ 7 กราฟจะมีลักษณะเป็นรูปพลาโลบา โดยมีปริมาณน้ำที่ได้ในเวลา 16:00-17:00 น. น้อยสุดที่ระดับ 2,754.88 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ระดับอัตราการไหลเฉลี่ย 45.91 ลิตรต่อนาที รอบมอเตอร์หมุน 1,665 รอบต่อนาที ระดับแรงดันทางด้านดูดลดลงที่ระดับ -0.35 บาร์ และยังได้ค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยสะสมรวมตลอดทั้งวันเท่ากับ 32,194.24 ลิตร โดยหากไม่มีเงาบังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เครื่องสูบน้ำทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

ผลการทดสอบขนาดของท่อทางดูด 2 นิ้ว พบว่า ปริมาณค่าอัตราการไหลเริ่มต้นเท่ากับ 60.64 ลิตรต่อนาที จำนวนรอบมอเตอร์หมุนเท่ากับ 1,623 รอบต่อนาที ค่าระดับแรงดันภายในท่อทางดูดเริ่มต้นเท่ากับ -0.15 บาร์ และเมื่อระดับความเข้มแสงสูงสุดเวลา 12:00-13:00 น. สามารถวัดค่าปริมาณน้ำได้ที่ระดับ 5,116.21 ลิตรต่อชั่วโมง อัตราการไหลเฉลี่ย 85.27 ลิตรต่อนาที ใกล้เคียงกับคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ จำนวนรอบมอเตอร์หมุน และค่าระดับแรงดันภายในท่อทางดูดเท่ากับ 2,547 รอบต่อนาที และ -0.2 บาร์ ตามลำดับ ดังภาพที่ 7 กราฟจะมีลักษณะเป็นรูปพลาโลบา ทั้งนี้การขยายท่อทางดูดจะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำมากขึ้น และยังลดโอกาสการเกิดโพรงอากาศ (Cavitations) ภายในท่อทางดูดได้อีกด้วย โดยปริมาณน้ำที่ได้ในช่วงเวลา 16:00-17:00 น. เท่ากับ 3,115.74 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อัตราการไหลเฉลี่ย 51.93 ลิตรต่อนาที จำนวนรอบมอเตอร์ 1,592 รอบต่อนาที ระดับแรงดันทางด้านดูด -0.18 บาร์ ปริมาณน้ำเฉลี่ยสะสมรวมตลอดทั้งวันเท่ากับ 38,008.30 ลิตร

ผลการศึกษาขนาดของท่อทางดูดระบบสูบน้ำแบบพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือน พบว่า ขนาดท่อทางดูดมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ตลอดทั้งวัน ตามขนาดท่อทางดูดที่แตกต่างกัน 3 ขนาด (1 1.5 และ 2 นิ้ว) มีปริมาณน้ำสูงสุดในช่วงเวลา 12:00-13:00 น. เท่ากับ 2,259.16 4,021.89 และ 5,116.21 ลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้ท่อทางดูดขนาด 2 นิ้ว สามารถสูบน้ำได้ปริมาณมากที่สุด ค่าปริมาณน้ำที่สามารถสูบได้ตลอดวันเท่ากับ 38,008.30 ลิตร โดยจะเห็นว่าท่อทางดูดขนาด 1 นิ้ว เมื่อมีปริมาณความเข้มแสงเพิ่มขึ้น จะมีผลต่อปริมาณน้ำที่สูบได้น้อยมาก ปริมาณน้ำที่ได้สะสมรวมในแต่ละชั่วโมงได้ปริมาณใกล้เคียงกันตลอดวัน สาเหตุเนื่องมาจากข้อจำกัดของขนาดท่อทางดูด ซึ่งเมื่อเทียบกับท่อทางดูดขนาด 1.5 และ 2 นิ้ว ปริมาณความเข้มแสงสูงขึ้นไปจะส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำสะสมสูงขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้การขยายท่อทางดูด นอกจากได้ปริมาณน้ำเต็มประสิทธิภาพแล้ว ยังสามารถลดปริมาณเสียงของมอเตอร์ขณะทำงาน เนื่องจากปริมาณน้ำเข้าไปในระบบไม่ทันต่อความต้องการของเครื่องสูบน้ำ และหากขยายด้วยข้อลดแบบคางหมู ยังสามารถลดโอกาสการเกิดโพรงอากาศ (Cavitations) ภายในท่อทางดูด และรอบการทำงานของมอเตอร์จะลดน้อยลง เมื่อเทียบกับการไม่ได้ขยายท่อทางดูด ทั้งนี้สามารถนำผลการวิจัยข้างต้นไปประยุกต์ใช้ภายในสวนผลไม้ที่ติดตั้งเครื่องสูบน้ำขนาดใหญ่ หรือในระดับครัวเรือน เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมากขึ้น ซึ่งหากใช้งานทุกวันตลอดเดือน (30 วัน) จะสามารถลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 120 ยูนิต ต่อเดือน สามารถประหยัดค่ากระแสไฟฟ้าในการสูบน้ำได้เป็นเงิน 540 บาทต่อเดือน ทั้งนี้คำนวณจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ 4.5 บาท ต่อยูนิต รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม [9]

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาขนาดของท่อทางดูดระบบสูบน้ำแบบพลอยน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือน ประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 550 วัตต์ ต่อร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวขนาด 400 วัตต์ จำนวน 2 แผง โครงสร้างขนาดความกว้าง 1,520 มิลลิเมตร ยาว 1,520 มิลลิเมตร และสูง 200 มิลลิเมตร เมื่อนำไปติดตั้งในพื้นที่แหล่งน้ำวางบนถังน้ำขนาด 60 ลิตร จำนวน 4 ใบ สามารถรักษาความสมดุลพลอยน้ำได้เป็นอย่างดี โดยควรติดตั้งเครื่องสูบน้ำขนาดที่เหมาะสม 1-2 แรงม้า และยึดโครงสร้างเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ ทดสอบสูบน้ำในช่วงเวลา 08:00 น. ถึง 17:00 น. เฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง จำนวน 3 ครั้ง วิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ได้ในแต่ละช่วงเวลา โดยติดตั้ง ท่อทางดูดที่แตกต่างกัน 3 ขนาด (1.5 และ 2 นิ้ว) ซึ่งทั้ง 3 ขนาดมีช่วงเวลาการทำงานที่มีปริมาณน้ำสูงสุดคือช่วงเวลา 12:00-13:00 น. ได้ปริมาณน้ำ 2,259.16 4,021.89 และ 5,116.21 ลิตร โดยขนาดท่อทางดูดขนาด 2 นิ้ว ได้ปริมาณน้ำสูงสุดต่อวัน 38,008.30 ลิตร ทั้งนี้การขยายท่อทางดูดควรมีขนาดมากกว่าขนาดท่อด้านดูด (ขนาด 1 นิ้ว) ของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งการขยายท่อทางดูดเป็น 1.5 และ 2 นิ้ว จะส่งผลให้ปริมาณน้ำเข้าสู่ระบบทันกับรอบหมุนของมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้ปริมาณน้ำใกล้เคียงกับคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในระดัครัวเรือนขนาดเล็กที่กระแสไฟฟ้าจากระบบบริการเข้าไปไม่ถึง ซึ่งจะช่วยลดรายจ่ายในภาคครัวเรือนได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่สนับสนุนงบประมาณการทำวิจัยอย่างต่อเนื่อง และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำต่อการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] เซาว์ สวงนศักดิ์. (2562). **ปั้มน้ำ การติดตั้ง การใช้ และการบำรุงรักษา**. สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2565, จาก https://www.pumpnum.com/private_folder/story/pump_basic_manual.pdf
- [2] สุรเชษฐ์ มิตรสานนท์ กันตภณ โกลนพันธ์ และวาริชา วาเม. (2564). การศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แบบทุ่นลอยน้ำ กรณีศึกษา บ้านวังดินสอ จังหวัดพิษณุโลก. **วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี**. 11 (2), 81-91.
- [3] สุนทร สุทธิบาก. (2558). **กลศาสตร์ของไหล**. สืบค้นเมื่อ 8 กรกฎาคม 2566, จาก <http://portal5.udru.ac.th/ebook/pdf/upload/185TD92551325pPp4r5T.pdf>
- [4] จารุวรรณ พิพัฒน์พุทธพันธ์. (2557). **ตำแหน่งของทิศที่ควรติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์**. สืบค้นเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2565, จาก https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=55175
- [5] นครินทร์ รินผล. (2559). **คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์เบื้องต้น**. กรุงเทพฯ : จรัสสินทวงศ์ การพิมพ์.
- [6] แฟ็คโตมาร์ท. (2562). **ประเภทของ Flow Meter**. สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2565, จาก <https://mall.factomart.com/type-of-flow-meter/>

- [7] Gaisma. (2565). **Solar Energy and Surface Meteorology**. สืบค้นเมื่อ 9 พฤษภาคม 2566, จาก <https://www.gaisma.com/en/location.chanthaburi.html>
- [8] วิบูลย์ บุญยธโรกุล. (2529). **ปั๊มและระบบสูบน้ำ**. กรุงเทพฯ ฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [9] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2566). **อัตราค่าไฟฟ้า-การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค**. สืบค้นเมื่อ 5 มีนาคม 2566, จาก https://www.pea.co.th/Portals/0/demand_response/Electricity%20Reconsider.pdf?ver=2018-10-01-155123-370

การหาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการตามลำดับชั้น
เพื่อวางแผนป้องกันผลกระทบสำหรับพืชเศรษฐกิจ ในพื้นที่ตำบลนาทราย อำเภอสี จังหวัดลำพูน

Identification of drought risk areas using a Geographical Information System with Analytic Hierarchy
Process to effectively plan for preventing industrial crops damage in Na Sai sub-district, Li district,
Lamphun province.

หนุ่ม สมบุญลาภ¹ วรจิตต์ เศรษฐพรค์¹ รัชพล สัมพุทธานนท์² สุรัชชัย ณรัฐ จันท์ศรี^{1*}
Noom Sombunlap¹ Worajit Setthapun¹ Ratchaphon Samphutthanont² Surachai Narrat Jansri^{1*}

¹วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50180

²คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50180

¹Asian Development College for Community Economy and Technology (adiCET),
Chiang Mai Rajabhat University, Mae Rim, Chiang Mai, 50180, Thailand

²Faculty of Humanities and Social Sciences, Chiang Mai Rajabhat University,
Chang Puak, Maueng, Chiang Mai, 50300, Thailand

*corresponding author e-mail: surachai_nar@g.cmru.ac.th

Received: 9 May 2023, Revised: 16 May 2023, Accepted: 20 May 2023, Published online: 30 April 2024

Abstract

Climate change and land use/cover change are important factors affecting environmental changes and important geological processes. This study aims to use geographic information system (GIS) and a hierarchical analysis process to identify drought-prone areas and propose measures to mitigate the impact on agricultural crops in Nasai sub-district, Li district, Lamphun province. The study investigated factors that contribute to drought hazards and identified their level of importance using a hierarchical analysis process. The results showed that Nasai sub-district has the highest area at risk of drought, covering 1.66 square kilometers (0.84%), with most of the risk located in the southern part of the area. The area consists of forestland (64.29%), community and built-up areas (12.95%), agricultural land (11.20%), rice fields (9.63%), and orchards, fruit trees, and garden plants (1.92%). The area has a slope of between 15-30%. The most influential factor contributing to the level of drought risk is the average annual rainfall, which is less than 1,000 millimeters, followed by the number of days of rainfall, which is less than 60 days per year with weights of 0.27 and 0.22, respectively, other factors related to underground water supply rates of 2-10 cubic meters per hour, distance from water sources or irrigation areas of less than 1,000 meters, and land use factors in the area are also relevant. The majority of the land use is forest at 87.28 square kilometers

(43.80%), followed by agricultural land at 46.79 square kilometers (23.48%). The crops most affected by drought in the area are plantation crops, which occupy an area of 4.04 square kilometers (11.20%), followed by rice cultivation at 3.47 square kilometers (9.63%), and perennial crops, fruit trees, and horticulture crops at 0.69 square kilometers (1.92%). The guidelines for mitigating the impact on the agricultural economy can be divided into three stages: the emergency stage, which involves increasing the amount of water storage and selecting suitable areas for cultivation; the mid-term stage, which involves managing water resources and using irrigation technologies that meet the water requirements of the crops, as well as emphasizing the cultivation of crops with low water requirements but high profits, and the long-term stage, which involves planning for drought prevention and promoting conservation measures for soil and water based on the slope of the land.

Keywords: Drought, Geographical Information System, Analytic Hierarchy Process

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุม เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม และกระบวนการทางอุทกวิทยาอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการหาพื้นที่เสี่ยงภัย แล้งด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการตามลำดับขั้นเพื่อหาแนวทางการป้องกันผลกระทบสำหรับพืช เศรษฐกิจ ในพื้นที่ตำบลนาทราย อำเภอสี จังหวัดลำพูน โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำให้เกิดภัยแล้ง และทำการกำหนดค่า ระดับความสำคัญและค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น และนำค่าที่ได้ไปใช้ในขั้นตอน การซ้อนทับข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่แบบถ่วงน้ำหนัก พบว่า ตำบลนาทรายมีพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมากที่สุด 1.66 ตาราง กิโลเมตร (ร้อยละ 0.84) และพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมาก 34.38 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 17.25) ส่วนใหญ่พบในบริเวณพื้นที่ทาง ตอนใต้ของพื้นที่ ประกอบไปด้วย พื้นที่ป่าไม้ 23.17 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 64.29) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 4.67 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 12.95) พืชไร่ 4.04 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 11.20) นาข้าว 3.47 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.63) และ ไม้ยืนต้น ไม้ผล พืชสวน 0.69 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 1.92) เป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันระหว่าง 15 – 30 % ปัจจัยที่มีผล ต่อระดับเสี่ยงภัยแล้งมากที่สุดคือ ปัจจัยปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีซึ่งมีน้อยกว่า 1,000 มิลลิเมตร รองลงมาคือ ปัจจัยจำนวน วันที่ฝนตกเฉลี่ยรายปี ซึ่งมีจำนวนวันฝนตกทั้งปีน้อยกว่า 60 วันและ 60-80 วัน โดยมีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.27 และ 0.22 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ที่เกี่ยวข้องได้แก่ ปัจจัยอัตราการให้น้ำของชั้นหินใต้ดิน อยู่ระหว่าง 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อ ชั่วโมง ปัจจัยระยะห่างจากแหล่งน้ำหรือเขตชลประทานซึ่งน้อยกว่า 1,000 เมตร และปัจจัยการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ ส่วนใหญ่ เป็นป่าไม้ 87.28 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 43.80) รองลงมาเป็นพื้นที่เกษตรกรรม 46.79 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 23.48) ในส่วนพืชเศรษฐกิจที่เพาะปลูกในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งมากที่สุด คือ พืชไร่ มีพื้นที่ 4.04 ตาราง กิโลเมตร (ร้อยละ 11.20) นาข้าว มีพื้นที่ 3.47 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.63) และไม้ยืนต้น ไม้ผล และพืชสวน มีพื้นที่ 0.69 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 1.92) แนวทางป้องกันผลกระทบกับพืชเศรษฐกิจแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะเร่งด่วน เพิ่มปริมาณ น้ำกักเก็บ และเลือกพื้นที่ปลูกให้เหมาะสมกับพืช ระยะกลาง บริหารจัดการน้ำอย่างมีส่วนร่วม ใช้เทคโนโลยีการให้น้ำที่ เหมาะสมกับความต้องการน้ำของพืช และเน้นการเพาะปลูกพืชปริมาณน้อยที่ได้ผลกำไรมาก และระยะยาว วางแผนป้องกัน ปัญหาภัยแล้ง และส่งเสริมมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำตามระดับความชันของพื้นที่

คำสำคัญ: พื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, กระบวนการตามลำดับขั้น

บทนำ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ปัญหาการขาดแคลนน้ำได้รับผลกระทบจากภาวะโลกร้อน ปริมาณน้ำฝนที่ลดลงสวนทางกับปริมาณการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้น การจัดการทรัพยากรน้ำที่ไม่เหมาะสม ผลผลิตการใช้น้ำในภาคการเกษตรต่ำ การลดตระหนักต่อหลักการพัฒนาอย่างยั่งยืนในส่วนที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำและทรัพยากรอื่น ๆ ซึ่งเป็นหนึ่งในข้อกังวลที่สุด ภูมิภาคต่าง ๆ ของโลกอยู่ภายใต้อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี สภาพดิน สภาพพืชเฉพาะถิ่น สภาพของแหล่งน้ำผิวดินและใต้ผิวดิน ฯลฯ รวมถึงกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน รูปแบบการเพาะปลูก ระบบการเกษตรที่ใช้ รวมทั้งระบบชลประทานหรือน้ำฝน การจัดการที่ไม่เหมาะสมและอื่น ๆ มีความอ่อนไหวต่อการเกิดขึ้นของความแห้งแล้ง [1]

ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นหนึ่งในภูมิภาคที่ได้รับผลกระทบจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากยังคงพึ่งพาเศรษฐกิจที่อาศัยแหล่งน้ำจืดเป็นสำคัญ [2-4] โดยเฉพาะภาคการเกษตร ที่ต้องเผชิญกับความท้าทายที่สำคัญ เช่น ภัยแล้งที่ยืดเยื้อมากขึ้น [5-6] เหตุการณ์อากาศหนาวจัดนอกฤดู [6] และความยากลำบากในการตอบสนองความต้องการอาหารของโลกอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสร้างความเสียหายให้ระบบเศรษฐกิจของโลกมากกว่า 60 พันล้านดอลลาร์ต่อปี [7] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเพื่อตอบสนองการอุปโภคบริโภคของประชากรโลกให้มากขึ้น [6]

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุม จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม และส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อกระบวนการทางอุทกวิทยาในภูมิภาค ซึ่งได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติและการสร้างแบบจำลอง [3] ปัจจุบันระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) มีบทบาทและมีการประยุกต์ใช้เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการแก้ไขปัญหาเชิงพื้นที่อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษ ที่สามารถทำการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และเวลา รวมถึงการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้โดยง่าย และแสดงผลเป็นแผนที่ ทำให้สามารถเข้าใจได้ง่ายกว่าการนำเสนอรูปแบบข้อมูลแบบอื่น ๆ ซึ่งระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น การหาความเหมาะสมของที่ดิน (Land suitability) [8] การเลือกพื้นที่ (Site search and selection) [9-10] การจัดสรรทรัพยากร (Resource allocation) การประเมินผลกระทบ (Impact assessment) [11-12] การจัดสรรตำแหน่ง (Location allocation) [13-14] และระบบฐานข้อมูล (Knowledge base system) รวมทั้งสามารถประเมินหาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งและพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมด้วยเช่นกัน [15-16]

ตำบลนาทราย เป็นตำบลหนึ่งในพื้นที่อำเภอฉวาง จังหวัดลำพูน มีพื้นที่ทั้งหมด 199.26 ตารางกิโลเมตร โดยมี การเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ลำไย ข้าวโพด ข้าว และมันสำปะหลัง แต่ด้วยเกิดปัญหาภัยแล้งซ้ำซากเนื่องจากเกิดฝนแล้ง และ ฝนทิ้งช่วงจึงทำให้ผลผลิตมีปริมาณและคุณภาพที่ต่ำ การพึ่งพาการใช้น้ำเพื่อการเกษตรของพื้นที่ส่วนใหญ่อาศัยน้ำฝน ซึ่งมีความไม่แน่นอน ในบางปีฝนมากและในบางปีฝนน้อย เกษตรกรไม่สามารถคาดการณ์ถึงความเสี่ยงที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นความเข้าใจถึงลักษณะของภัยแล้งที่เกิดขึ้นในพื้นที่จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการจัดการทรัพยากรน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการน้ำในอนาคต การศึกษาวิจัยนี้จึงใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographical Information System: GIS) ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchical Process: AHP) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ในการวินิจฉัยเพื่อช่วยในการตัดสินใจประเด็นปัญหาที่มีความซับซ้อนให้ดำเนินการให้ง่ายขึ้น โดยการแบ่งปัญหาออกเป็นแต่ละส่วน เพื่อสร้างรูปแบบโครงสร้างของปัญหาให้เข้าใจง่ายขึ้น โดยใช้แผนภูมิลำดับชั้นในการแสดงองค์ประกอบของปัญหาที่ถูกแบ่งออกมา จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามของผู้ตัดสินใจหรือผู้เชี่ยวชาญ มาใช้เป็นตัวกำหนดค่าวินิจฉัย โดยการเปรียบเทียบหาลำดับ ความสำคัญของปัจจัยและวิเคราะห์ว่าปัจจัยทางเลือกใดที่จะมีลำดับความสำคัญสูงสุด [17] ซึ่งจะนำวิธีการดังกล่าวไปใช้ในการหาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนการจัดการภัยแล้งของพื้นที่ในอนาคตได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านกายภาพที่มีผลต่อสาเหตุของการเกิดภัยแล้ง
2. เพื่อสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับประเมินหาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งร่วมกับวิธีการกระบวนการตามลำดับชั้น
3. เพื่อเสนอแนะแนวทางป้องกันผลกระทบสำหรับพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ตำบลนาทราย อำเภออู่ จังหวัดลำพูน

วิธีการวิจัย

1. การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านกายภาพที่มีผลต่อสาเหตุของการเกิดภัยแล้ง

การดำเนินการวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งที่ส่งผลกระทบต่อพืชเศรษฐกิจในตำบลนาทราย อำเภออู่ จังหวัดลำพูน ในครั้งนี้ ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น จากเอกสารและงานวิจัยของ [18-20] ซึ่งมีปัจจัยทางด้านกายภาพที่เป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดภัยแล้ง มีจำนวน 7 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี จำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยรายปี อัตราการให้น้ำของชั้นหินให้น้ำใต้ดิน ระยะห่างจากแหล่งน้ำหรือเขตชลประทาน ความลาดชันของพื้นที่ การระบายน้ำของดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากนั้นทำการกำหนดค่าระดับความสำคัญ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่านเป็นผู้ประเมินจากแบบประเมินในการกำหนดค่าคะแนนและค่าน้ำหนัก และทำการตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของข้อมูล (Consistency Ratio: CR) [17] ดังสมการ 1-3 โดยการคำนวณหาลำดับความสำคัญ ในแต่ละระดับชั้นให้พิจารณาเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ต่าง ๆ ในระดับชั้นเดียวกัน โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบเกณฑ์หรือทางเลือกทีละคู่ (Pairwise Comparison) ดังตาราง 1 ซึ่งสามารถนำค่าที่ได้ไปใช้ในขั้นตอนการซ้อนทับข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่สำหรับสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับประเมินหาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แบบถ่วงน้ำหนักได้

$$CR = CI/RI \quad (1)$$

เมื่อ CI คือ ดัชนีความสอดคล้อง (Consistency index); RI คือ ดัชนีจากการสุ่มตัวอย่าง (Random index) (ดังตารางที่ 2)

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

เมื่อ n คือ จำนวนปัจจัยทั้งหมด; λ_{\max} คือ ค่าไอเกน (Eigen Value) สูงสุดของสัมประสิทธิ์เฉพาะ

$$\lambda_{\max} = \text{Consistency Vector}/n \quad (3)$$

เมื่อ Consistency Vector คือ ผลคูณเมตริกที่ได้จากตารางการเปรียบเทียบการให้ค่าคะแนนระดับความสำคัญ ; n คือ จำนวนปัจจัยทั้งหมด

ตารางที่ 1 ระดับความสำคัญความเสี่ยงภัยแล้ง

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวเลข (Numerical Value)
มีความเสี่ยงภัยแล้งต่ำมาก	1
มีความเสี่ยงภัยแล้งต่ำ	3
มีความเสี่ยงภัยแล้งปานกลาง	5
มีความเสี่ยงภัยแล้งมาก	7
มีความเสี่ยงภัยแล้งมากที่สุด	9

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีจากการสุ่มตัวอย่าง (Random index)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48

2. การสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับประเมินหาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งร่วมกับวิธีการกระบวนการตามลำดับชั้น

2.1 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี

ปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำในพื้นที่ พื้นที่ที่มีฝนตกมากจะเป็นพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดความแห้งแล้งน้อย ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ได้รวบรวมจากสถานีตรวจวัดสภาพน้ำฝน จำนวน 8 สถานี ที่ใกล้เคียงพื้นที่ศึกษาจากศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนบน และศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ โดยใช้วิธีการประมาณค่าช่วงแบบ Inverse Distance Weighted [21] และนำข้อมูลที่ได้มาจัดลำดับชั้นข้อมูล

2.2 จำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยรายปี

กำหนดสภาวะความผิดปกติของลมฟ้าอากาศ ฝนทิ้งช่วง ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล โดยพิจารณาตามจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะบอกถึงขนาดความรุนแรงของความแห้งแล้ง ฉะนั้นบริเวณพื้นที่ที่มีจำนวนวันที่ฝนตกมากจะเป็นพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดความแห้งแล้งน้อย ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยรายปี ได้รวบรวมข้อมูลจากสถานีตรวจวัดสภาพน้ำฝน จำนวน 8 สถานี จากศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนบน และศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ โดยใช้วิธีการประมาณค่าช่วงแบบ Inverse Distance Weighted [21] และนำข้อมูลที่ได้มาจัดลำดับชั้นข้อมูล

2.3 อัตราการให้น้ำของชั้นหินให้น้ำใต้ดิน

ความสามารถของการให้น้ำของชั้นหินให้น้ำใต้ดินเป็นข้อมูลที่บ่งถึงศักยภาพของน้ำใต้ดิน หากสามารถนำน้ำมาใช้ประโยชน์ได้จะมีโอกาสที่จะเกิดความแห้งแล้งได้น้อยกว่าพื้นที่ที่ไม่มีอัตราการให้น้ำหรือมีอัตราการให้น้ำน้อย ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลได้พิจารณาจากอัตราการให้น้ำของชั้นหินให้น้ำใต้ดิน ในแผนที่ชั้นหินให้น้ำของกรมทรัพยากรธรณี [22] และนำข้อมูลที่ได้มาจัดลำดับชั้นข้อมูล

2.4 ระยะห่างจากแหล่งน้ำหรือเขตชลประทาน

พื้นที่ที่มีแหล่งน้ำหรือใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ หนองน้ำ มีโอกาสที่จะเกิดความแห้งแล้งได้น้อยกว่าพื้นที่ที่ไม่มีแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งในการศึกษานี้พิจารณาเฉพาะแหล่งน้ำที่มีน้ำตลอดปี และพื้นที่ในเขตชลประทาน ซึ่งเป็นสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น อ่างเก็บน้ำ ที่สามารถนำน้ำมาใช้ได้จึงมีโอกาสดังกล่าวจะเกิดความแห้งแล้งได้น้อยกว่าพื้นที่นอกเขตชลประทาน ซึ่งมีการวิเคราะห์ข้อมูลจากแหล่งน้ำผิวดินบนแผนที่ภูมิประเทศ ที่มีน้ำใช้ในฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยใช้วิธี Buffer Linear จากโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และนำข้อมูลมาจัดลำดับชั้นข้อมูล

2.5 ความลาดชันของพื้นที่

ความลาดชันของพื้นที่มีผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำบนผิวดินและใต้พื้นดิน จากหลักการไหลของน้ำ พื้นที่ที่มีความลาดชันมาก เช่น พื้นที่สูงและดอน น้ำจะไหลบ่าออกจากพื้นที่ได้เร็วกว่าพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยหรือพื้นที่ราบลุ่ม พื้นที่ที่มีความลาดชันมากจะมีการไหลบ่าของน้ำออกจากพื้นที่อย่างรวดเร็ว จึงทำให้โอกาสที่น้ำจะไหลซึมไปกักเก็บน้ำไว้ในดินได้น้อย ดังนั้นพื้นที่ที่มีความลาดชันมากจึงมีน้ำกักเก็บไว้ได้น้อยจึงมีโอกาสเกิดความแห้งแล้งมาก ซึ่งมีการวิเคราะห์ข้อมูลความลาดชันของพื้นที่ได้นำเส้นชั้นความสูงกับจุดระดับความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศ [23] และนำข้อมูลที่ได้มาจัดลำดับชั้นข้อมูล

2.6 ความสามารถในการระบายน้ำของดิน

ความสามารถในการระบายน้ำของดินเป็นตัวชี้วัดระดับความสามารถในการเก็บน้ำไว้ใช้ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณลักษณะทางกายภาพของพื้นฐานของดิน ได้แก่ เนื้อดิน โดยพิจารณาจากคุณสมบัติการระบายน้ำของชุดดิน กล่าวคือ พื้นที่ที่ดินเป็นดินเหนียว จะมีโอกาสเกิดความแห้งแล้งมาก เพราะดินเหนียวมีความสามารถในการระบายน้ำได้ดีจึงกักเก็บน้ำไว้ได้น้อย ซึ่งมีการวิเคราะห์ข้อมูลความสามารถในการระบายน้ำของดินจากข้อมูลชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน [24] และนำข้อมูลที่ได้มาจัดลำดับชั้นข้อมูล

2.7 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดินพิจารณาจากชนิดของพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมในพื้นที่นั้นๆ พื้นที่ซึ่งมีพืชปกคลุมที่ต้องการน้ำน้อยโอกาสที่เกิดความแห้งแล้งต่ำ แต่พื้นที่ซึ่งมีพืชปกคลุมที่ต้องการน้ำมากโอกาสที่จะเกิดความแห้งแล้งสูง ซึ่งได้จำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน [24] และนำข้อมูลที่ได้มาจัดลำดับชั้นข้อมูล

3. การจัดกลุ่มระดับความเสี่ยงและซ้อนทับข้อมูลกายภาพเพื่อหาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง

การซ้อนทับข้อมูลเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญและเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่นำไปสู่การหาคำตอบโดยนำค่าถ่วงน้ำหนักและค่าคะแนนซ้อนทับดังตาราง 3 และสมการ 4 ค่าคะแนนรวมที่ได้จะถูกนำมาจัดกลุ่มโอกาสที่เสี่ยงต่อการเกิดภัยแล้ง โดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) ของค่าคะแนนเป็นหลัก แล้วจึงนำค่าการกระจายข้อมูล (Standard deviation: SD) มากำหนดพิสัย (Range) ของคะแนนในแต่ละช่วงโอกาส การพิจารณาความกว้างของแต่ละช่วงแต่ละระดับตามหลักการดังนี้

พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมากที่สุด	มีค่า > 2SD
พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมาก	มีค่า 1SD ถึง 2SD
พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งปานกลาง	มีค่า - 1SD ถึง 1SD
พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งต่ำ	มีค่า - 2SD ถึง - 1SD
พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งต่ำมาก	มีค่า <- 2SD

$$Wt = (W_1 * X_1) + (W_2 * X_2) + (W_3 * X_3) + (W_4 * X_4) + (W_5 * X_5) + (W_6 * X_6) + (W_7 * X_7) \quad (4)$$

เมื่อ Wt คือ ระดับความเสี่ยงที่เกิดภัยแล้งโดยเป็นค่าคะแนนรวมของแต่ละปัจจัย; W_1 คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี); W_2 คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (จำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยรายปี); W_3 คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (อัตราการให้น้ำของชั้นหินให้น้ำใต้ดิน); W_4 คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (ระยะห่างจากแหล่งน้ำหรือเขตชลประทาน); W_5 คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (ความลาดชันของพื้นที่); W_6 คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (ความสามารถในการระบายน้ำของดิน); W_7 คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่); X_1 คือ ค่าคะแนน (ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี); X_2 คือ ค่าคะแนน (จำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยรายปี); X_3 คือ ค่าคะแนน (อัตราการให้น้ำของชั้นหินให้น้ำใต้ดิน); X_4 คือ ค่าคะแนน (ระยะห่างจากแหล่งน้ำหรือเขตชลประทาน); X_5 คือ ค่าคะแนน (ความลาดชันของพื้นที่); X_6 คือ ค่าคะแนน (ความสามารถในการระบายน้ำของดิน); X_7 คือ ค่าคะแนน (การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่)

ตารางที่ 3 ตัวแปรและการถ่วงน้ำหนักของประเภทข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

ชั้นข้อมูล (ตัวแปร)	รายละเอียด (Attribute)	ค่าน้ำหนัก	ค่าคะแนน
1. ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี	< 1,000 mm	0.27	7
	1,000 – 1,200 mm		5
	1,200 – 1,400 mm		3
	> 1,400 mm		1
2. จำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยรายปี	< 60 วัน	0.22	7
	60 – 80 วัน		5
	80 – 100 วัน		3
	> 100 วัน		1
3. อัตราการให้น้ำของชั้นหินให้น้ำใต้ดิน	< 2 m ³ /hr.	0.17	7
	2 – 10 m ³ /hr.		5
	10 – 20 m ³ /hr.		3
	> 20 m ³ /hr.		1
4. ระยะห่างจากแหล่งน้ำหรือเขตชลประทาน	> 3,000 m	0.16	7
	2,000 – 3,000 m		5
	1,000 – 2,000 m		3
	< 1,000 m		1
5. ความลาดชันของพื้นที่	> 30 %	0.07	7
	15 – 30 %		5
	6 – 15 %		3
	< 6 %		1
6. ความสามารถในการระบายน้ำของดิน	การระบายน้ำดี	0.06	7
	การระบายน้ำดี – ดิปานกลาง		5
	การระบายน้ำเลว – ค่อนข้างเลว		3
	การระบายน้ำเลว		1
7. การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	0.04	9
	นาข้าว		7
	ไม้ยืนต้น ไม้ผล พืชสวน		5
	พืชไร่		3
	พื้นที่ป่าไม้		1

4. การวางแผนป้องกันผลกระทบสำหรับพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ตำบลนาทราย อำเภอสี จังหัดลำพูน ค่า Mean และ SD ที่ได้จากการซ้อนทับข้อมูลได้นำไปใช้ในการจัดกลุ่มโอกาสระดับความเสี่ยงและกำหนดพิสัยของคะแนน โดยใช้โปรแกรมประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนป้องกันผลกระทบสำหรับพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ตำบลนาทราย

5. การเสนอแนะแนวทางป้องกันผลกระทบสำหรับพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ตำบลนาทราย อำเภอถ้ำ จังหวัดลำพูน ใช้วิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interviews) กับกลุ่มเป้าหมายที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง จำนวน 42 คน ประกอบด้วย 1) ผู้บริหารและข้าราชการองค์การบริหารส่วนตำบลนาทรายที่เกี่ยวข้อง 7 คน 2) หน่วยงานในพื้นที่ ได้แก่ เจ้าหน้าที่โครงการหลวงพระบาทห้วยต้ม และเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดลำพูน (เกษตรที่สูง) จำนวน 2 คน 3) ผู้นำชุมชน ได้แก่ ผู้ใหญ่บ้าน จำนวน 23 หมู่บ้าน และ 4) ตัวแทนกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ตำบลนาทราย อำเภอถ้ำ จังหวัดลำพูน จำนวน 10 คน และสรุปผล

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านกายภาพที่มีผลต่อสาเหตุของการเกิดภัยแล้ง

จากการศึกษาปัจจัยทางด้านกายภาพที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ตำบลนาทราย อำเภอถ้ำ จังหวัดลำพูน ทั้ง 7 ปัจจัย ผลการศึกษาพบว่า

1.1 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี พบว่า ตำบลนาทราย อำเภอถ้ำ จังหวัดลำพูน มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี น้อยกว่า 1,000 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 1 (ก)

1.2 จำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยรายปี

การวิเคราะห์จำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยรายปี โดยการประมาณค่าในช่วงแบบต่อเนื่อง (Inverse Distance Weight: IDW) ที่มีผลกระทบสัมพันธ์กับระยะทาง จากสถิติจำนวนวันที่ฝนตก พบว่าตำบลนาทราย อำเภอถ้ำ จังหวัดลำพูน มีจำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยรายปีน้อยกว่า 60 วัน และ 60-80 วัน ดังภาพที่ 1 (ข)

1.3 อัตราการให้น้ำของชั้นหินให้น้ำใต้ดิน (น้ำบาดาล)

การจำแนกระดับพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งของแหล่งน้ำใต้ดิน พิจารณาจากอัตราการให้น้ำของชั้นหินให้น้ำใต้ดิน พบว่าพื้นที่ทั้งหมด 199.26 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 100 ประกอบด้วยหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา ได้แก่ ชั้นหินกึ่งแปรยุคเพอร์เมียน-คาร์บอนิเฟอรัส ตะกอนตะกอนน้ำยุคเก่า หินตะกอนยุคไทรแอสซิกและจูแรสซิก และหินแปรยุคแคมเบรียน-ดีโวเนียน ซึ่งมีอัตราการให้น้ำของชั้นหินให้น้ำใต้ดินหรือปริมาณน้ำที่คาดว่าจะพัฒนาได้ ระหว่าง 2 - 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ดังภาพที่ 1 (ค)

1.4 ระยะห่างจากแหล่งน้ำหรือเขตชลประทาน

การจำแนกระยะห่างจากแหล่งน้ำได้พิจารณาจากระยะทางที่ห่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่สร้างขึ้นที่มีน้ำไหลตลอดทั้งปี พบว่าพื้นที่ทั้งหมด 199.26 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 100 มีระยะห่างจากแหล่งน้ำที่ไหลตลอดปี น้อยกว่า 1,000 เมตร และในลำน้ำมีการทำฝายต้นน้ำลำธารแบบถาวร ฝายต้นน้ำลำธารแบบกึ่งถาวร และฝายต้นน้ำลำธารอีกทั้งมีอ่างเก็บน้ำ สระน้ำ และแหล่งน้ำผิวดินกระจายทั่วพื้นที่ตำบลนาทราย ดังภาพที่ 1 (ง)

1.5 ความลาดชันของพื้นที่

พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยกว่า 6% อยู่บริเวณตอนบนและตอนกลางของพื้นที่ ส่วนพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ตั้งแต่ 15% ขึ้นไป อยู่บริเวณสันเขาตามแนวขอบเขตของพื้นที่ โดยมีความลาดชันสูงในพื้นที่ทางตอนใต้ของพื้นที่พื้นที่ที่มีความลาดชันมากขึ้น จำเป็นต้องมีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เข้มข้นยิ่งขึ้น ตามลำดับ ดังภาพที่ 1 (จ)

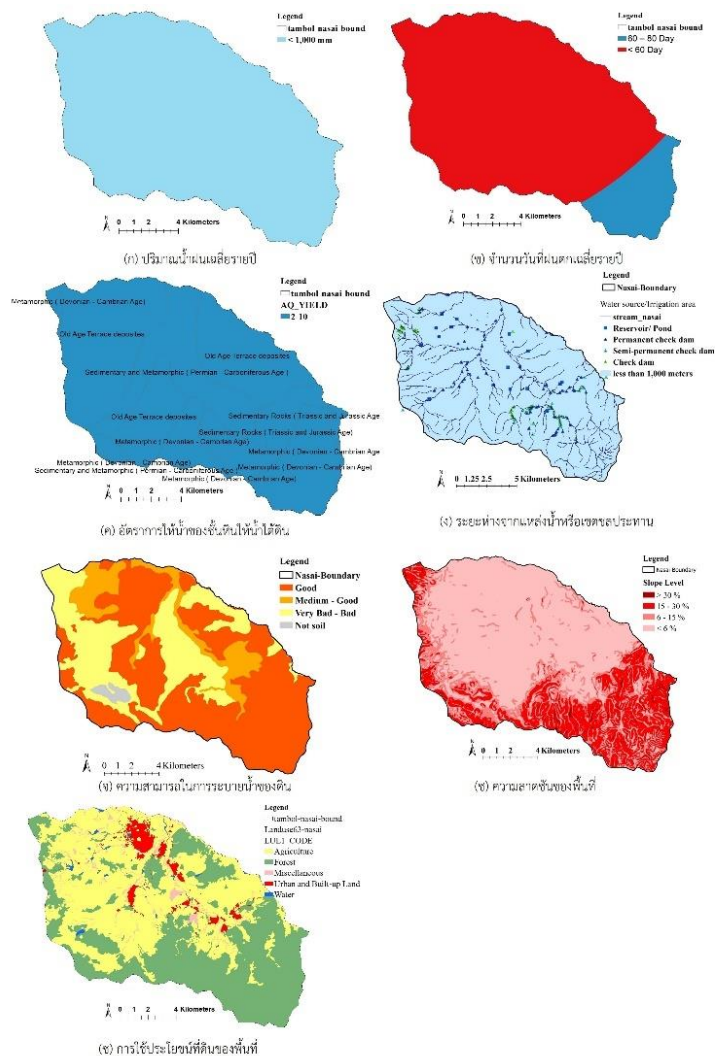
1.6 ความสามารถในการระบายน้ำของดิน

พื้นที่ตำบลนาทรายส่วนใหญ่ 113.04 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 56.73 มีลักษณะคุณสมบัติของดินเบื้องต้นคือ มีความสามารถในการระบายน้ำดี ได้แก่ เนื้อดินเป็นพวกดินเหนียว พบบริเวณพื้นที่ภูเขาเป็นส่วนใหญ่มีความสูงและดินบนพื้นที่ภูเขา ซึ่งมีความลาดชันมากกว่า 35 % รองมาพื้นที่ 59.01 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 29.61 สมบัติ

ดินเบื้องต้นของดินมีการระบายน้ำเร็ว – ค่อนข้างเร็ว เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแบ่งดังภาพที่ 1 (ช)

1.7 การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่

การวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2563 [24] พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ 87.28 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 43.80 เป็นพื้นที่ป่าไม้ลักษณะป่าผลัดใบรอสภาพพื้นที่ป่าผลัดใบสมบูรณ์ และป่าไม่ผลัดใบสมบูรณ์ กระจายอยู่ทั่วพื้นที่ โดยเฉพาะขอบเขตรอยต่อระหว่างตำบล รองลงมาพื้นที่ 46.79 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 23.48 บริเวณที่ราบและเนินเขาเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ประเภท ไม้ยืนต้น ไม้ผล พืชสวน ได้แก่ ยางพารา สัก ยูคาลิปตัส ลำไย มะม่วง ปาล์มน้ำมัน พืชผักเป็นต้น และการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท พืชไร่ ได้แก่ ข้าวโพด มันสำปะหลัง พื้นที่ 40.99 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 20.57 ตามลำดับดังภาพที่ 1 (ช)



ภาพที่ 1 ข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับประเมินหาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

2. พื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง

พื้นที่ตำบลนาทราย อำเภอเถลิง จังหวัดลำพูน จัดกลุ่มโอกาสพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมากที่สุด ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 3 รวมมีพื้นที่ 36.04 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 18.09 บริเวณทางใต้ของตำบลนาทราย โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่า

ผลัดใบสมบูรณ์ 23.17 ตารางกิโลเมตร ที่มีความลาดชันระหว่าง 15 – 30 % ซึ่งความลาดชันของพื้นที่มีผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำบนผิวดินและใต้พื้นดิน ดังตารางที่ 5 และภาพที่ 2 (ข) จากหลักการไหลของน้ำ พื้นที่ที่มีความลาดชันมาก เช่น

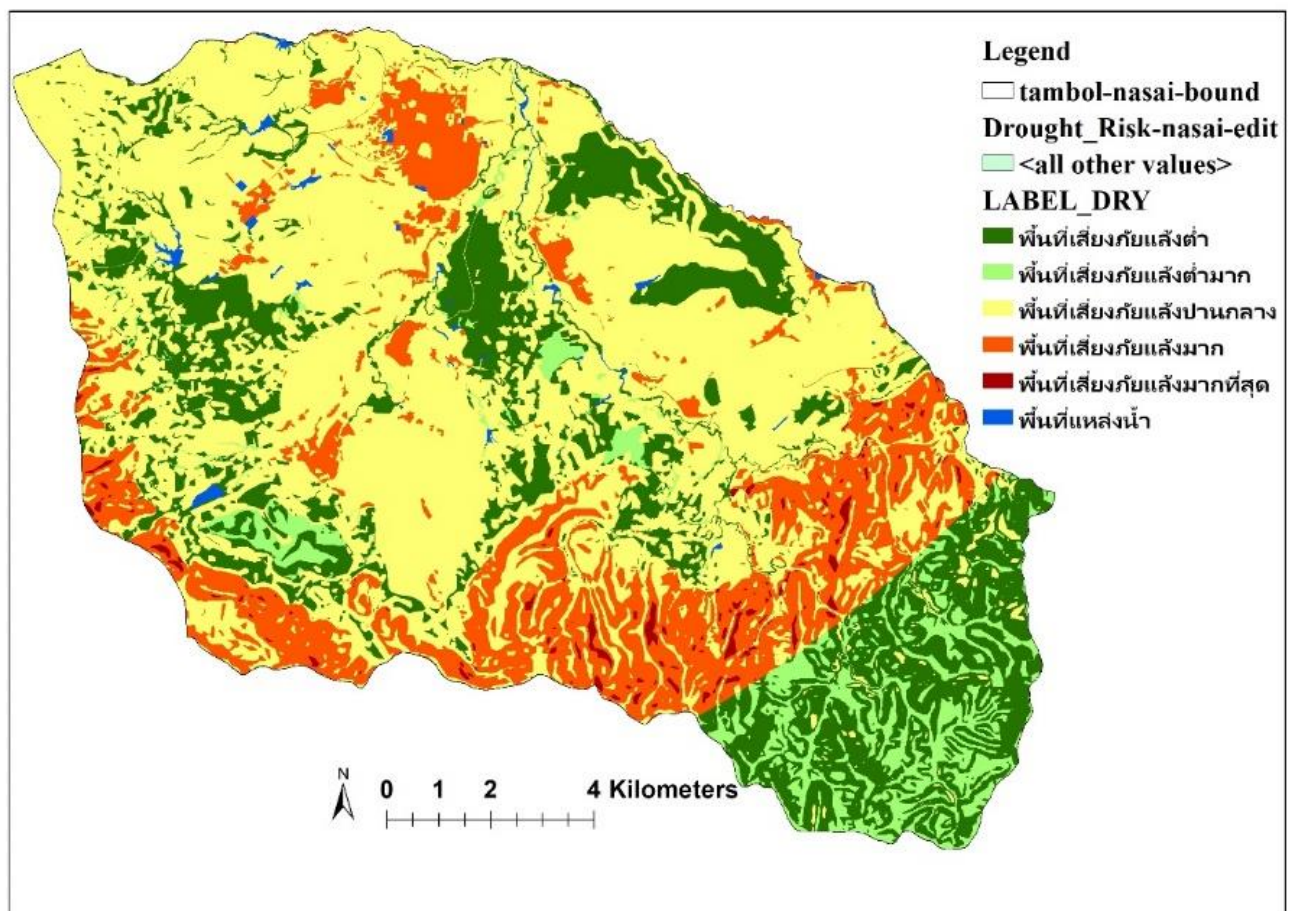
พื้นที่สูงและดอน น้ำจะไหลบ่าออกจากพื้นที่ได้เร็วกว่าพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยหรือพื้นที่ราบลุ่ม พื้นที่ที่มีความลาดชันมากจะมีการไหลบ่าของน้ำออกจากพื้นที่อย่างรวดเร็วจึงทำให้โอกาสที่น้ำจะไหลซึมไปกักเก็บน้ำไว้ในดินได้น้อย ดังนั้นพื้นที่ที่มีความลาดชันมากจึงมีน้ำกักเก็บไว้ได้น้อยจึงมีโอกาสเกิดความแห้งแล้งมาก รวมทั้งคุณสมบัติการระบายน้ำของชุดดินบริเวณจัดกลุ่มโอกาสพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมากถึงมากที่สุด เป็นพื้นที่ที่ดินเป็นดินหยาบ จะมีโอกาสเกิดความแห้งแล้งมาก เพราะดินเนื้อหยาบมีความสามารถในการระบายน้ำได้ดีจึงกักเก็บน้ำไว้ได้น้อย ส่วนบริเวณพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 4.67 ตารางกิโลเมตร ดังตารางที่ 5 ตามการจัดกลุ่มโอกาสเสี่ยงต่อภัยแล้งมากถึงมากที่สุด อาจขาดแคลนน้ำมากหรือน้อยแตกต่างกันตามลักษณะของที่ตั้งหมู่บ้านและจำนวนประชากรต่อการใช้น้ำในครัวเรือน เพราะต้องอาศัยทั้งแหล่งน้ำที่สร้างขึ้นและตามธรรมชาติเพื่อใช้สำหรับการอุปโภคบริโภค โดยแหล่งน้ำในพื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลนาทรายมาจากแม่น้ำ ลำห้วย หรือป่าต้นน้ำที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ป่าไม้ที่มีการรุกลายเพื่อทำเกษตรกรรมพืชไร่แบบไร่เลื่อนลอย 4.04 ตารางกิโลเมตร ดังตารางที่ 5 เช่นการปลูกข้าวโพด มันสำปะหลัง อาจส่งผลกระทบต่อป่าต้นน้ำเสื่อมโทรม พื้นที่เกษตรกรรมบางประเภทอยู่สูงกว่าแหล่งน้ำที่ไหลตลอดปีหรือเขตชลประทาน ต้องอาศัยน้ำฝนในการเพาะปลูก ส่วนพื้นที่เกษตรกรรมในพื้นที่ราบลุ่ม พบว่าพื้นที่ 3.47 ตารางกิโลเมตร ดังตารางที่ 5 มีการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนาข้าว มีโอกาสเสี่ยงต่อภัยแล้งมากถึงมากที่สุด เนื่องจากอาจเป็นพื้นที่นาข้าวนอกเขตชลประทานหรือมีกิจกรรมการปลูกพืชที่หลากหลาย แหล่งน้ำที่มีอยู่อาจไม่เพียงพอ โดยมีการใช้ประโยชน์ที่ดินตลอดทั้งปี หลังการทำนาข้าวพื้นที่จะมีการปลูกพืชหลังนา ได้แก่ ข้าวโพด ถั่วลิสง มันฝรั่ง พืชผัก และมันสำปะหลัง ซึ่งพื้นที่ตำบลนาทรายมีช่วงเวลาของการเกิดภัยแล้งคล้ายคลึงกับพื้นที่อื่น ๆ ในภาคเหนือโดยได้รับผลกระทบจากภัยแล้ง จากการที่ฝนแล้งในเดือน ตุลาคม-เมษายน ซึ่งภัยแล้งนี้จะเกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี และฝนทิ้งช่วง ในเดือน มิถุนายน-กรกฎาคม ภัยแล้งลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะท้องถิ่นหรือบางบริเวณ บางครั้งอาจครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างทั่วประเทศ [25]

ตารางที่ 4 พื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง : ตำบลนาทราย อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน

ระดับความเสี่ยงภัยแล้ง	พื้นที่ (ตร.กม.)	พื้นที่ (ร้อยละ)
พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมากที่สุด	1.66	0.84
พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมาก	34.38	17.25
พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งปานกลาง	106.47	53.43
พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งต่ำ	43.69	21.92
พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งต่ำมาก	11.99	6.01
พื้นที่แหล่งน้ำ	1.08	0.54
รวม	199.26	100

ตารางที่ 5 พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมากถึงมากที่สุดในพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ตำบลนาทราย อำเภอสี จังหวัดลำพูน

พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมากถึงมากที่สุด	พื้นที่ (ตร.กม.)	พื้นที่ (ร้อยละ)
พื้นที่ป่าไม้	23.17	64.29
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	4.67	12.96
พืชไร่	4.04	11.21
นาข้าว	3.47	9.63
ไม้ยืนต้น ไม้ผล พืชสวน	0.69	1.91
รวม	36.04	100.00



ภาพที่ 3 แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งตำบลนาทราย อำเภอสี จังหวัดลำพูน

3. แนวทางการป้องกันผลกระทบสำหรับพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ตำบลนาทราย อำเภอสี จังหัดลำพูน

จากผลการประเมินหาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้ง พบว่า พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมากที่สุด มีพื้นที่ รวมกัน 36.04 ตารางกิโลเมตร ดังตารางที่ 5 จำเป็นต้องมีแผนการป้องกันภัยแล้งของพื้นที่ เพื่อให้สามารถบริหารจัดการการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ช่วยสนับสนุนในการตัดสินใจและวางแผน ซึ่งจากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้ง 42 ราย พบว่ามีแนวทางที่สามารถนำมาใช้ในพื้นที่ตามความต้องการของชุมชนโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย โดยแบ่งตามระยะเวลา 3 ระยะคือ ระยะเร่งด่วน ระยะกลาง และระยะยาว ดังต่อไปนี้

ระยะเร่งด่วน มี 2 แนวทาง คือ การเพิ่มปริมาณน้ำกักเก็บ และการเลือกพื้นที่ปลูกที่เหมาะสมกับพืช ดังนี้

แนวทางที่ 1 การเพิ่มปริมาณน้ำกักเก็บ ด้วยการพัฒนาแหล่งน้ำ อ่าง ฝายชะลอน้ำ บ่อน้ำ สระน้ำ น้ำบาดาล รวมถึงการปรับปรุงซ่อมแซมระบบส่งน้ำให้มีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีความต้องการการใช้น้ำจำนวนมากในพื้นที่ ซึ่งอาชีพเกษตรกรถือเป็นอาชีพหลักของชุมชน สร้างเงินสร้างรายได้ให้กับชุมชน โดยเฉพาะการเพาะปลูกกล้วย ถือเป็นพืชที่ให้ผลตอบแทนจากการทำอาชีพหลักของเกษตรกร หากมีแหล่งน้ำเพิ่มเติมจะทำให้เกษตรกรผู้เพาะปลูกกล้วยมีการผลิตพืชที่มีคุณภาพมากขึ้น โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นดำเนินการส่งเสริมให้เกษตรกรพัฒนาแหล่งกักเก็บน้ำในพื้นที่ตนเอง ที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยง พัฒนาเป็นแหล่งน้ำขนาดเล็ก ได้แก่ การขุดบ่อ การเจาะบ่อบาดาล ในส่วนของการพัฒนาแหล่งน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นให้เกษตรกรนำความต้องการของชุมชนเข้าสู่กระบวนการประชาคมหมู่บ้าน เพื่อเลือกพื้นที่สาธารณะพัฒนาเป็นแหล่งน้ำของชุมชน โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเป็นผู้จัดสรรงบประมาณหรือประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นอำนาจหน้าที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น [26] โดยอาจพัฒนาแหล่งน้ำกระจายไปยังพื้นที่ให้ครอบคลุม ใกล้เคียงพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [27] ที่พบว่า ควรจัดให้มีงบประมาณในการสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กในชุมชน และจัดทำระบบชลประทานครอบคลุมพื้นที่เกษตรกรรมทั่วประเทศ เพื่อให้เกษตรกรสามารถบริหารจัดการน้ำได้ด้วยตนเอง

แนวทางที่ 2 การเลือกพื้นที่ปลูกที่เหมาะสมกับพืช เนื่องจากเกษตรกรในพื้นที่ตำบลนาทราย ปัจจุบันปลูกพืชตามความต้องการของตลาดซึ่งตลาดเป็นผู้กำหนดการซื้อขายผลผลิต ราคาผลผลิต จึงมีทางเลือกไม่มากในการเพาะปลูกพืช เมื่อพิจารณาถึงปฏิทินการเพาะปลูกพืชและจำนวนพื้นที่การเกษตรของพืชแต่ละชนิดในตำบลนาทรายแล้ว พบว่า พืชบางชนิดเป็นพืชใช้น้ำน้อย แต่มีการเพาะปลูกเพียงเล็กน้อย และพืชบางชนิดใช้น้ำมาก อีกทั้งจำนวนพื้นที่เพาะปลูกก็มากตามด้วย ซึ่งอาจจะไม่สอดคล้องกับพื้นที่หรือสภาพลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ เป็นพื้นที่ที่มีข้อจำกัดหลายประการเช่น ความสูง ความลาดชัน รวมทั้ง แหล่งน้ำ ปริมาณน้ำฝนที่ตกน้อยในรอบปี จึงมักมีน้ำไม่เพียงพอต่อการเพาะปลูก การเลือกพื้นที่ปลูกพืชที่เหมาะสมและมีแหล่งน้ำ จึงเป็นสิ่งสำคัญหรือปัจจัยแรกในการเลือกปลูกพืช โดยจากการวิเคราะห์ความต้องการน้ำของพืชในพื้นที่ พบว่าพืชที่ใช้น้ำน้อย คือ ถั่วลิสง ถั่วเขียว มันฝรั่ง ซึ่งสามารถเพาะปลูกเป็นพืชเสริมหลังนาได้ สามารถเพาะปลูกในพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำใกล้เคียง คือ ใกล้เคียงกับลำธาร ลำห้วยที่สามารถผันน้ำไปใช้ได้ตลอดฤดูกาลเพาะปลูกของพืชระยะสั้นได้ และสอดคล้องกับวิธีการที่เกษตรกรในพื้นที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน สามารถเพิ่มปริมาณพื้นที่การเพาะปลูกได้ อย่างไรก็ตามแนวทางนี้ยังต้องคำนึงถึงต้นทุนและตลาดที่รองรับสินค้าด้วย

ระยะกลาง มี 3 แนวทาง คือ การบริหารจัดการน้ำอย่างมีส่วนร่วม การใช้เทคโนโลยีการให้น้ำที่เหมาะสม และ เน้นการเพาะปลูกพืชปริมาณน้อยที่ได้ผลกำไรมาก ดังนี้ แนวทางที่ 3 การบริหารจัดการน้ำอย่างมีส่วนร่วม มีการจัดหา จัดสรรน้ำหมุนเวียนการใช้น้ำอย่างเท่าเทียม เนื่องจากสภาพปัจจุบันการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่ตำบลนาทรายยังถือว่าเป็นประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากการจัดตั้งกลุ่มผู้ใช้น้ำในบางหมู่บ้านหรือบางพื้นที่ที่มีอ่างเก็บน้ำเท่านั้น และไม่มีกิจกรรมหรือแผนการดำเนินงานของกลุ่มที่ชัดเจน กิจกรรมที่จัดทำขึ้นเป็นกิจกรรมที่อยู่ในแผนการดำเนินงานของหน่วยงานรัฐที่เข้ามาสนับสนุนเป็นครั้งคราวซึ่งถือว่าน้อย อีกทั้งกลุ่มผู้ใช้น้ำเพื่อการเกษตรปัจจุบันยังขาดความรู้เรื่องการบริหารจัดการน้ำอย่างมีส่วนร่วม จำเป็นต้องมีการอบรมให้ความรู้ถึงแนวทางที่เหมาะสมกับพื้นที่อย่างมีส่วนร่วมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำอย่างยั่งยืนและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต้องเข้ามามีส่วนร่วมในการสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำ

อย่างมีส่วนร่วมของชุมชน สอดคล้องกับงานวิจัยของ [27] ที่ผลการศึกษาพบว่า จำเป็นต้องปรับกระบวนการทัศนและวิธีการทำงานเพื่อให้ประชาชนได้เข้ามามีโอกาสเข้าไปมีส่วนร่วมในทุกกระบวนการป้องกันและแก้ไขปัญหาภัยแล้งให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากขึ้น แนวทางที่ 4 การใช้เทคโนโลยีการให้น้ำที่เหมาะสมกับพืชและการถ่ายทอดเทคโนโลยี เป็นการช่วยประหยัดน้ำ และให้น้ำกับพืชตรงตามความต้องการของพืช ซึ่งปัจจุบันเทคโนโลยีที่ได้รับการยอมรับจากเกษตรกรในพื้นที่ที่ใช้กับไม้ยืนต้น ไม้ผลและพืชสวน คือ การใช้ระบบให้น้ำแบบสปริงเกอร์ [28] ซึ่งสามารถกำหนดปริมาณน้ำและระยะเวลาของการให้น้ำได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังใช้น้ำน้อยและเกิดการสูญเสียน้ำที่น้อยกว่า ต่างจากวิธีการที่ใช้การสูบน้ำและปล่อยให้ท่วมพื้นที่ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้น้ำปริมาณมากในปัจจุบัน ในส่วนของนาข้าว ควรใช้วิธีการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้ง [29] ซึ่งสามารถประหยัดน้ำในยามที่น้ำมีไม่เพียงพอ ในส่วนของพืชไร่ นั้น เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ใช้น้ำน้อยอยู่แล้ว เกษตรกรควรติดตามสถานการณ์และการเตือนภัยจากหน่วยงานรัฐที่เกี่ยวข้องเพื่อลดปัญหาฝนทิ้งช่วง สอดคล้องกับงานวิจัยของ [30] ที่ผลการศึกษาพบว่า ควรมีโครงการถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการใช้น้ำเพื่อการทำเกษตรกรรมอย่างเหมาะสมในสภาวะภัยแล้งเพื่อใช้เป็นแนวทางการจัดการน้ำในภาวะภัยแล้งของเกษตรกรผู้ใช้น้ำโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแม่แฝก-แม่จัดแนวทางที่ 5 เน้นการเพาะปลูกพืชปริมาณน้อยที่ได้ผลกำไรมาก เน้นคุณภาพผลผลิต หรือปลูกพืชอินทรีย์เพื่อเพิ่มมูลค่า เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ในพื้นที่ทำการเพาะปลูกเชิงเดี่ยว ได้แก่ ลำไย มะม่วง ข้าวโพด มันสำปะหลัง หรือแม้กระทั่ง ยางพารา ล้วนแล้วแต่เป็นพืชเศรษฐกิจเชิงเดี่ยว ในการขายผลผลิตและการกำหนดราคาผลผลิตนั้นขึ้นอยู่กับสภาพความต้องการของตลาด บางปีราคาผลผลิตและค่าตอบแทนจากการเพาะปลูกพืชสูง และมีบางปีที่ราคาผลผลิตและค่าตอบแทนต่ำไม่แน่นอน การเพิ่มทางเลือกให้กับเกษตรกรเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับส่งเสริมโดยเฉพาะการปลูกพืชในปริมาณน้อย แต่ได้ผลตอบแทนสูง ซึ่งเป็นวิธีการช่วยให้เกษตรกรลดพื้นที่การเพาะปลูก ลดการใช้น้ำในพื้นที่ ซึ่งสอดคล้องกับหน่วยงานในพื้นที่ ได้แก่ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงพระบาทห้วยต้ม และ ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดลำพูน (เกษตรที่สูง) ที่มุ่งให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนวิธีการเพาะปลูกพืชและเพิ่มพืชทางเลือกให้เกษตรกร เพื่อให้เกษตรกรสามารถเพิ่มรายได้ ทดแทนการผลิตพืชเชิงเดี่ยว สอดคล้องกับงานวิจัยของ [30]

ระยะยาว มี 2 แนวทาง คือ การวางแผนป้องกันปัญหาภัยแล้ง และมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำตามระดับความลาดชันของพื้นที่ ดังนี้ แนวทางที่ 6 การวางแผนป้องกันปัญหาภัยแล้ง การลดพื้นที่เพาะปลูกในฤดูแล้ง หรือการปลูกพืชทนแล้ง ภัยแล้งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโลก การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม เช่น ฝนทิ้งช่วง ฝนตกน้อย ดินเก็บความชื้นต่ำ ปริมาณน้ำใต้ดินมีน้อย จากผลการวิเคราะห์ลักษณะของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ตำบลนาทราย พบว่า ภัยแล้งมักเกิดในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ - มีนาคม ซึ่งเป็นช่วงฝนแล้ง และช่วงเดือน มิถุนายน - กรกฎาคม เป็นช่วงฝนทิ้งช่วง ซึ่งอาจจะทำให้พืชที่เพาะปลูกตามปฏิทินการปลูกพืชของตำบล ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ - มีนาคม คือ มันสำปะหลัง ถั่วลิสง มันฝรั่ง พืชผัก มะม่วง กล้วย ยางพารา ลำไย และถั่วเขียว ได้รับผลกระทบ และในช่วงเดือนมิถุนายน - กรกฎาคม พืชที่อาจได้รับผลกระทบ คือ ข้าวโพด มันสำปะหลัง พืชผัก มะม่วง กล้วย ยางพารา และ ลำไย สอดคล้องกับงานวิจัยของ [31] ที่ให้แนวทางการบริหารจัดการปัญหาภัยแล้ง ในเขตพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลโป่งแดง อำเภอเมืองตาก จังหวัดตาก โดยการจัดทำโครงการปลูกพืชหมุนเวียนหรือใช้น้ำน้อยสลับกันในแต่ละปี หากหน่วยงานของรัฐที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือประชาชนในพื้นที่ในการจัดทำโครงการ/กิจกรรมแก้ไขปัญหาภัยแล้งหรือเกี่ยวกับการบริหารจัดการปัญหาภัยแล้ง ต้องมีการติดตามตรวจสอบ และประเมินผลการจัดทำโครงการให้ครอบคลุมมากขึ้น แนวทางที่ 7 มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำตามระดับความลาดชันของพื้นที่ เนื่องจากสภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศอยู่ในลักษณะที่มีความลาดชันและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยน้อย การใช้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำจึงมีความสำคัญกับพื้นที่เป็นอย่างมาก จำเป็นต้องให้ความรู้เกี่ยวกับหลักการและแนวทางการปฏิบัติและผลที่ได้จากมาตรการ ให้กับเกษตรกรและกลุ่มที่มีส่วนเกี่ยวข้อง และวางแผนโครงการในการขับเคลื่อนการดำเนินงาน มาตรการ ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานรัฐในเรื่องของเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในการดำเนินงาน ได้แก่ การปรับปรุงคันนา การบำรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์ การตรวจวิเคราะห์ดิน การป้องกันการพังทลายของดิน การปลูกพืชคลุมดิน การปลูกหญ้าแฝก การปลูกพืชเศรษฐกิจตามแนวระดับ และการสงวนพื้นที่เพื่อเป็นแหล่งต้นน้ำลำธารเป็นต้น สอดคล้องกับ

งานวิจัยของ [32] ที่ให้แนวทางในการบริหารจัดการภาวะภัยแล้งในพื้นที่นอกเขตชลประทานของประเทศไทย คือ การฟื้นฟูพื้นที่ป่าต้นน้ำ โดยการพัฒนาฝายชะลอน้ำ การปลูกหรือฟื้นฟูป่า และการจัดระเบียบการใช้ที่ดินในพื้นที่ป่าที่มี ราษฎรอยู่อาศัย

อภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านกายภาพที่มีผลต่อสาเหตุของการเกิดภัยแล้ง พบว่า ปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ผู้เชี่ยวชาญให้ค่าน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้อง [32] ที่กล่าวว่า ความแปรปรวนของปริมาณฝน เป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำในแหล่งน้ำ ซึ่งปริมาณน้ำที่กักเก็บนั้นเป็นปัจจัยสำคัญต่อการกำหนดแผนการบริหารจัดการน้ำในช่วงฤดูแล้งโดยเฉพาะในพื้นที่นอกเขตชลประทาน

2. การสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับประเมินหาพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งร่วมกับวิธีการกระบวนการตามลำดับขั้น พบว่า ผู้เชี่ยวชาญได้ให้เหตุผลที่สอดคล้องกันตามกระบวนการตามลำดับขั้น โดยมีค่าความสอดคล้องกันของข้อมูลเท่ากับ 0.060 ซึ่งน้อยกว่า 0.1 ซึ่งถือว่าสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาพื้นที่เสี่ยงภัยได้เป็นอย่างดี

3. การวางแผนป้องกันผลกระทบสำหรับพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ตำบลนาทราย อำเภอสี จังหวัดลำพูน ตามแนวทางทั้ง 7 แนวทางมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ [27] ที่พบว่า ควรจัดให้มีงบประมาณในการสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กในชุมชน และจัดทำระบบชลประทานครอบคลุมพื้นที่เกษตรกรรมทั่วประเทศ เพื่อให้เกษตรกรสามารถบริหารจัดการน้ำได้ด้วยตนเอง รวมถึงจำเป็นต้องปรับกระบวนการทัศนและวิธีการทำงานเพื่อให้ประชาชนได้เข้ามามีโอกาสเข้าไปมีส่วนร่วมในทุกกระบวนการ ป้องกันและแก้ไขปัญหาภัยแล้งให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ [30] ที่ผลการศึกษาพบว่า ควรมีโครงการถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการใช้น้ำเพื่อการทำเกษตรกรรมอย่างเหมาะสมในสภาวะภัยแล้ง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการน้ำในภาวะภัยแล้งของเกษตรกรผู้ใช้น้ำ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแม่แฝก-แม่จัด และ [31] ที่ให้แนวทางการบริหารจัดการปัญหาภัยแล้ง ในเขตพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลโป่งแดง อำเภอเมืองตาก จังหวัดตาก โดยการจัดทำโครงการปลูกพืชหมุนเวียนหรือใช้น้ำน้อยสลับกันในแต่ละปี หากหน่วยงานของรัฐที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือประชาชนในพื้นที่ในการจัดทำโครงการ/กิจกรรมแก้ไขปัญหามาภัยแล้งหรือเกี่ยวกับการบริหารจัดการปัญหาภัยแล้ง ต้องมีการติดตามตรวจสอบ และประเมินผลการจัดทำโครงการให้ครอบคลุมมากขึ้น เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

การทำพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการตามลำดับขั้น เพื่อวางแผนป้องกันผลกระทบสำหรับพืชเศรษฐกิจ ในพื้นที่ตำบลนาทราย อำเภอสี จังหวัดลำพูน พบว่า ตำบลนาทรายมีพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมากที่สุด 1.66 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 0.84) และพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งมาก 34.38 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 17.25) ส่วนใหญ่พบในบริเวณพื้นที่ทางตอนใต้ของพื้นที่ ประกอบไปด้วย พื้นที่ป่าไม้ 23.17 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 64.29) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 4.67 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 12.95) พืชไร่ 4.04 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 11.20) นาข้าว 3.47 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.63) และ ไม้ยืนต้น ไม้ผล พืชสวน 0.69 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 1.92) เป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันระหว่าง 15 – 30 % ปัจจัยที่มีผลต่อระดับเสี่ยงภัยแล้งมากที่สุดคือ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีซึ่งมีน้อยกว่า 1,000 มิลลิเมตร รองลงมาคือ จำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยรายปี ซึ่งน้อยกว่า 60 วันและ 60-80 วัน โดยมีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.27 และ 0.22 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีลักษณะของพื้นที่ที่เกี่ยวข้องได้แก่ อัตราการให้น้ำของชั้นหินใต้ดิน อยู่ระหว่าง 2-10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีระยะห่างจากแหล่งน้ำหรือเขตชลประทานน้อยกว่า 1,000 เมตร โดยพื้นที่ทั้งตำบลมีการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ส่วนใหญ่ เป็นป่าไม้ 87.28 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 43.80) รองลงมาเป็นพื้นที่เกษตรกรรม 46.79 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 23.48)

พืชเศรษฐกิจที่เพาะปลูกในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากภัยแล้งมากที่สุด คือ พืชไร่ มีพื้นที่ 4.04 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 11.20) นาข้าว มีพื้นที่ 3.47 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 9.63) และไม้ยืนต้น ไม้ผล และพืชสวน มีพื้นที่ 0.69 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 1.92)

ในส่วนของพื้นที่เสี่ยงภัยระดับปานกลาง มีพื้นที่ 106.47 หรือ ร้อยละ 53.43 ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อพืชเศรษฐกิจในช่วงที่ฝนมีปริมาณน้อยหรือฝนทิ้งช่วง ซึ่งมักเกิดขึ้นบ่อยครั้งในพื้นที่ ซึ่งจำเป็นต้องมีการวางแผนในเรื่องการของการบริหารจัดการน้ำ โดยใช้แนวทางในการบริหารจัดการ ที่หลากหลายในระยะเร่งด่วน จากการสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มผู้มีส่วนเกี่ยวข้องพบว่า ได้ให้แนวทางเรียงจำความสำคัญและความต้องการของชุมชน โดยแบ่งตามระยะเวลา 3 ระยะคือ ระยะเร่งด่วน ระยะกลาง และระยะยาว ดังต่อไปนี้

ระยะเร่งด่วน แนวทางที่ 1 การเพิ่มปริมาณน้ำกักเก็บ และการปรับปรุง ซ่อมแซมระบบส่งน้ำให้มีประสิทธิภาพ เป็นแนวทางที่มีความต้องการมากที่สุด โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นดำเนินการส่งเสริมให้เกษตรกรพัฒนาแหล่งกักเก็บน้ำในพื้นที่ตนเอง ที่อยู่ในพื้นที่เสี่ยง พัฒนาเป็นแหล่งน้ำขนาดเล็ก ได้แก่ การขุดบ่อ การเจาะบ่อบาดาล ในส่วนของการพัฒนาแหล่งน้ำที่มีขนาดใหญ่ ให้เกษตรกรนำความต้องการของชุมชนเข้าสู่กระบวนการประชาคมหมู่บ้าน เพื่อเลือกพื้นที่สาธารณะพัฒนาเป็นแหล่งน้ำของชุมชน โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเป็นผู้จัดสรรงบประมาณหรือประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นอำนาจหน้าที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นโดยตรงโดยบรรจุไว้ในแผนพัฒนาของตำบลนาทราย โดยต้องมีการศึกษาถึงหลักวิศวกรรมในการพัฒนาแหล่งน้ำ ซึ่งจะสอดคล้องกับพื้นที่เสี่ยงภัยที่ชุมชนต้องการได้

แนวทางที่ 2 การเลือกพื้นที่ปลูกให้เหมาะสมกับพืชในปัจจุบัน ซึ่งสามารถดำเนินการได้ทันที โดยเกษตรกรสามารถปรับเปลี่ยนพืชที่ปลูก แต่ต้องคำนึงในเรื่องของการตลาดและปัจจัยการผลิต ซึ่งหน่วยงานในพื้นที่ โครงการหลวงพระบาทห้วยต้ม และศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดลำพูน (เกษตรที่สูง) สามารถเข้ามาส่งเสริมและบริหารจัดการได้ทันที ระยะกลาง คือ แนวทางที่ 3 การบริหารจัดการน้ำอย่างมีส่วนร่วม และมีกรจัดหา จัดสรรน้ำ หมุนเวียนการใช้น้ำอย่างเท่าเทียม ซึ่งองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถจัดสรรงบประมาณเพื่อให้เกิดการรวมกลุ่มของผู้ใช้น้ำและจัดกิจกรรม เช่น การประชุม การแต่งตั้งคณะกรรมการ การวางแผนพัฒนาโครงการ เพื่อเกิดกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนอย่างต่อเนื่อง แนวทางที่ 4 การใช้เทคโนโลยีการให้น้ำที่เหมาะสมประหยัดน้ำ ตรงตามความต้องการของพืช และรวมถึงการให้ความรู้เกี่ยวกับระบบการให้น้ำแก่พืช ยกตัวอย่างเช่น การใช้ระบบให้น้ำแบบสปริงเกอร์ที่ใช้กับไม้ผล การปลูกข้าวแบบเปียกสลับแห้ง ในนาข้าว เป็นต้น แนวทางที่ 5 เน้นการเพาะปลูกพืชปริมาณน้อยที่ได้ผลกำไรมาก เน้นคุณภาพผลผลิต หรือปลูกพืชอินทรีย์เพื่อเพิ่มมูลค่า และระยะยาว คือ แนวทางที่ 6 การวางแผนป้องกันปัญหาภัยแล้ง การลดพื้นที่เพาะปลูกในฤดูแล้ง หรือการปลูกพืชใช้น้ำน้อย ซึ่งแนวทางที่ 5 และ 6 โครงการหลวงพระบาทห้วยต้ม และศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดลำพูน (เกษตรที่สูง) สามารถส่งเสริมตามภารกิจและหน้าที่โดยตรงได้ทันที และแนวทางที่ 7 การส่งเสริมมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำตามระดับความชันของพื้นที่ จะช่วยทำให้ลดการส่งผลกระทบกับการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจในพื้นที่ตำบลนาทรายได้ เพิ่มความชุ่มชื้นของดิน ลดการพังทลายของดิน ซึ่งต้องใช้เวลาในการดำเนินการ เนื่องจากเกษตรกรยังขาดองค์ความรู้ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถจัดทำโครงการเพื่อฝึกอบรมและให้ความรู้กับเกษตรกรได้

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย เรื่อง “รูปแบบการจัดการน้ำเพื่อการเกษตรด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในพื้นที่ตำบลนาทราย อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน” ขอขอบคุณศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนบน ศูนย์อุทกนิยามวิทยาภาคเหนือ กรมพัฒนาที่ดิน กรมทรัพยากรน้ำ กรมทรัพยากรธรณี และสำนักงานเกษตรอำเภอลี้ จังหวัดลำพูน ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและวิจัย รวมทั้งวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่คอยสนับสนุนการศึกษาวิจัยให้สำเร็จลุล่วงในครั้งนี้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Zarei, A. R., Moghimi, M. M., & Koochi, E. (2021). **Sensitivity assessment to the occurrence of different types of droughts using GIS and AHP techniques.** *Water Resources Management*, 35, 3593-3615.
- [2] Deb, P., Babel, M. S., & Denis, A. F. (2018). **Multi-GCMs approach for assessing climate change impact on water resources in Thailand.** *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(2), 825-839.
- [3] Liu, X., Liu, W., Tang, Q., Liu, B., Wada, Y., & Yang, H. (2022). **Global agricultural water scarcity assessment incorporating blue and green water availability under future climate change.** *Earth's Future*, 10(4), e2021EF002567.
- [4] Biswas, R. R., Sharma, R., & Gyasi-Agyei, Y. (2022). **Adaptation to climate change: A study on regional urban water management and planning practice.** *Journal of Cleaner Production*, 355, 131643.
- [5] Poonia, V., Jha, S., & Goyal, M. K. (2021). **Copula based analysis of meteorological, hydrological and agricultural drought characteristics across Indian river basins.** *International Journal of Climatology*, 41(9), 4637-4652.
- [6] Picone, C., Henke, R., Ruberto, M., Calligaris, E., & Zucaro, R. (2021). **A Synthetic Indicator for Sustainability Standards of Water Resources in Agriculture.** *Sustainability*, 13(15), 8221.
- [7] Wang, W., Straffelini, E., Pijl, A., & Tarolli, P. (2022). **Sustainable water resource management in steep-slope agriculture.** *Geography and Sustainability*, 3(3), 214-219.
- [8] Orhan, O. (2021). **Land suitability determination for citrus cultivation using a GIS-based multi-criteria analysis in Mersin, Turkey.** *Computers and Electronics in Agriculture*, 190, 106433.
- [9] Colak, H. E., Memisoglu, T., & Gercek, Y. (2020). **Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey.** *Renewable energy*, 149, 565-576.
- [10] Alkaradaghi, K., Ali, S. S., Al-Ansari, N., Laue, J., & Chabuk, A. (2019). **Landfill site selection using MCDM methods and GIS in the Sulaimaniyah Governorate, Iraq.** *Sustainability*, 11(17), 4530.
- [11] Barakat, A., Ouargaf, Z., Khellouk, R., El Jazouli, A., & Touhami, F. (2019). **Land use/land cover change and environmental impact assessment in béni-mellal district (morocco) using remote sensing and gis.** *Earth Systems and Environment*, 3(1), 113-125.
- [12] Nath, B. K., Chaliha, C., Bhuyan, B., Kalita, E., Baruah, D. C., & Bhagabati, A. K. (2018). **GIS mapping-based impact assessment of groundwater contamination by arsenic and other heavy metal contaminants in the Brahmaputra River valley: a water quality assessment study.** *Journal of Cleaner Production*, 201, 1001-1011.
- [13] Rahman, M., Chen, N., Islam, M. M., Dewan, A., Pourghasemi, H. R., Washakh, R. M. A., ... & Ahmed, N. (2021). **Location-allocation modeling for emergency evacuation planning with GIS and remote sensing: A case study of Northeast Bangladesh.** *Geoscience frontiers*, 12(3), 101095.
- [14] Abd El Karim, A., & Awawdeh, M. M. (2020). **Integrating GIS accessibility and location-allocation models with multicriteria decision analysis for evaluating quality of life in Buraidah city, KSA.** *Sustainability*, 12(4), 1412.

- [15] Zarei, A. R., Moghimi, M. M., & Koochi, E. (2021). Sensitivity assessment to the occurrence of different types of droughts using GIS and AHP techniques. *Water Resources Management*, 35, 3593-3615.
- [16] Zagade, N. D., & Umrikar, B. N. (2021). Drought severity modeling of upper Bhima river basin, western India, using GIS-AHP tools for effective mitigation and resource management. *Natural Hazards*, 105, 1165-1188.
- [17] Saaty, T. (1980, November). The analytic hierarchy process (AHP) for decision making. In Kobe, Japan (Vol. 1, p. 69).
- [18] วิษณุ เรืองทอง, พงศ์พล ปลอดภัย และพรทิพย์ วิมลทรง. (2563). การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งในจังหวัดศรีสะเกษ. *The Journal of Spatial Innovation Development*, 1(2), 24-34.
- [19] อานันต์ คำภีระ, จิรดา ยงสถิตศักดิ์, พิระพิทย์ พิชมงคล ยงเฉลิมชัย และกาญจนา เกิดกรุง. (2564). การวิเคราะห์ พื้นที่เสี่ยงต่อเกิดไฟไหม้ในช่วงแล้งบริเวณพรุควนเคร็ง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้วิธีวิเคราะห์เอเอชพี และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. *Thai Journal of Science and Technology*, 10(2).
- [20] ต้อม พันธงาม และไกรศรี เต็มปักซี. (2563). การสร้างฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินในการวางแผนป้องกันความเสียหายจากภัยแล้งซ้ำซากและพื้นที่น้ำท่วมด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. *Journal of Liberal Arts Prince of Songkla University*, 12(2), 197-215.
- [21] วิภพ แพงวังทอง, ภูเนตร พลุคำ และอภาร สุวรรณรัตน์. (2564). การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศ ภูมิศาสตร์เพื่อทำแผนที่ความแห้งแล้งทางอุตุนิยมนิยามวิทยาลัยอ้อมหลังในจังหวัดพะเยา. *The Journal of Spatial Innovation Development*, 3(2), 26-36.
- [22] กรมทรัพยากรธรณี. (2566). แผนที่ธรณีวิทยา 1:50,000 F47744 ราวาง 4744 II บ้านก้อทุ่ง พิมพ์ครั้งที่ 2 -RTSD โดยกรมแผนที่ทหาร.
- [23] กรมทรัพยากรน้ำ. (2564). แผนที่เส้นชั้นความสูงรายจังหวัด. สืบค้นจาก <https://webgis.dwr.go.th/downloads?CateID=t2v2>
- [24] กรมพัฒนาที่ดิน. (2563). ดินออนไลน์บริการข้อมูลดินและการใช้ที่ดิน. สืบค้นจาก <https://dinonline.ddd.go.th/>
- [25] วิรดา ชื่นสมบัติ. (2564). รายงานการคาดการณ์ภัยแล้งในพื้นที่ทำการเกษตร ปี 2564. กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.
- [26] พระราชบัญญัติสภาพัฒนาการและองค์การบริหารส่วนตำบล (ฉบับที่ ๗) พ.ศ.๒๕๖๒. (2562). มาตรา 67 (1) ระบุว่า **คุ้มครอง ดูแล และบำรุงรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม**, มาตรา 68 (1) ระบุว่า **ให้มีน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค และการเกษตร**.
- [27] ขวัญใจ เปื่อยหนองแซ่, ภักดี โพธิ์สิงห์ และสัญญา เคณาภูมิ. (2563). แนวนโยบายการบริหารจัดการภัยแล้งตามแนวทาง การป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. *Journal of Local Governance and Innovation*, 4(1), 277-292.
- [28] ลัดดาวัลย์ กันธรรม และอนันต์ อุปสอด. (2019). การบริหารจัดการกลุ่มอาชีพชุมชนของเทศบาลตำบลทากาศเหนือ อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน. *วารสารวิทยาลัยสงฆ์นครลำปาง*, 8(2), 60-74.

- [29] จิตติวรรณ บำรุงบุตร, พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ, อำนาจ ชิดไธสง, สุขุมมาภรณ์ แสงงาม และศุภิกา วานิชขัง. (2563). ประสิทธิภาพการจัดการน้ำด้วยวิธีแบบเปียกสลับแห้งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว. *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology)*, 12(24), 10-22.
- [30] พลศักดิ์ คะทัศน์, พุฒิสรรค์ เครือคำและ กังสดาล กนกหงษ์. (2565). การจัดการน้ำสำหรับการเกษตรในภาวะภัยแล้งของเกษตรกรผู้ใช้น้ำโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแม่แฝก-แม่จัด อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่. *วารสารวิจัยและ ส่งเสริมวิชาการเกษตร*, 39(3), 169-179.
- [31] จีรนนท์ ยายะวงษ์ และกัมปนาท วงษ์วัฒนพงษ์. (2564). แนวทางการบริหารจัดการปัญหาภัยแล้งในเขตพื้นที่ องค์การบริหารส่วนตำบลโป่งแดง อำเภอเมืองตาก จังหวัดตาก. *Journal of Modern Learning Development*, 6(2), 86-99.
- [32] สุประภาพร พัฒน์สิงห์เสนีย์, จีรวัฒน์ ประชีพนาย, กัลป์ยานี สุวรรณประเสริฐ, ธนัช สระประเทศและ จีรพงษ์ เหล่าน้ำใส. (2563). การบริหารจัดการภาวะภัยแล้งในพื้นที่นอกเขตชลประทานของประเทศไทย : กรณีศึกษา ตุลาคม 2562 ถึง เมษายน 2563. *Srinakharinwirot University Engineering Journal*, 15(3), 54-64.

Feasibility Analysis of Hybrid Energy Systems for Remote Community Electrification: A Comparative Study in Ban Pha Dan, Lamphun, Thailand

Benjamarporn Thepwinyakit¹ Narakorn Songkittirote¹ Nuttiya Tantranont² Surachai Narrat Jansri¹
Worajit Setthapun¹ Suchat Srikaew³ and Hathaithip Sintuya^{1*}

¹Asian Development College for Community Economy and Technology (adiCET),

²Chiang Mai Rajabhat University, 180 Moo 7 Chotana Rd., Khilek, Mae Rim, Chiang Mai 50180, Thailand

³Renewable Energy for Sustainable Association, Nong Han, San Sai, Chiang Mai 50290, Thailand

¹Corresponding author: E-mail address: hathaithip_nin@cmru.ac.th, Tel. +66931872968

Received: 3 May 2023, Revised: 17 May 2023, Accepted: 20 May 2023, Published online: 30 April 2024

Abstract

Microgrid is a promising technology that can be applied to create reliable electricity in remote community. This research examined optimal hybrid electricity generation strategies for remote community microgrid using Ban Pha Dan Community in Lamphun, Thailand as a case study. Three distinct energy configurations were analyzed: a Solar Energy and Battery Supply system; a Solar Energy, Battery, and Diesel Generator system; and a Solar Energy, Battery, and Biogas Power Generation system. The investigation reveals that the Solar Energy, Battery, and Diesel Generator configuration yields the most cost-effective and reliable system, with a Levelized Cost of Energy (LCOE) of 7.85 baht and a Net Present Cost (NPC) of 7.15M. Despite the environmental benefits of the Biogas system, the higher capital expenditure makes it less favorable. This study provides a systematic framework for the deployment of community microgrids and accentuates the potential of mixed renewable and conventional energy systems in remote communities.

Keywords: Renewable energy, Sustainability, Energy independence, Microgrid, Solar power

INTRODUCTION

Reliable access to electricity is vital for societal development and enhancing the quality of life, particularly in remote communities such as Ban Pha Dan, located in Lamphun, Thailand. The geographical challenges and isolation make extending traditional power transmission lines impractical, necessitating the

exploration of alternative, locally feasible electricity generation methods [1,2]. Community microgrids, harnessing power from locally available renewable resources, have emerged as a promising solution. The Ban Pha Dan community serves as a prime example of this model, having transitioned from a village without electricity to a community powered by a microgrid that generates 102 kWh from photovoltaic (PV) sources and is supplemented by 307.2 kWh of battery storage [3,4].

The objective of the current research is to evaluate the potential for implementing the Ban Pha Dan model in other remote communities, focusing on identifying the most efficient, stable, and cost-effective methods of electricity generation. The methodology involves a detailed analysis of the electricity usage behavior of the Ban Pha Dan community, serving as a representative model to understand electricity consumption patterns in remote communities [5]. In light of previous studies such as Wasantha and Abeydeera's exploration of PV-biogas hybrid power systems [4], and Kabir, Kumar, and Kumar's examination of a similar hybrid system in the context of rural India [6], this research further contributes to the body of knowledge by exploring the feasibility of these models in the unique context of Ban Pha Dan. The study leverages the Homer Pro simulation program to analyze the efficiency, stability, and cost-effectiveness of each alternative energy configuration, thereby providing empirical insights that could guide future energy planning in similar remote communities.

This paper presents three case studies, each exploring a different combination of alternative energy sources: solar energy, battery supply, diesel generator, and biogas power generation [6,7,8]. The case studies were created based on the actual economic data and pricing information for power generation systems and installations in Thailand. The Homer Pro software was employed to analyze the efficiency, stability, and cost-effectiveness of each energy source in these cases, building upon previous research on remote community electrification. The research underscores the potential of biogas power generation as a feasible energy source that can significantly reduce investment costs, promote sustainability, and foster community development. In doing so, it contributes to the broader discourse on developing sustainable and affordable electricity solutions for remote communities and offers valuable insights into the potential of renewable energy sources for remote community electrification.

RESEARCH METHODS

This research conducts a comprehensive investigation of electricity generation methodologies for remote communities, using the Pha Dan Community in Lamphun, Thailand, as a model. The study encompasses three distinct case studies:

- (1) Solar Energy and Battery Supply
- (2) Solar Energy, Battery, and Diesel Generator
- (3) Solar Energy, Battery, and Biogas Power Generation.

Each case is devised to explore a unique renewable energy system configuration, offering a comparative analysis on their performance, cost-effectiveness, and feasibility. The methodology starts by defining the scope of each case study. This involves determining the specific elements of the renewable

energy system to be investigated, including solar panels, batteries, diesel generators, and biogas generators. The next step involves the meticulous definition of key data parameters essential for the Homer Pro simulation. These parameters fall into four main categories: Community Load, Cost of Component, System Constraints, and Economic Data. The values for these parameters are derived from reliable sources. For instance, the inflation rate is obtained from the Bank of Thailand, while equipment costs are gathered from quotes from private companies. Table 1 presents these key data parameters, which serve as the input data for the Homer Pro simulation.

Table 1: Key Parameters for Homer Pro Simulation

Parameter Category	Component	Description	Reference
Load Demand	-	Peak load: 170 kW	Community load assessment
Component Costs	Photovoltaic System	Initial installation (including Balance of System): 18,000 baht/kW, Replacement cost: 12,000 baht, Operation & Maintenance (O&M): 3 baht/year	Quotations from private companies
Component Costs	Battery	Initial installation (including Balance of System): 10,000 baht/kWh, Replacement cost: 8,000 baht, Nominal throughput: 90 kWh per string	Quotations from private companies
Component Costs	Biogas System	Initial installation (including fermentation tank and wastewater treatment pond): 6,200,000 baht, Replacement cost: 16,000 baht, O&M: 1.5 baht/op. hour, Fuel Price per cubic meter: 9 baht	Quotations from private companies
Component Costs	Diesel Generator	Initial installation: 500,000 baht, O&M: 3 baht/op. hour, Wages for maintenance workers per year: 127,750 baht	Quotations from private companies
System Constraints	Battery	Designed lifetime: 5 years, Nominal throughput: 500,000 kWh	Manufacturer specifications
System Constraints	Photovoltaic System	Designed lifetime: 25 years	Manufacturer specifications

Parameter Category	Component	Description	Reference
System Constraints	Inverter	Designed lifetime: 15 years, System efficiency: 95%	Manufacturer specifications
Economic Factors	-	Discount rate: 6.650, Inflation rate: 2.67	Discount rate derived from the minimum loan interest rate (MLR), Inflation rate from the Bank of Thailand

Once the data parameters are defined, they are input into the Homer Pro simulation software. Homer Pro uses powerful optimization algorithms to calculate the most cost-effective configuration of the components of the renewable energy system for each case study. The software provides optimal feasible solutions that detail system sizing and configuration. Following the Homer Pro simulation, an in-depth analysis and comparison of the results are conducted. This analysis scrutinizes various factors, including the system's efficiency, its cost-effectiveness, and its capacity to meet the community's electricity demand reliably. Figure 1 illustrates the schematic representation of the research methodology, from defining the case studies to conducting the Homer Pro simulation and data analysis.

The final step of the methodology involves summarizing the findings and framing recommendations for the future implementation of community microgrids in remote areas. The research aims to provide a comprehensive and practical framework that remote communities can refer to when considering the implementation of a community microgrid. This research ultimately seeks to contribute valuable insights to the discourse on renewable energy solutions for remote communities, and to inspire further studies and policy discussions in this area.

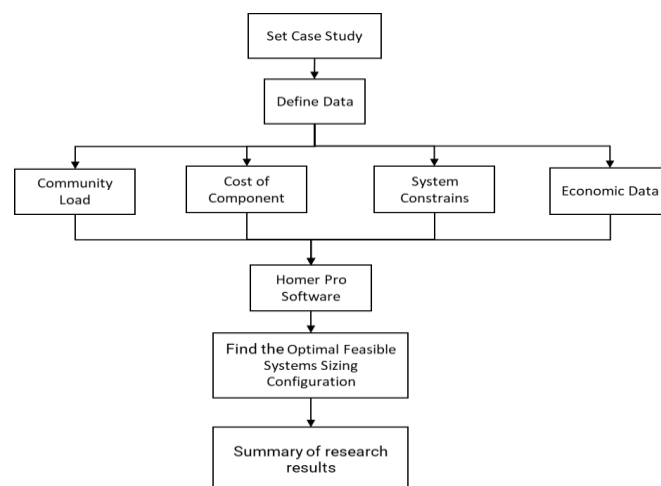


Figure 1. Schematic Representation of the Research Methodology

RESULTS AND DISCUSSION

1. Study the electricity usage of the model community

Based on the information provided, Ban Pha Dan is a remote community located in GPS position 18.365182579993913, 99.03796031194881. The community is situated in a national forest reserve area and therefore, by law, cannot have buildings built in the area. However, the villagers have lived there since their ancestors and as electricity is a necessary aspect of life, the villagers funded and received 102 kWp solar panels and 307.2 kWh batteries, along with the construction of electricity distribution poles throughout the village. From Figure. 2, the data on Ban Pha Dan's electricity usage shows an average daily consumption of 55.6 kW, with a total electricity consumption ranging from 340.70 kWh to 2,618.60 kWh over the course of 18 months. From data analysis of the electricity usage data reveals that there are fluctuations in electricity consumption throughout the year. The highest consumption was recorded in the months of May and June, with a total of 2,618.60 kWh and 2,293.00 kWh respectively. On the other hand, the lowest consumption was observed in the months of October and November, with 340.70 kWh and 566.40 kWh respectively.

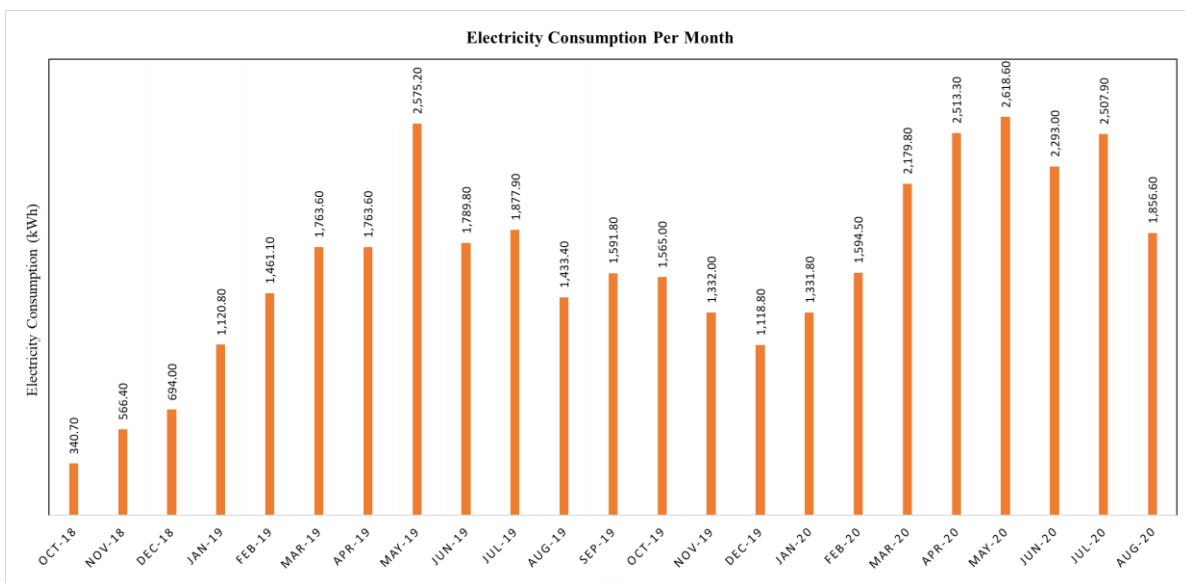


Figure 2. Electricity Consumption of Ban Pha Dan

2. Analysis of case studies using Homer program

This section will present the results of the case studies by applying the data of electricity consumption in Ban Pha Dan Community to the Homer program. The case studies are as follows:

2.1 Study of Power Generation from Solar Energy and Battery Supply: Case Study 1

In this case study, the focus is on studying power generation from solar energy and battery supply in a remote community located in Pha Dan village. The objective of this study is to analyze the energy usage behavior of the community and extract knowledge that can be applied to other remote areas.

The Homer Pro simulation outputs for the Solar Energy and Battery Supply case recommend an optimal configuration involving a 100 kW solar photovoltaic (PV) system and a 200 kWh battery storage system. This arrangement was determined capable of satisfying the electricity demand of the community. The simulation also provided key financial metrics, offering an in-depth understanding of the economic feasibility of the Solar Energy and Battery Supply system. A summary of these metrics is provided in Table 2. The renewable fraction (Ren Frac), representing the percentage of the total electricity generated by renewable sources, was calculated as 100%. This result indicates that the entire electricity demand of the community can be met using renewable energy, rendering this system fully sustainable. From an economic perspective, the Net Present Cost (NPC) of 14.7 million baht and Levelized Cost of Electricity (LCOE) of 10.65 baht/kWh indicate the relative affordability of the system. The annual operating cost is expected to be around 384,929 baht, with an overall present worth of 2,267,067 baht. Moreover, the system exhibits a promising financial return with a return on investment of 15.5% and an internal rate of return of 21%. The system pays for itself in approximately 3.68 years, as indicated by the simple payback period, while the discounted payback period stands at 4.09 years, considering the time value of money. In conclusion, the Solar Energy and Battery Supply configuration emerges as a viable, efficient, and cost-effective solution for electricity generation in remote communities. It attains a 100% renewable fraction and exhibits favorable economic performance indicators, underscoring its potential as a sustainable model for remote community electrification.

2.2 Study of Electricity Production from Solar Energy, Battery, and Diesel Power Generation:

Case Study 2

This case study aims to determine the most suitable power generation system for a remote community in Thailand, using a hybrid renewable energy system with a Diesel generator. The system consists of photovoltaic (PV) modules, a converter, a battery bank, and a biogas generator. The Solar Energy, Battery, and Diesel Generator case, as modeled by the Homer Pro simulation software, presents another effective configuration for electricity generation in remote communities. This arrangement involves a 100 kW solar PV system, a 100 kWh battery storage system, and a 50 kW biodiesel generator, all of which together are capable of meeting the electricity demand of the community. The key financial metrics that emerged from this case are summarized in Table 2. The renewable fraction in this case was determined to be 84.4%, suggesting that a majority of the electricity generated comes from renewable sources, while the rest is supplemented by the diesel generator. A notable aspect of this case is its economic feasibility. The Net Present Cost (NPC) stands at 7.15 million baht, with a Levelized Cost of Electricity (LCOE) of 7.85 baht/kWh. The annual operating cost is relatively low at 294,366 baht, contributing to a present worth of 1,872,521 baht. The system's financial return is robust, with a return on investment of 15.5% and an internal rate of return of 21.9%. The system's payback periods are also relatively short, with a simple payback period of 3.11 years and a discounted payback period of 3.44 years. In summary, the Solar Energy, Battery, and Diesel Generator configuration proves to be a reliable and economical solution for electrifying remote

communities. Although its renewable fraction is lower compared to the Solar Energy and Battery Supply case, it remains an effective model, considering its lower NPC, favorable return on investment, and shorter payback periods.

2.3 Study of Electricity Production from Solar Energy, Battery, and Biogas Generation:

Case Study 3

The third case study modeled by Homer Pro simulation software involves a configuration of a 100 kW solar PV system, a 100 kWh battery storage system, and a 50 kW biogas generator. This configuration is capable of meeting the electricity demand of the community. The financial metrics derived from this case are detailed in Table 2. Similar to the previous case, the renewable fraction for this configuration is 84.4%, implying that the majority of the electricity generated comes from renewable sources, supplemented by the biogas generator. The economic feasibility of this case is characterized by a Net Present Cost (NPC) of 7.25 million baht and a Levelized Cost of Electricity (LCOE) of 7.95 baht/kWh. The annual operating cost is slightly lower than the previous case at 293,207 baht, leading to a present worth of 1,774,529 baht. The return on investment for this case is 13.6%, and the internal rate of return is 19.2%. The system presents a simple payback period of 3.45 years and a discounted payback period of 3.85 years. In summary, the Solar Energy, Battery, and Biogas Generator configuration offers a sustainable and economically viable solution for remote communities. Although it has a slightly higher NPC and LCOE compared to the Solar Energy, Battery, and Diesel Generator case, it still holds potential due to its renewable fraction and economic returns. The final decision between these cases would involve a further evaluation of local context, such as resource availability and environmental considerations.

Table 2. Financial Analysis of studies Case

Financial Metrics	Case 1	Case 2	Case 3
Net Present Cost (NPC)	9.47 million baht	7.15 million baht	7.25 million baht
Levelized Cost of Electricity (LCOE)	10.65 baht/kWh	7.85 baht/kWh	7.95 baht/kWh
Annual Operating Cost	384,929 baht	294,366 baht	293,207 baht
Capital Expenditure (CAPEX)	3.81 million baht	2.83 million baht	2.94 million baht
Present Worth	2,267,067 baht	1,872,521 baht	1,774,529 baht
Annual Worth	170,329 baht/year	127,510 baht/year	120,837 baht/year
Return on Investment	16.4%	15.5%	13.6%
Internal Rate of Return	22.3%	21.9%	19.2%

Financial Metrics	Case 1	Case 2	Case 3
Simple Payback Period	3.68 years	3.11 years	3.45 years
Discounted Payback Period	4.09 years	3.44 years	3.85 years

CONCLUSION

This research aimed to identify the most efficient, stable, and cost-effective solution for electricity generation in remote communities. To achieve this, three distinct scenarios were examined: Solar Energy and Battery Supply, Solar Energy, Battery, and Diesel Generator, and Solar Energy, Battery, and Biogas Power Generation. The first scenario, Solar Energy and Battery Supply, as highlighted in a study by Prasad and Saini (2021), recommended a configuration of a 100kW solar cell and a 200kWh battery [9]. This fully renewable energy system demonstrated a renewable fraction of 100%, with a Net Present Cost (NPC) of 14.7 million baht and Levelized Cost of Electricity (LCOE) of 10.65 baht. The second case, Solar Energy, Battery, and Diesel Generator, integrated an additional diesel generator into the system, aligning with the findings of Kaygusuz (2020) on the potential of such hybrid systems [10]. This scenario saw a decrease in NPC to 7.15 million baht and LCOE to 7.85 baht, with a renewable fraction of 84.4%. The final case study, Solar Energy, Battery, and Biogas Power Generation, included a biogas generator in the system, as advocated by Chong, Nielsen, and Low (2022) for achieving sustainable remote community electrification [11]. The NPC rose slightly to 7.25 million baht, and the LCOE marginally increased to 7.95 baht, maintaining a renewable fraction of 84.4%.

While the biogas model has numerous advantages, such as lower energy costs and the ability to convert community waste into energy, the research findings indicate that the Solar Energy, Battery, and Diesel Generator model offers the most balanced solution. This echoes the findings of Barua, Islam, and Ahmed (2018) on the potential of hybrid solar-diesel-battery systems for off-grid remote community electrification [12]. Despite a slightly higher NPC and LCOE than the biogas model, it maintains a considerable renewable fraction and has a lower initial investment cost. This model's various advantages, such as its cost-effectiveness, reliability, and the incorporation of renewable energy sources, make it a viable and sustainable solution for remote communities like Pha Dan Community in Lamphun, Thailand. Future research could aim to enhance the efficiency and cost-effectiveness of this model, making it even more appealing to similar communities worldwide. That said, it's important to consider the unique benefits of the Solar Energy, Battery, and Biogas Power Generation model, such as waste management and compost production, aligning with Bensah and Brew-Hammond's (2020) findings on the potential benefits of biogas technology [13]. In conclusion, while each scenario presents its unique set of advantages, this research supports the idea that the Solar Energy, Battery, and Diesel Generator model offers the most advantages and potential applications for remote communities.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express their gratitude to Renewable Energy for Sustainable Association (RESA), Takadnua Subdistrict Municipality, Ban Pha Dan Community, Chiang Mai Rajabhat University (CMRU) and Asian Development College for Community Economy and Technology (adiCET) for their support and assistance in conducting this research. Their invaluable contributions to this project have been greatly appreciated and have greatly enhanced the outcome of this study. The authors would like to thank CMRU and adiCET for providing a supportive research environment, enabling the team to successfully complete this work.

REFERENCES

- [1] Schmid, J., El-Hag, M., & Hammad, A. (2018). Off-grid hybrid renewable power systems for rural electrification in developing countries: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82, 3999-4010.
- [2] Ahmed, T. K., & Islam, A. M. K. (2019). Feasibility study of a hybrid solar-biogas-battery power system for rural electrification in Bangladesh. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 36, 41-50.
- [3] Benouz, S., Mellit, A., & Kalogirou, S. A. (2011). Feasibility study of hybrid photovoltaic/wind power systems for rural electrification in Algeria. **Energy Policy**, 39(5), 2778-2788.
- [4] Wasantha, P. L. P., & Abeydeera, K. W. R. (2009). A feasibility study on a PV-biogas hybrid power system for rural electrification. **Renewable Energy**, 34(2), 320-326.
- [5] Barua, G., Islam, M., & Ahmed, A. (2018). Modeling and simulation of a solar-biogas hybrid power system for off-grid rural electrification in Bangladesh. **Journal of Renewable Energy**, 2018, Article ID 3854293, 15 pages.
- [6] Kabir, A. S., Kumar, S., & Kumar, S. (2019). Solar PV-biogas-battery hybrid system for off-grid power generation in rural areas of India: A techno-economic analysis. **Renewable Energy**, 139, 862-874.
- [7] Al-Jaberi, A., & Borresen, J. O. (2019). Renewable energy hybrid power system for off-grid applications in Oman: A case study. **Energy Reports**, 5, 252-259.
- [8] Haque, S. B., Khan, M. F., Imtiaz, S. H., & Hasan, M. Z. (2016). Design and analysis of a photovoltaic-wind-battery hybrid power system for remote areas in Bangladesh. **Journal of Renewable Energy**, 2016, Article ID 7062878, 10 pages.
- [9] Prasad, R., & Saini, R. P. (2021). Techno-economic analysis of off-grid PV/battery energy systems for remote rural areas of developing countries. **Solar Energy**, 221, 166-181.
- [10] Kaygusuz, K. (2020). Hybrid renewable energy systems for remote rural areas in developing countries. **Journal of Cleaner Production**, 269, 122251.
- [11] Chong, W. T., Nielsen, P. N., & Low, S. T. (2022). A technical review on biogas generation from biowaste for off-grid electricity supply. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 152, 111508.

- [12] Barua, G., Islam, M., & Ahmed, A. (2018). Modeling and simulation of a solar-biogas hybrid power system for off-grid rural electrification in Bangladesh. **Journal of Renewable Energy**, 2018, Article ID 3854293, 15 pages.
- [13] Bensah, E. C., & Brew-Hammond, A. (2020). Biogas technology dissemination in Ghana: history, current status, future prospects, and policy significance. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, 3(2), 91-109.

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของการออกแบบการจัดการพลังงานสำหรับคลินิกเวชศาสตร์ความงาม
เพื่อมุ่งสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

Financial Analysis of Energy Management Design for the Beauty Clinic
towards Net Zero Energy

ภัทรพงษ์ แต่งเนตร¹ วิสุทธิ์ แซ่มสะอาด^{1*} และ ประพิธาร์ ธนารักษ์¹
Pattarapong Tangnate¹ Wisut Chamsa-ard^{1*} and Prapita Thanarak¹

¹ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000
School of Renewable Energy and Smart Grid Technology
Naresuan University, Phitsanulok 65000

¹Corresponding author: Tel.: 055-963182. E-mail address: wisutc@nu.ac.th

Received: 9 March 2024, Revised: 27 April 2024, Accepted 28 April 2024, Published online: 30 April 2024

Abstract

The demand for electrical energy in the building sector is increasing due to the expansion of urban areas to accommodate the rapidly growing population and economy. Nevertheless, it cannot avoid the increase in greenhouse gas emissions. A strategy that can aid in lowering greenhouse gas emissions and increasing renewable energy utilization is to manage energy consumption efficiently until the building reaches net zero energy use. This article examines the electricity management design for a beauty clinic to achieve net zero energy. The study used the PVsyst software to design and assess the performance of the system and determine the project's viability using financial indicators, including net present value, payback period, and financial internal rate of return. The energy management guidelines are defined in 4 cases; the study found that a beauty clinic with an average daily electricity consumption of approximately 75.4 kWh can achieve a net zero energy concept by installing a 20 kWp solar PV generation system. To manage energy to be financially worthwhile, choose the method of producing electricity together with using electricity from the network. The electricity can be returned to the electrical grid. (PV+Grid+Export) with a net present value of 283,710 baht, a financial internal rate of return of 11.33%, and a payback period of 7.6 years. When considering installation and use with batteries, it was found that it was not yet financially worthwhile due to the relatively high price of batteries.

Keywords: Net-zero-energy buildings, PV System, Financial Analysis, Rooftop PV self-consumption

บทคัดย่อ

ความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าของภาคส่วนอาคารได้เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบันเนื่องจากการขยายตัวของเขตเมืองเพื่อรองรับประชากรและเศรษฐกิจที่เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ก็ไม่อาจหลีกเลี่ยงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งการจัดการการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงจนนำไปสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ของอาคารก็เป็นแนวทางที่เพิ่มการใช้พลังงานทดแทนและช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ลดลงได้ บทความนี้เป็นการศึกษาการออกแบบการจัดการพลังงานสำหรับคลินิกเวชศาสตร์ความงามเพื่อมุ่งสู่การใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยใช้โปรแกรม PVsyst เพื่อออกแบบและวิเคราะห์สมรรถนะของระบบและศึกษาหาความคุ้มค่าของโครงการโดยใช้ตัวชี้วัดทางการเงิน ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ระยะเวลาการคืนทุน และอัตราผลตอบแทนภายในทางการเงิน กำหนดแนวทางการจัดการพลังงานเป็น 4 กรณี โดยผลการศึกษาพบว่าคลินิกมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยวันละประมาณ 75.4 กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) สามารถดำเนินการให้มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 kWp โดยแนวทางการจัดการพลังงานให้มีความคุ้มค่าทางการเงิน คือการเลือกใช้แนวทางการผลิตไฟฟ้าร่วมกับใช้ไฟฟ้าจากโครงข่าย โดยสามารถจ่ายไฟฟ้าคืนสู่โครงข่ายไฟฟ้าได้ (PV+Grid+Export) โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 283,710 บาท อัตราผลตอบแทนภายในทางการเงิน 11.33% และระยะเวลาการคืนทุน 7.6 ปีและเมื่อพิจารณาถึงการติดตั้งใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่ พบว่ายังไม่มีความคุ้มค่าทางการเงินเนื่องจากราคาของแบตเตอรี่ที่ยังมีราคาค่อนข้างสูง

คำสำคัญ: อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ การผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ การวิเคราะห์ทางการเงิน การผลิตไฟฟ้าสำหรับใช้ในอาคาร

บทนำ

อาคารสำนักงานและที่พักอาศัยเป็นกลุ่มที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นอย่างมากถึงร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานทั้งหมดในโลก เป็นสาเหตุของวิกฤตการณ์โลกร้อน เพราะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึงร้อยละ 27 ของปริมาณการปล่อยก๊าซทั้งหมดของโลก [1] ทำให้ภาคอาคารที่มีธรรมชาติของการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางวันเป็นส่วนใหญ่มีความเหมาะสมที่จะดำเนินการในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้ดีขึ้น และนำพลังแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทำให้อาคารเกิดการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ สามารถช่วยลดภาระของประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งกำลังเผชิญกับราคาเชื้อเพลิงที่แพงขึ้นอย่างต่อเนื่องอีกทั้งอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) ยังมีส่วนสำคัญในการนำไปสู่การดำเนินการ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Carbon) ได้

การดำเนินงานธุรกิจคลินิกเวชศาสตร์ความงาม เป็นธุรกิจที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมาก เนื่องจากเป็นธุรกิจที่ดำเนินการในช่วงเวลากลางวัน อีกทั้งเครื่องมืออุปกรณ์ภายในคลินิก เช่น เครื่องเลเซอร์ต่างๆ ระบบแสงสว่างในห้อง และระบบปรับอากาศ ซึ่งจะต้องควบคุมอุณหภูมิภายในคลินิกเพื่อให้ผู้นอนอยู่ในช่วงสภาวะสบาย (Comfort Zone) เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง จึงทำให้มีต้นทุนการดำเนินงานที่สูงมาโดยตลอด เนื่องจากค่าไฟฟ้ามียอดเพิ่มขึ้นต่อเนื่องโดยที่สาเหตุมาจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นและแหล่งพลังงานฟอสซิลที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าลดลง จึงทำให้การใช้ไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมาทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากฟอสซิลเพิ่มสูงขึ้น ผนวกกับมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างรวดเร็ว ทำให้มีประสิทธิภาพสูงแต่มีราคาลดลง คลินิกจึงมีการวางแผนพัฒนาอาคารของคลินิกให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy) และยั่งยืน (Sustainable) โดยใช้แนวคิดของการทำให้อาคารมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ อาคารจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนตลอดทั้งปีได้มากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าของอาคารตลอดทั้งปี [2,3] สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ โดยที่นโยบายอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์เป็นที่นิยมอย่างมากในทุกประเทศ รวมถึงประเทศไทยที่กำลังดำเนินการอย่างเร่งด่วนและจริงจัง เพื่อแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพ

ภูมิภาคในอีกทางหนึ่ง โดย Ray Galvin [4] ทำการศึกษาหาแนวทางออกแบบเพื่อปรับปรุงอาคารที่เก่าแก่ของประเทศเยอรมันที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำให้เป็นอาคารใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยทำการจำลองทางคอมพิวเตอร์ พบว่าหากต้องการผลสำเร็จต้องมีการปรับปรุงกรอบอาคารให้มีประสิทธิภาพสูง และต้องติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่มีกำลังการผลิตให้สูงกว่าการใช้พลังงานปกติ 40% รวมถึงการออกแบบอาคารของมหาวิทยาลัยในประเทศอินเดียให้เป็นอาคารใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ [5] โดยใช้โปรแกรม PVsyst วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเพียงที่เดียวจะไม่เพียงพอให้เป็นอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ เนื่องจากมีข้อจำกัดของพื้นที่บนหลังคา ซึ่งมีการติดตั้งระบบปรับอากาศ และระบบน้ำเพื่ออุปโภค แต่หากเพิ่มการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ที่กันสาดของอาคารอีก 50 % ของกำลังการผลิตบนหลังคาจะประสบผลสำเร็จเป็นอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ประเทศไทยมีการศึกษาประเมินสมรรถนะทางด้านเทคนิคและการลงทุนติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาซานซาลารถไฟฟ้าบีทีเอส [6] โดยใช้โปรแกรม PVsyst จำลองสมรรถนะของระบบ พบว่าสมรรถนะของระบบมีค่าร้อยละ 70 และคำนวณหาความคุ้มค่าทางการเงินโดยใช้ค่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) อัตราส่วน ผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C) ระยะเวลาคืนทุนแบบปรับค่าเวลา (DPB) และต้นทุนต่อหน่วย (COE) แต่ไม่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากไม่มีนโยบายรับซื้อไฟฟ้า และต้นทุนของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ยังสูง และงานวิจัยของ Kezang [7] ทำการวิเคราะห์สมรรถนะทางเทคนิคและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่เชื่อมกับโครงข่ายไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลของประเทศภูฏานโดยใช้วิธีเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานของบ้านเรือน หลังจากนั้นทำการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วจึงนำค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าคำนวณหาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ผลที่ได้รับไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุนเนื่องจากค่าดำเนินการเพื่อติดตั้งในพื้นที่ห่างไกลของประเทศภูฏานยังคงมีค่าสูงอยู่

จากการศึกษาวิจัยเรื่องอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ที่กำลังนิยมในปัจจุบัน พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ มีข้อดีในการนำมาใช้งานคือ ประสิทธิภาพสูง ความน่าเชื่อถือของระบบ และการติดตั้งมีความรวดเร็วและไม่ซับซ้อน แต่ยังคงมีมูลค่าการลงทุนสูงหากต้องการทำให้อาคารมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และหาความคุ้มค่าทางการเงินเพื่อทำการตัดสินใจลงทุน โดยได้ใช้สมาร์ทมิเตอร์ (Smart Meter) เพื่อบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของคลินิก ออกแบบตัวอาคารและระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศ เพื่อลดการใช้พลังงาน และใช้พลังงานทดแทนจากการติดตั้งไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการด้านการออกแบบการจัดการพลังงาน การใช้พลังงานทดแทนสำหรับอาคารและความเป็นไปได้ทางการเงิน โดยวิเคราะห์การลงทุนและพิจารณาผลตอบแทนที่ให้ประโยชน์สูงสุดสำหรับโครงการพัฒนาอาคารคลินิกให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจลงทุนและกำหนดแนวทางลงทุนให้มีความเหมาะสมต่อไป

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. การศึกษารูปแบบการใช้ไฟฟ้าและประเมินความต้องการใช้ไฟฟ้าของคลินิก
2. การประเมินทางเทคนิคเพื่อให้คลินิกมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์
3. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน

การศึกษารูปแบบการใช้ไฟฟ้าและประเมินความต้องการใช้ไฟฟ้าของคลินิก

การใช้ไฟฟ้าของคลินิกเน้นเพื่อให้ความสบายสูงสุด อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าหลักจะเป็นระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ตามลำดับ ลักษณะของคลินิกเป็นอาคาร 2 ชั้น อาคารจะเป็นหลังคาตาดฟ้า

แสดงดังภาพที่ 1 มีพื้นที่โดยรวมทั้งอาคารประมาณ 278 ตารางเมตร เปิดทำการทุกวันในช่วงเวลา 10.00 น. ถึง 19.00 น. โดยมีผู้ใช้บริการเฉลี่ย 20 คนต่อวัน มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดต่อวัน 3,456.39 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน (kWh/day) ดังแสดงตารางที่ 1



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาของโครงการ



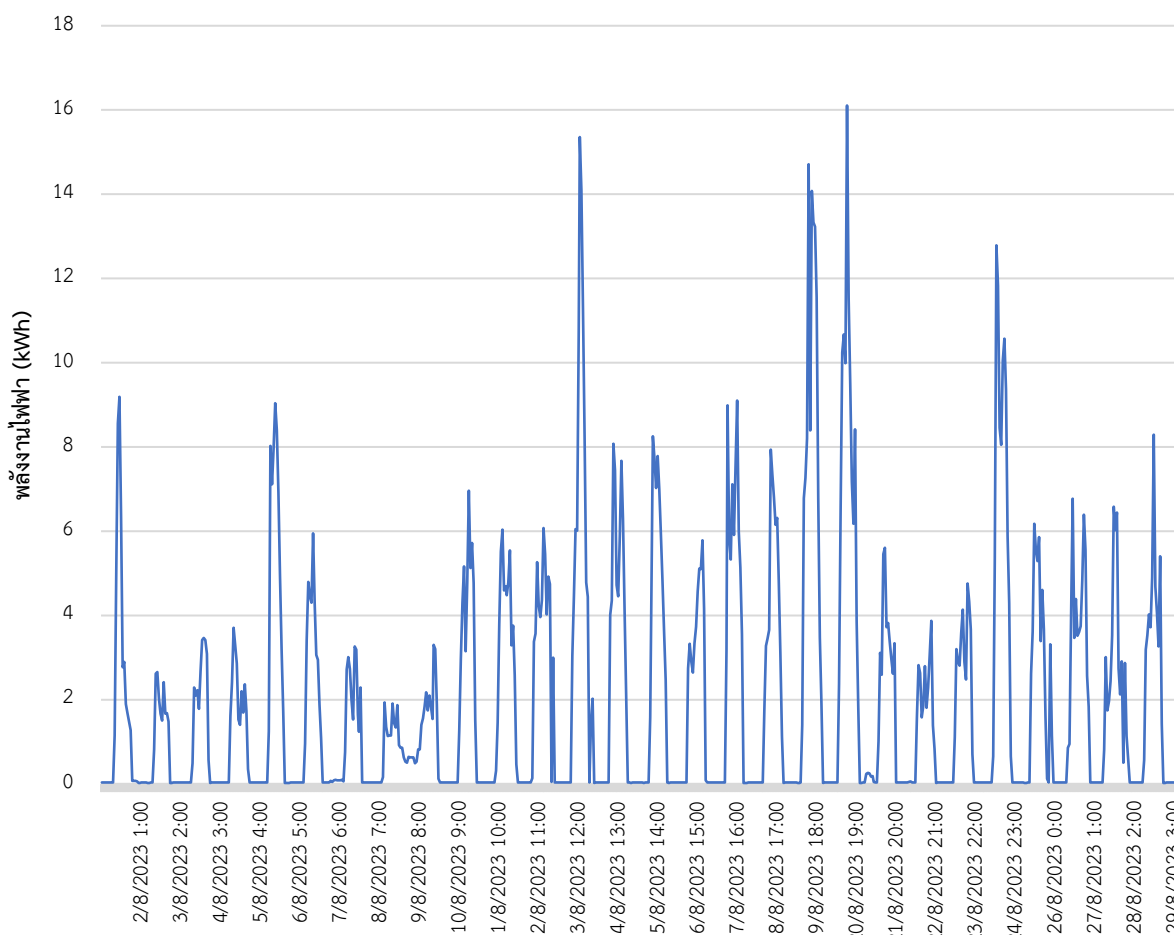
ภาพที่ 2 มิเตอร์เก็บข้อมูล

ตารางที่ 1 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดต่อวันที่ได้จากการคำนวณ

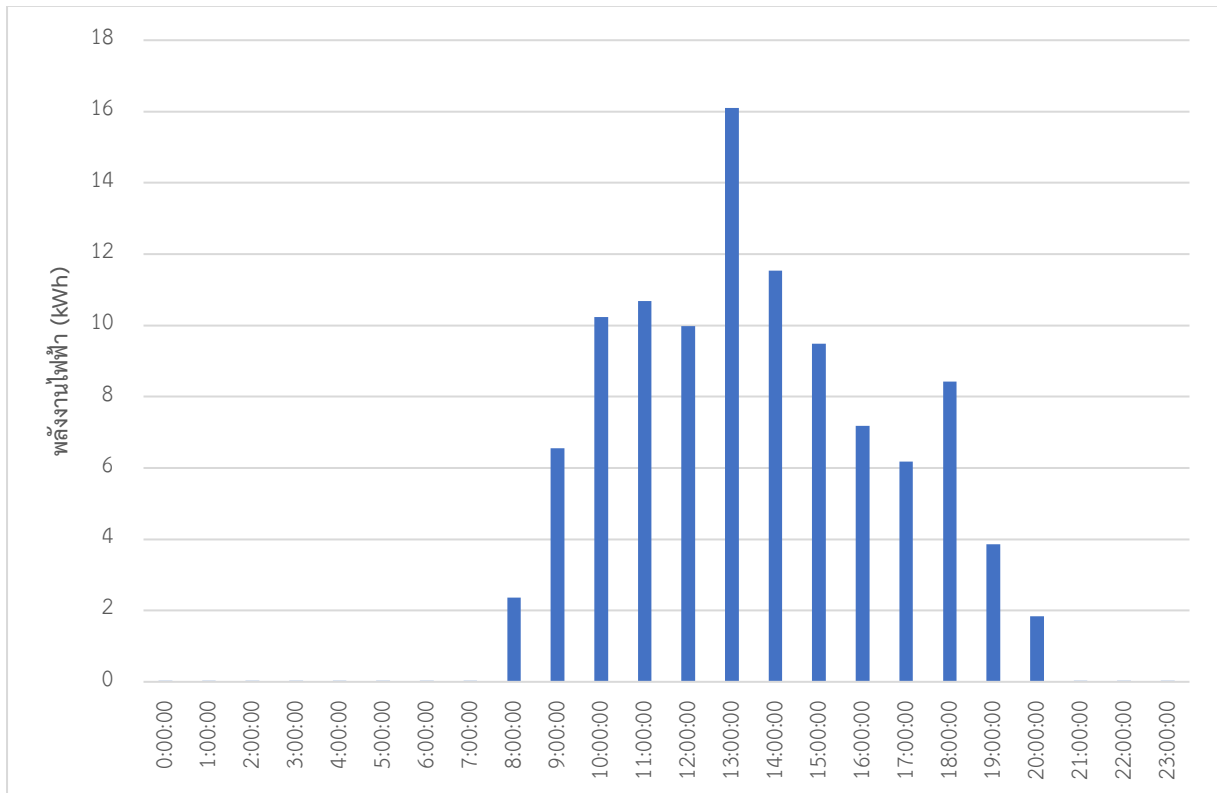
อุปกรณ์	ปริมาณ	ขนาด (kW)	จำนวนชั่วโมงการใช้งาน (hr.)	ปริมาณโหลด (kWh)
LED lamps				
Type 1	27	0.01	9	2.43
Type 2	55	0.01	9	4.95
Type 3	3	0.03	9	0.81
Air condition				
Type 1	3	33.64	9	908.28
Type 2	8	34.54	9	2,486.88
Laser				
Type 1	1	3.42	4	13.68
Type 2	1	0.95	4	3.80
Type 3	1	1.24	4	4.96
Type 4	1	1.62	4	6.48
Type 5	1	0.29	4	1.16
Type 6	1	1.50	4	6.0
Type 7	1	0.50	4	2.0
Refrigerator				
Type 1	1	0.15	24	3.6
Type 2	1	0.05	24	1.2
Type 3	1	0.15	24	3.6
Washing machine	1	0.48	4	1.92
Water pump	1	1.16	4	4.64
ความต้องการใช้ไฟฟ้ารวม				3,456.39

ถึงแม้ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของคลินิกที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้สอดคล้องกับปริมาณผู้ใช้บริการในคลินิกให้มีประสิทธิภาพสูงสุด มีผลทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงในแต่ละวันต่ำกว่าค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดต่อวันที่ได้ทำการคำนวณไว้ในตารางที่ 1

การใช้ไฟฟ้าของคลินิก มีการเก็บรวบรวมข้อมูลผ่าน Smart Meter โดยเป็นการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนสิงหาคม 2566 การใช้ไฟฟ้าของคลินิกมีความผันผวนในแต่ละวันขึ้นอยู่กับจำนวนของผู้ที่เข้ามาใช้บริการ ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันของเดือนสิงหาคม 2566 และเมื่อพิจารณาการใช้ไฟฟ้าในหนึ่งวัน พบว่าคลินิกเริ่มมีการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 8:00 น. เพื่อเตรียมรับผู้เข้ามาใช้บริการในเวลา 10:00 น. โดยจะมีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในช่วง 13:00 น. และจะมีการใช้ไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยสำหรับแสงสว่างหลังเวลา 20:00 น. ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 3 รูปแบบการใช้ไฟฟ้ารายวันของเดือนสิงหาคม 2566



ภาพที่ 4 รูปแบบการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมง ของวันที่ 20 สิงหาคม 2566

ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของคลินิกตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนสิงหาคม 2566 แสดงดังตารางที่ 2 โดยมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 2,261.13 kWh หรือคิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายวันเท่ากับ 75.37 kWh

ตารางที่ 2 การใช้ไฟฟ้าของคลินิกเดือนมกราคม - เดือนสิงหาคม 2566

ตัวแปร	01-08/2023
ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวม (kWh)	18,089.05
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือน (kWh/month)	2,261.13
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยรายวัน (kWh/day)	75.37

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำค่าการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยรายวัน 75.4 kWh มาใช้สำหรับออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PVsyst โดยมีแนวคิดให้คลินิกมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

การประเมินทางเทคนิคเพื่อให้คลินิกมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

ผู้วิจัยกำหนดตำแหน่งของคลินิกอยู่ที่ อ.เมือง จ.พิษณุโลก ละติจูด $16^{\circ}49'54''$ เหนือ $100^{\circ}14'57''$ ตะวันออก จังหวัดพิษณุโลก มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายปี $1,806 \text{ kWh/m}^2$ โดยวางแผนเซลล์แสงอาทิตย์ด้านบนลาดฟ้า หันหน้าทางทิศใต้ แผงทำมุม 16 องศา ร่วมกับการนำผลกระทบของเงาโดยรอบอาคารมาพิจารณา ดังภาพที่ 4 และ 5 โดยเลือกใช้ แผง ขนาด 555 W Longi Solar LR5-72HIH-555M monocrystalline การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันเท่ากับ 75.4 kWh ออกแบบเป็นระบบ

เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งใช้โปรแกรม PVsyst ในการจำลองระบบที่มีขนาดการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 10 kWp 20 kWp และ 30 kWp ทั้งในแบบที่มีและไม่มีระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ หากค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ค่าการผลิตไฟฟ้าของระบบต่อปี ค่า Specific Production สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio: PR) การรับเข้าและส่งออกพลังงานไฟฟ้าของอาคาร (kWh/year) แล้วพิจารณาเลือกขนาดการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าพลังงานไฟฟ้าที่คลินิกใช้ในรอบ 1 ปี โดยที่มีการส่งออกพลังงานไฟฟ้ามากกว่าการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า



ภาพที่ 5 แบบจำลองทิศทางและการเอียงของแผง PV สำหรับโปรแกรม PVsyst

เมื่อได้ขนาดการติดตั้งระบบฯ ที่ทำให้คลินิกมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์แล้ว จะนำขนาดการติดตั้งระบบฯ ดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน โดยมีการกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์เป็น 4 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองเป็นหลัก: PV+Grid (no export) ซึ่งกรณีนี้เป็นการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงาน

หมุนเวียนร่วมกับโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อใช้เองเป็นหลัก และไม่มีการส่งไฟฟ้าส่วนเกินกลับคืนสู่โครงข่ายไฟฟ้า

กรณีที่ 2 การผลิตไฟฟ้าร่วมกับใช้ไฟฟ้าจากโครงข่าย โดยสามารถจ่ายไฟฟ้าคืนสู่โครงข่ายไฟฟ้าได้:

PV+Grid+Export

กรณีที่ 3 การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เองเป็นหลัก ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน: PV+Grid+Battery (no export)

กรณีที่ 4 การผลิตไฟฟ้าร่วมกับใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายและระบบกักเก็บพลังงาน โดยสามารถจ่ายไฟฟ้าคืนสู่โครงข่าย

ไฟฟ้าได้: PV+Grid+Battery+Export

ทั้งนี้ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินระยะเวลาสำหรับการจำลองการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรมกำหนดไว้ที่ 10 ปี ค่าการซื้อไฟฟ้าหน่วยละ 4.40 บาท และค่าการขายไฟฟ้าหน่วยละ 2.20 บาท (ตามประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน กรณีเข้าร่วมโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย [8]) เป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินอย่างง่าย (Simple Financial Analysis) โดยไม่คิดอัตราดอกเบี้ย (Discount Rate) โดยความน่าสนใจในการลงทุนทางการเงิน กำหนดให้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0 บาท อัตราผลตอบแทนภายในต้องมากกว่าหรือเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้สำหรับลูกค้ารายย่อยชั้นดี (MRR) อยู่ในช่วงระหว่าง 6.75- 10.5 %ต่อปี [9] และระยะเวลาการคืนทุนน้อยกว่า 10 ปี

สมการที่ใช้ในการคำนวณความคุ้มค่าของโครงการทางการเงินพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายในทางการเงิน (Financial Internal Rate of Return: IRR) และ ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period: PB) โดยมีสมการในการคำนวณ [7] ดังนี้

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

อัตราผลตอบแทนภายในทางการเงิน

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

ระยะเวลาการคืนทุน

$$PB = \frac{I}{P} \quad (3)$$

ตารางที่ 3 สมมุติฐานในการประเมินต้นทุนของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

อุปกรณ์	ราคา (THB)		
	10 kWp	20 kWp	30 kWp
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	132,000	264,000	316,800
อินเวอร์เตอร์	60,550	75,000	106,500
อุปกรณ์ยึดแผง	16,000	32,000	38,400
ส่วนประกอบต่างๆ @ 10% ของกำลังการผลิต	20,855	37,100	46,170
ค่าติดตั้ง @ 30% ของกำลัง การผลิต	62,565	111,300	138,510
ต้นทุนระบบรวม	291,970	519,400	646,380
แบตเตอรี่ขนาด 15 kWh	-	383,700	383,700
แบตเตอรี่ขนาด 30 kWh	-	767,400	767,400
ต้นทุนระบบรวมและ แบตเตอรี่ขนาด 15 kWh	-	903,100	1,030,080
ต้นทุนระบบรวมและ แบตเตอรี่ขนาด 30 kWh	-	1,286,800	1,413,780

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการประเมินทางเทคนิคเพื่อให้คลินิกมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

จากการนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยรายวัน 75.4 kWh และรูปแบบการใช้ไฟฟ้าของคลินิก มาทำการจำลองด้วยโปรแกรม PVsyst โดยกำหนดให้ระบบมีขนาดการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ 10 kWp 20 kWp และ 30 kWp ทั้งในแบบที่มีและไม่มีระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ได้ผลการจำลองดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์ของการจำลองด้วยโปรแกรม

System Configuration	Produced Energy (kWh/year)	Specific production	Performance Ratio (%)	Imported from grid (kWh/year)	Export to grid (kWh/year)	Energy consumption (kWh/year)	Potential Net Zero [Export-Import] (kWh/year)
PV 10 kWp	15,912	1,434	77.32	14,240	2,642	27,510	-11,598
PV 20 kWp	32,095	1,446	77.98	7,700	12,285	27,510	4,585
PV 30 kWp	39,118	1,468	79.20	6,443	18,050	27,510	11,607
PV 20 kWp + 15 kWh BESS	31,623	1,408	75.96	3,607	7,360	27,510	3,753
PV 20 kWp + 30 kWh BESS	30,732	1,384	74.67	2,219	5,441	27,510	3,222
PV 30 kWp + 15 kWh BESS	38,212	1,435	77.37	2,402	13,108	27,510	10,706
PV 30 kWp + 30 kWh BESS	37,691	1,415	76.31	1,269	11,449	27,510	10,180

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า การติดตั้ง PV ขนาด 10 kWp ยังไม่สามารถทำให้คลินิกมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ เนื่องจากการติดตั้ง PV ขนาด 10 kWp สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียง 15,912 kWh ต่อปี แต่คลินิกมีความต้องการใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งปี 27,510 kWh ต่อปี โดยมีการนำเข้าพลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้ามากกว่าการส่งออกพลังงานไฟฟ้า 11,598 kWh ต่อปี แต่เมื่อพิจารณาการติดตั้ง PV ตั้งแต่ 20 kWp ขึ้นไป พบว่าคลินิกสามารถมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ โดยหากมีการติดตั้ง PV ขนาด 20 kWp สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 32,095 kWh ต่อปี ซึ่งมากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งปีของคลินิก และเมื่อพิจารณาการนำเข้าและการส่งออกพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า พบว่ามีการส่งออกพลังงานไฟฟ้ามากกว่าการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า 4,585 kWh ต่อปี

เมื่อพิจารณาการติดตั้ง PV ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่พบว่า การติดตั้ง PV ขนาด 20 kWp ร่วมกับแบตเตอรี่ขนาด 15 kWh สามารถทำให้คลินิกมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ โดย สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 31,623 kWh ต่อปี ซึ่งมากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งปีของคลินิก และเมื่อพิจารณาการนำเข้าและการส่งออกพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า พบว่ามีการส่งออกพลังงานไฟฟ้ามากกว่าการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า 3,753 kWh ต่อปี

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านการเงิน

จากผลการประเมินทางเทคนิคเพื่อให้คลินิกมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ จึงกำหนดให้ขนาดของการติดตั้ง PV มีขนาดเท่ากับ 20 kWp และขนาดของการติดตั้งแบตเตอรี่เท่ากับ 15 kWh เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านการเงิน โดยผลการวิเคราะห์ในกรณีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินตามแนวทางการจัดการพลังงาน

แนวทางการจัดการพลังงาน	NPV (บาท)	FIRR (%)	Payback Period (ปี)
กรณีที่ 1 PV+Grid (no export)	13,440	0.57	9.3
กรณีที่ 2 PV+Grid+Export	283,710	11.33	7.6
กรณีที่ 3 PV+Grid+Battery (no export)	5,764	0.14	10.1
กรณีที่ 4 PV+Grid+Battery+Export	167,684	4.00	9.7

จากผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินตามแนวทางการจัดการพลังงานทั้ง 4 กรณี ดังตารางที่ 5 พบว่ากรณีที่ 2 การผลิตไฟฟ้าร่วมกับใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายโดยสามารถจ่ายไฟฟ้าคืนสู่โครงข่ายไฟฟ้าได้ (PV+Grid+Export) มีผลการประเมินที่ผ่านเกณฑ์ความคุ้มค่าในการลงทุนทางการเงินทั้ง 3 ตัวชี้วัด โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 283,710 บาท อัตราผลตอบแทนภายในทางการเงิน 11.33% และระยะเวลาการคืนทุน 7.6 ปี ส่วนกรณีที่ 1 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 13,440 บาท อัตราผลตอบแทนภายในทางการเงิน 0.57% ซึ่งน้อยกว่า MRR ระยะเวลาการคืนทุน 9.3ปี และเมื่อพิจารณากรณีที่ มีการติดตั้งร่วมกับระบบแบตเตอรี่ทั้งกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 พบว่ายังไม่มีมีความคุ้มค่าทางการเงิน เนื่องจากราคาของแบตเตอรี่ยังคงมีราคาค่อนข้างสูง

สรุปผลการวิจัย

คลินิกที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยวันละประมาณ 75.4 kWh สามารถดำเนินการให้มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 kWp โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 32,095 kWhต่อปี ซึ่งมากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งปีของคลินิก และเมื่อพิจารณาการนำเข้าและการส่งออกพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า พบว่ามีการส่งออกพลังงานไฟฟ้ามากกว่าการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้า 4,585 kWhต่อปี โดยแนวทางการจัดการพลังงานให้มีความคุ้มค่าทางการเงิน คือ กรณีที่ 2 การเลือกใช้แนวทางการผลิตไฟฟ้าร่วมกับใช้ไฟฟ้าจากโครงข่าย โดยสามารถจ่ายไฟฟ้าคืนสู่โครงข่ายไฟฟ้าได้ (PV+Grid+Export) มีผลอัตราผลตอบแทนภายในทางการเงิน ร้อยละ 11.33 และเมื่อพิจารณากรณีที่ 1 และกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 ที่มีการติดตั้งใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่ พบว่ายังไม่มีมีความคุ้มค่าทางการเงิน เนื่องจากแบตเตอรี่ยังมีราคาค่อนข้างสูง ผลการวิจัยสอดคล้องกับงานวิจัย [1,6,7] ที่ยังไม่มีมีความคุ้มค่าในการลงทุนเนื่องจากยังไม่มีระเบียบอนุญาตให้มีการปล่อยไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่าย นโยบายการรับซื้อไฟฟ้าในอัตราที่เหมาะสมและต้นทุนของเทคโนโลยีที่สูง อย่างไรก็ตามการมีระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ทำให้มีการนำเข้าและส่งออกพลังงานไฟฟ้าน้อยลง หรือมีส่วนการใช้พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น และเป็นประโยชน์ในด้านการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า (Reliability) ในคลินิกมากกว่าผลประโยชน์ด้านการเงิน

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2567). **โครงการศึกษาและออกแบบระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กแบบมีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ในพื้นที่ส่วนราชการ**. วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมรรถกริเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [2] Jaysawal, R. K., Chakraborty, S., Elangovan, D. and Padmanaban, S. (2022). Concept of net zero energy buildings (NZEB)-A literature review. **Cleaner Engineering and Technology**. 11, 100582.

- [3] Karlessi, T., Kampelis, N., Kolokotsa, D., Santamouris, M., Standardi, L., Isidori, D. and Cristalli, C. (2017). The concept of smart and NZEB buildings and the integrated design approach. *Procedia engineering*. 180, 1316-1325.
- [4] Galvin, R. (2022). Net-zero-energy buildings or zero-carbon energy systems? How best to decarbonize Germany's thermally inefficient 1950s-1970s-era apartments. *Journal of Building Engineering*. 54, 104671.
- [5] Panicker, K., Anand, P. and George, A. (2023). Assessment of building energy performance integrated with solar PV: Towards a net zero energy residential campus in India. *Energy and Buildings*. 281, 112736.
- [6] ประพิธาร์ รัตนรักษ์ และฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์. (2558). การประเมินสมรรถนะทางด้าน เทคนิคและการลงทุนติดตั้งเซลล์ แสงอาทิตย์บนหลังคาخانชาลารถไฟฟ้าบีทีเอส. *Ladkrabang Engineering Journal*. 32(1), 49-54.
- [7] Lhazom, K. and Thanarak, P. (2021). Economic feasibility analysis of off-grid PV systems for remote settlements in Bhutan. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 11(3), 206-214.
- [8] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. (2566). ประกาศเชิญชวนการรับซื้อไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงาน แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2566. สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2567, จาก <https://www.erc.or.th/th/power-purchasing3/2712?fbclid=IwAR06v8uYgEdLrNBw6miB5teH3AyFfolhCyYRfKEyL0NDOUcdfH23iWb8Hl8>
- [9] ธนาคารแห่งประเทศไทย. (ม.ป.ป.). ข้อมูลอัตราดอกเบี้ยเงินกู้. สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2567, จาก <https://www.bot.or.th/th/statistics/interest-rate.html>

วารสารวิชาการ

พลังงานทดแทน

สู่ชุมชน



J-REC

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY



สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12110 อีเมล : treca.2012@gmail.com โทร